

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего**

**образования**  
**«Казанский (Приволжский) федеральный университет»**

**Институт геологии и нефтегазовых технологий**

Кафедра геофизики и геоинформационных технологий

Направление подготовки: 05.03.01 Геология

Профиль: Геофизика

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**МАГНИТО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**  
**ОЗЕРА БОЛЬШОЙ КИСЕГАЧ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Работа завершена:  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г. \_\_\_\_\_ (А.Р.Юсупова)

Работа допущена к защите:

Научный руководитель  
Ассистент кафедры  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г. \_\_\_\_\_ (Л.Р.Косарева)

Заведующий кафедрой  
геофизики и  
геоинформационных  
технологий  
Д.г.-м.н., профессор  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г. \_\_\_\_\_ (Д.К.Нургалиев)

Нормоконтролер - сотрудник  
базовой кафедры метрологии  
и средств измерения расхода  
нефти и газа, к.ф.-м.н., с.н.с.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г \_\_\_\_\_ (И.И.Фишман)

Казань-2017

## Аннотация

В процессе работы мною проводились измерения магнитных параметров более 1100 образцов донных отложений, обработка и интерпретация полученных данных и априорных геологических материалов. Определены основные фракции магнитной компоненты и носители намагниченности. На основе сопоставления магнитных параметров образцов 5 керновых колонок составлены корреляционные схемы озерных отложений.

Работа содержит 47 страниц, 2 раздела, 31 рисунок, 10 использованных источников.

В качестве объекта исследований выбраны донные отложения озера Большой Кисегач (Челябинская область).

Целью выпускной квалификационной работы является: палеогеофизические исследования голоценовых отложений озера с использованием магнито-минералогического анализа, включающего измерение магнитной восприимчивости, естественной остаточной намагниченности, коэрцитивную спектрометрию, а также высокоточную микроскопию магнитной фракции осадка методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

В результате исследований выявлены особенности процессов осадконакопления озера Большой Кисегач.

Ключевые слова: озерные осадки, магнитные свойства, палеолимнология.

## Содержание

Аннотация .....	2
Введение.....	4
1 Характеристика объекта исследований: Озеро Большой Кисегач .....	5
(Челябинская область) .....	5
1.1 Физико-географическая характеристика .....	5
1.2 Геологическое строение и палеогеографическая история .....	9
1.2.1 Тектоника Южного Урала.....	9
1.2.2 Стратиграфия.....	13
1.2.3 Гидрогеология .....	15
1.2.4 Полезные ископаемые .....	17
1.2.5 Изученность озера Большой Кисегач .....	19
2. Опробование донных осадков озера Большой Кисегач.....	25
2.1. Точки и техника отбора керна .....	25
2.2. Общая литологическая характеристика керна .....	27
2.3. Измерение магнитной восприимчивости .....	28
2.5 Корреляция керновых колонок .....	29
2.4. Коэрцитивная спектрометрия .....	30
2.4.1. Проведение пробоподготовки.....	30
2.6 Сепарация магнитной фракции .....	36
2.7 Высокоточная просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия .....	37
Заключение .....	46
Список использованных источников .....	47

## Введение

Настоящая работа написана по материалам собранным во время экспедиции летом 2016г. на озеро Большой Кисегач сотрудниками ИГиНГТ КФУ. Автор выпускной квалификационной работы является лаборантом-исследователем НИЛ «Лаборатория палеоклиматологии, палеоэкологии и палеомагнетизма», ИГиНГТ кафедры геофизики и геоинформационных технологий с сентября 2016 г. За это время была собрана коллекция донных отложений (1125 образцов) по пяти керновым колонкам озера Большой Кисегач, которое является объектом исследований.

Целью работы является: палеогеофизические исследования магнито-минералогическими методами голоценовых отложений озера Большой Кисегач.

Задачи исследования: сбор информации об объекте исследования, его геологическую и геофизическую изученность, проведение измерений магнитными методами образцов донных осадков, обработка и интерпретация полученных данных.

# 1 Характеристика объекта исследований: Озеро Большой Кисегач (Челябинская область)

## 1.1 Физико-географическая характеристика

Объектом исследований являются донные отложения озера Большой Кисегач. Озеро расположено в Чебаркульском районе Челябинской области в 5 км на северо-восток от города Чебаркуль (N 55°02'20"; E 60°18'30").

В Челябинской области, в том месте, где характер местности меняется с низменной на горную, в результате тектонической деятельности в земной коре образовались разломы, трещины и складки. Со временем они заполнились водой и превратились в голубую цепочку живописных горных озер. Одно из самых крупных озер этой цепочки, котловина которого имеет тектоническое происхождение – озеро Большой Кисегач (рис. 1.1).

Озеро расположено на восточном склоне Ильменского хребта. Кисегач самое большое озеро в районе, объем воды составляет 268 млн. м<sup>3</sup>. Максимальная глубина – 31 м, средняя глубина 15 м., площадь зеркала 14 км<sup>2</sup>. По данным Ильменского заповедника имеются воронки глубиной до 49 м. Площадь водосбора 114 км<sup>2</sup>. Отметки уровня воды 316 м. Возраст озера оценивается не менее 13 тысяч лет.

На озере около 20 островов, из них 6 крупных, сложенных из камней (рис. 1.2). Это вершины гор, оказавшиеся под водой при образовании озера на месте тектонического разлома. Многие из них имеют обрывистые берега и сложены из гранитных плит. Самый большой остров 500x260 м называется Большой. При понижении уровня воды, количество островов увеличивается за счет обнажения подводных гряд (гольцов).

Питание озера происходит за счет поверхностного и подземного стоков, небольших речек и ручьев, атмосферных осадков. В озере по протоке с южной стороны течет вода из озера Теренкуль, а с северной вытекает ручей Исток в озеро М. Кисегач, которое расположено в километре севернее. С западной стороны в озеро впадают речки Шумиха и в Долгую курью речки Каменка и Безымянный, с северо – запада-речка Осиновая. С восточной стороны ручей, из озера Торфяное, которое расположено в километре, между озерами Б. Кисегач и Б. Сунукуль. Есть еще ручей, впадающий в озеро, в районе Сухой курьи. Большинство ручьев в конце лета пересыхают. На западном берегу много так называемых каменных палаток, чертовых стенок, гранитных карнизов. Протяженность береговой линии 26 км, в т. ч. по территории городского округа 2,4 км. Минерализация воды в среднем составляет 250 мг/л, воды мягкие, гидрокарбонатно-кальциевые [1].

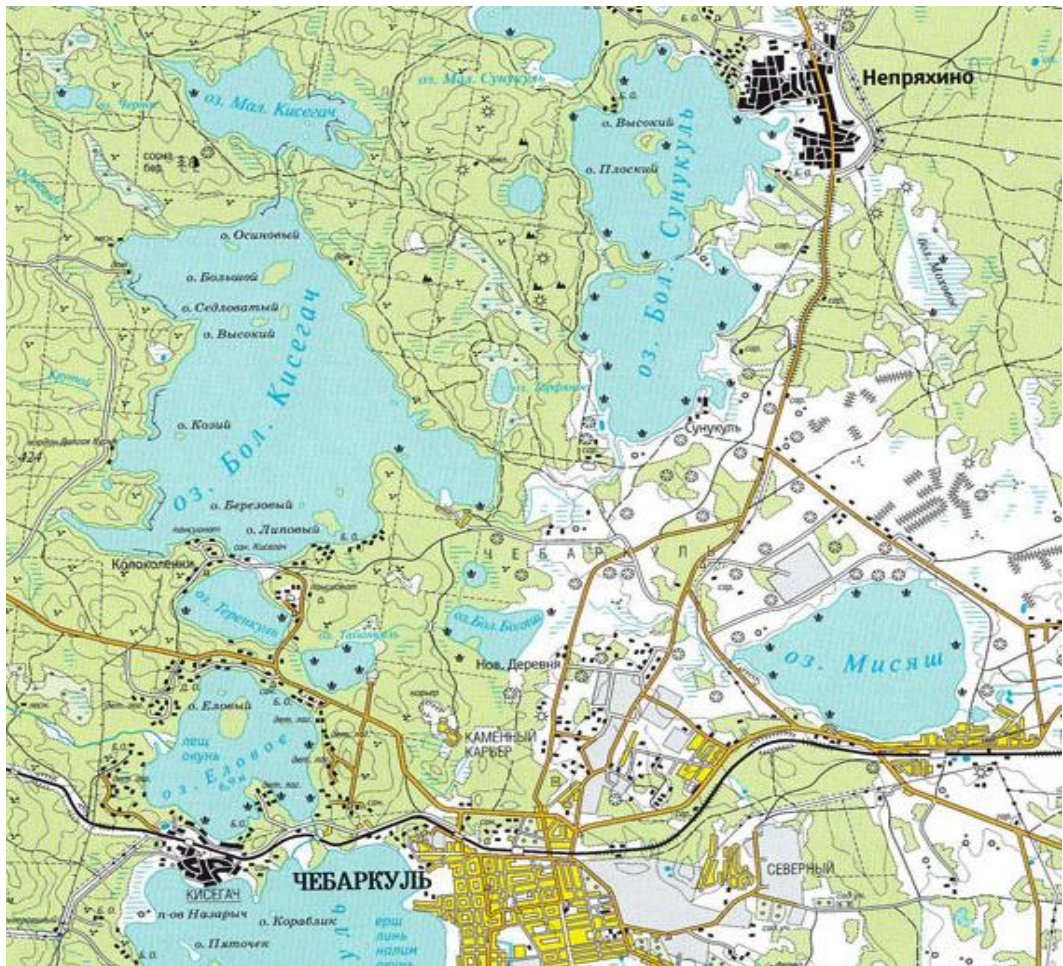


Рисунок 1.1 Схема расположения озера Большой Кисегач



Рисунок 1.2. Фотоснимок островов озера Большой Кисегач

Исследуемый район относится к территории Южного Урала, которая охватывает два федеральных округа Российской Федерации (Уральский и Приволжский) и три субъекта (Челябинская и Оренбургская области и республика Башкортостан). Южные границы, именуемые как Мугоджары, располагаются на территории республики Казахстан (Актюбинская область).

Географическое положение Южного Урала: свое начало он берет от вершины Юрма, располагающейся на севере, заканчивается на юге, на широтном участке реки Урал (рис.1.3). В восточном направлении сдвигается водораздельный хребет Уралтау. Преобладающий тип рельефа – среднегорный. Ближе к востоку осевая часть плавно перетекает в более сглаженную и низкую Зауральскую равнину[2].

Рельеф Южного Урала сложный. Разновысотные хребты юго-западного и меридионального направления расчленены глубокими продольными и поперечными понижениями и долинами. Наибольшая высота – 1640 м – гора Ямантау. За счет примыкания широких предгорий Южный Урал расширяется до 250 км. При средней ширине Уральских гор от 40 до 150 км. Длина Южного Урала – 550 км.

Южный Урал делится по особенностям рельефа на две части – северную и южную. Северная, более высокая и гористая, доходит до поперечного течения реки Белая. Она заполнена многочисленными горными хребтами, которые вытянуты с северо-востока на юго-запад и составляют горную систему. Осью ее является хребет Уралтау. Он протянулся в восточной части Южного Урала на 500 км, имея в ширину от 5 до 30 км. Самая высокая вершина его достигает 1067 м (г. Арвяк-Рязь, южнее города Белорецк); средняя высота хребта 800 – 900 м, а прилегающие долины лежат на 400 – 500 м ниже. Уралтау состоит из нескольких параллельных гряд и небольших отрогов, которые разделены широкими ложбинами. Очертания их выровненные, мягкие; только на некоторых вершинах поднимаются небольшие сопки и гребни из сланцев, кварцитов и конгломератов. Уралтау является водоразделом между бассейнами рек Белой и Урала.

Долина реки Белой отделяет к западу несколько параллельных более высоких и скалистых цепей. Самые высокие хребты в этой полосе – Зигальга и Машак, а самые высокие горные массивы – Ямантау и Ирмель. Они сложены очень твердыми кварцевыми песчаниками и глинистыми сланцами. Для рельефа их очень характерны ступенчатые склоны, широкие нагорные террасы и каменистые вершины. Склоны горных массивов покрыты хвойным лесом до высоты 1100 м, а выше этой линии преобладают каменные россыпи. На нагорных террасах и сопковидных вершинах еще сохранились стенообразные скалы (останцы), составляющие гребень некоторых гор.

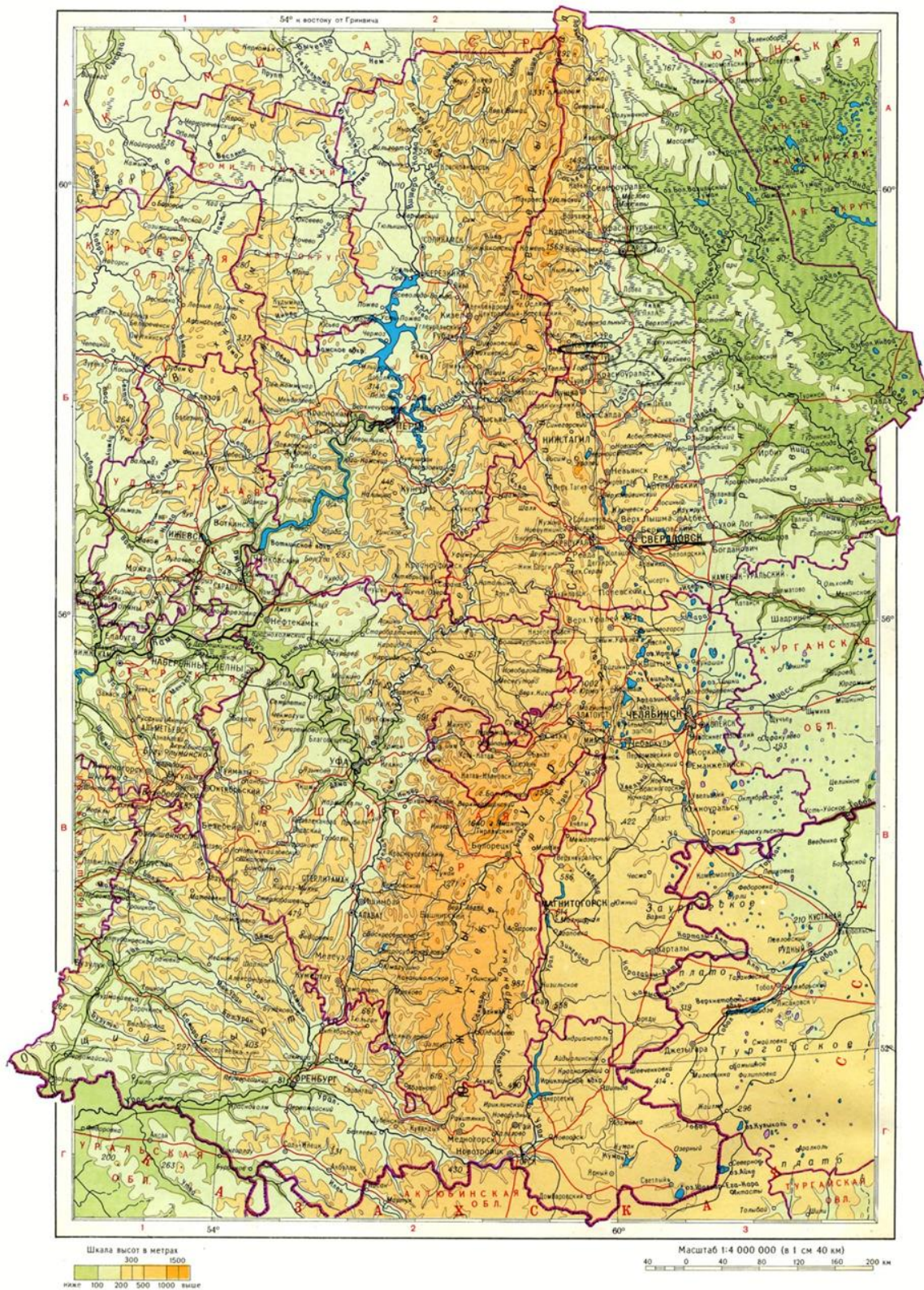


Рисунок 1.3. Средний и Южный Урал. Физическая карта

Западнее идет полоса передовых горных цепей, имеющих среднюю высоту значительно ниже 1000 м, и лишь немногие вершины поднимаются выше. Горные цепи отделены друг от друга более широкими продольными долинами рек, а узкие поперечные



долины разделяют каждую цепь на хребты и массивы. Главными хребтами являются Зильмердак, Юрматау, Колу, Каратау. Чем дальше на запад, тем ниже горы. Изменяются и горные породы: здесь больше известняков.

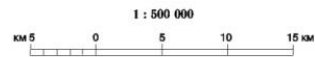
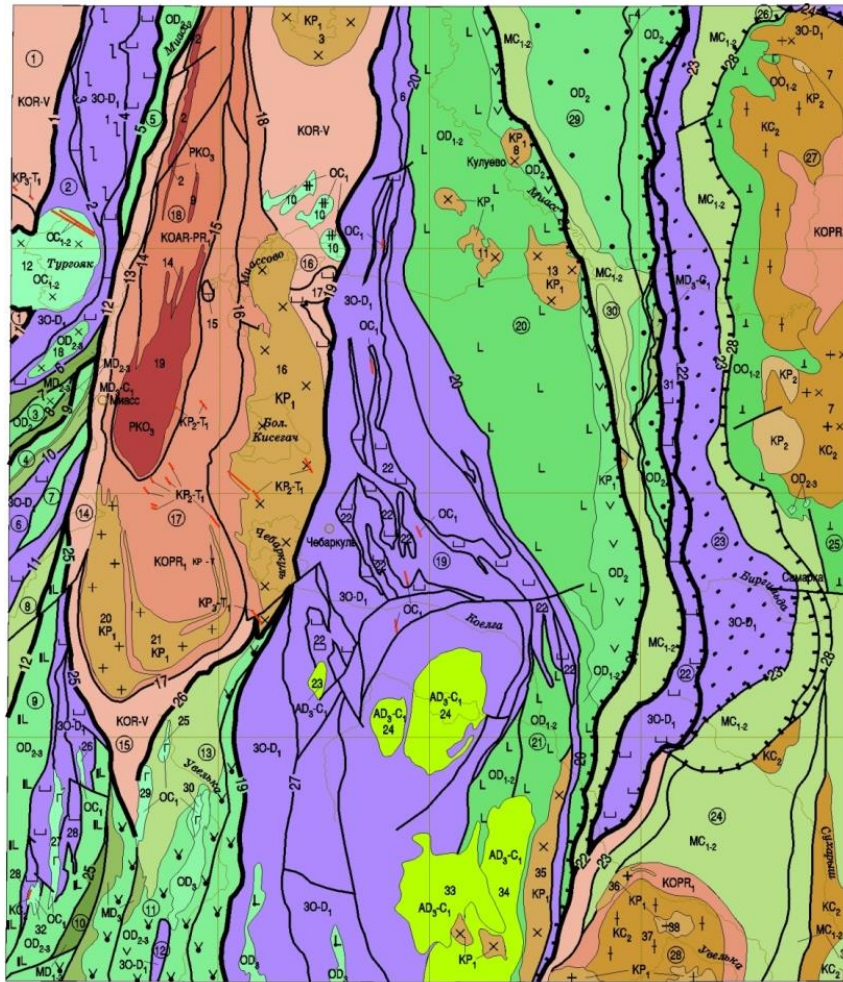
Восточнее хр. Уралтау протянулась цепь передовых восточных хребтов Южного Урала: Ирендык и Крыктытау. Они сложены не только осадочными, но и вулканическими породами. Горы сильно разрушены, вершины их плоские, но там, где обнажаются вулканические породы, появляются скалы, гребни.

Климат Южного Урала относится к резко континентальному, ему свойственно жаркое лето и холодная зима. Ежегодно выпадает 350-800 миллиметров осадков. В летнее время затяжные дожди являются редкостью. На климат непосредственное влияние оказывают Уральские горы, которые создают естественное препятствие при движении воздушных масс. Погода в зимнее время года определяется Азиатским антициклоном, приходящим из Сибири, а в летнее – тропическими ветрами Средней Азии и Казахстана и арктическими воздушными массами Карского и Баренцева морей. В январе средняя температура воздуха составляет -16 градусов, июля +15 градусов. Зона избыточного увлажнения – горно-лесная, умеренного – лесостепная, недостаточного – степная.

## **1.2 Геологическое строение и палеогеографическая история**

### **1.2.1 Тектоника Южного Урала**

Для характеристики тектоники Южного Урала воспользуемся данными А. А. Богданова [3]. На Западном склоне он выделяет следующие основные структурные элементы: антиклинорий Урал-Тау и Башкирский, разделенные Зилаирский синклинием, южная часть которого осложнена Сакмарским антиклинорием; зону глыбовых нарушений, обрамляющую Башкирский антиклинорий; ряд линейных складок Оренбургско-Актюбинского Приуралья, расположенных на Сакмарской флекуре; зону сложных складчатых структур Восточного склона Урала, примыкающих с востока к антиклинорию Урал-Тау (рис. 1.4, 1.5).



ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СЛАГАЮЩИЕ ИХ ФОРМАЦИИ

Геодинамические комплексы	Метаморфиты комплекса основания	Активная окраина континента					Коллизии
		Окраинное (задуговое) море	Островная дуга		Авулканическая дуга	Комплексы рифта	
			Вулканическая дуга	Междуговой бассейн			
Структурные этажи (возраст формаций)	КО	З	О	М	А	ПК	К
Позднепалеозойско-мезозойский	P <sub>2</sub> -T <sub>1</sub>					лейкогранитовая (31600)	KP <sub>2</sub> -T <sub>1</sub>
палеозойский	C <sub>2</sub> -P <sub>2</sub>					гранит-лейкогранитовая (31700) 1 - трахириолитовая (31800) 2 - гранитовая (31801) 3 - монцидиоритов - умеренно-щелчных гранитов (31802) 4 - гранит-лейкогранитовая (31803) 1 - молассидная (31900) 2 - гранодиорит-гранитовая (31901) 3 - гранит - гранито-гнейсовая (31902)	KP <sub>2</sub> 1 KP <sub>1</sub> 2 3 4 1 KC <sub>2</sub> 2 3
	C <sub>1,2</sub>	тоналит-гранодиоритовая (32100) 1- дацитовая (32101); 2 - тоналит-плаггиогранитовая (32102); 3 - габбро-плаггиогранитовая (32103); 4 - диоритовая (32104)	OC <sub>1,2</sub> OC <sub>1</sub> 2 3 4	MC <sub>1,2</sub>	терригенная, терригенно-карбонатная, карбонатная (32000)		
	D <sub>2</sub> -C <sub>1</sub>			MD <sub>2</sub> -C <sub>1</sub>	флишиодная (32200)	AD <sub>2</sub> -C <sub>1</sub>	диорит-гранодиорит-гранитовая (32300)
	D <sub>2,3</sub>	1-трахибазальтовая (32400), 2-трахибазальт-трахиандезит-трахидацитовая (32401) 1 - базальт-риолитовая и базальт-андезитбазальтовая объединённые (32600); 2 - базальт-андезитбазальтовая метаморфизованная (32601); 3 - трахибазальт-трахиандезит-трахидацитовая (32602)	1 OD <sub>3</sub> 2 L 1 OD <sub>2,3</sub> 2 L 3 V 4	MD <sub>2,3</sub>	кремнистая (32500) флишиодная, кремнисто-туфитовая, кремнистая (32700)		
	D <sub>1,2</sub>	базальт-андезитбазальтовая (32900)	1 OD <sub>2,3</sub> 2 L 3 V 4 5 X 1 OD <sub>2</sub> 2 L	MD <sub>1,2</sub>	флишиодная, карбонатная (33000)		
	O-D <sub>1</sub>	1 - натриевых базальтов, терригенно-кремнистая, вулканогенно-терригенно-кремнистая (33100) 2 - дунит-гарцбургитовая (33101) 3 - дунит-клинопироксенит-габбровая (33102) 4 - метаморфизованные вулканогенно-осадочная и осадочно-вулканогенная (33400)	1 30-D <sub>1</sub> 2 L 3 4 + 1 OD <sub>1,2</sub> 2 L	1 - риолит-базальтовая (33200) 2 - габбро-диорит-плаггиогранитовая (33201)		PKB <sub>1</sub>	карбонатит-нефелин-сленитовая (миасситовая) (33300)
Поздне-протерозойский (рифей-вендский)	R-V	KOR-V	метаморфизованных ультрамафитов и габброидов (33401)				
Ранне-протерозойский	PR <sub>1</sub>	1 KOPR <sub>1</sub> 2 L	1 - мигмалит-гнейсово-сланцевая (33500) 2 - метаморфизованных ультрамафитов и габброидов (33501)				
Архей-ранне-протерозойский	AR-PR <sub>1</sub>	KOAR-PR <sub>1</sub>	мигмалит-гнейсовая (33600)				

Рисунок 1.4. Тектоническая схема листа N-41-VII

СХЕМА ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

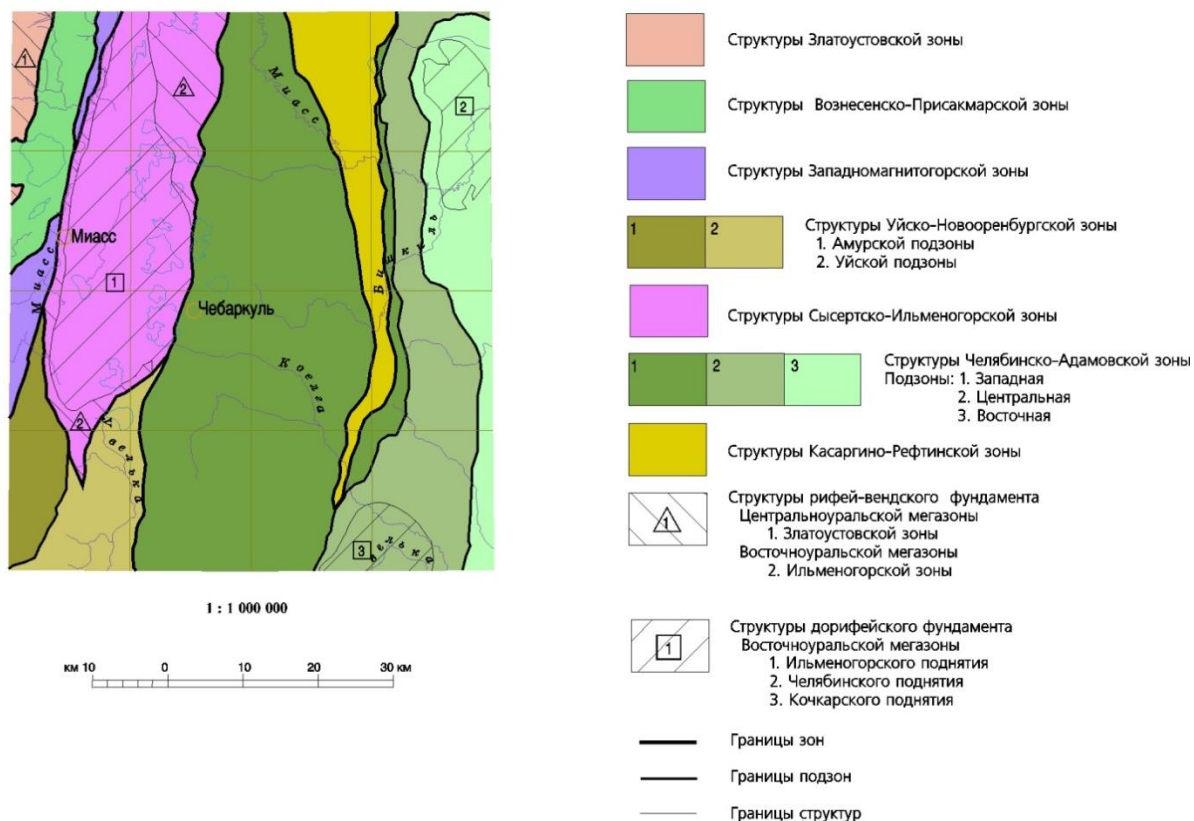


Рисунок 1.5. Схема тектонического районирования листа N-41-VII

Построенные А. А. Богдановым схематизированные разрезы отчетливо показывают два структурных яруса. Нижний состоит из сложно-складчатых додевонских толщ и представляет геосинклинальные каледониды; верхний построен породами девона, карбона и перми, несогласно перекрывающими каледониды; здесь породы собраны в спокойные пологие складки, а на западе, в области Русской платформы, они принимают горизонтальное залегание. Подобное двухъярусное строение прослеживается по всему Западному склону Урала, представляющему, следовательно, каледонское сооружение, несогласно перекрытое герцинскими структурами постгеосинклинальной природы.

Восточный склон на всем протяжении является типичной эвгеосинклинальной структурой герцинского тектогенеза, разбитой сбросами на горсты и грабены. В последних на размытой поверхности герцинид лежат мезозойские и кайнозойские континентальные накопления, создающие второй структурный ярус из слабо нарушенных пластов.

К востоку от Златоуста выделяются: 1) западная зеленокаменная зона, протягивающаяся к западу от г. Миасса; 2) центральная зона змеевиков, гранитов и кремнистых сланцев карбона — от Миасса до ст. Полетаево и 3) восточная зона зеленокаменных пород и гранитов — от ст. Полетаево до г. Челябинска.

В пределах западной зеленокаменной полосы на Восточном склоне Южного Урала развиты складки, опрокинутые и надвинутые на запад на докембрийские кристаллические сланцы окрестностей Златоуста. В ядрах складок лежат змеевики, итродированные габбро и диоритами. Наиболее древними породами складок являются силурийские и нижнедевонские диабазы и пироксенитовые порфириты, сопровождающиеся туфами, кремнистыми сланцами и яшмами. Выше их сменяют среднедевонские эффузивные альбитофиры, кварцево-плагиоклазовые и пироксеновые порфириты и конгломераты с гальками предыдущих габбро и диоритов.

Восточная зеленокаменная зона слагает широкие площади к западу от г. Челябинска. Здесь интенсивно дислоцированы диабазы, пироксен-плагиоклазовые порфириты, туфы, туффиты с подчиненными им кремнистыми сланцами и красными яшмами.

Выполненные за последние годы разносторонние геолого-геофизические исследования на территории Южного Урала и прилегающей восточной окраины Русской платформы по-новому осветили строение глубоких областей земной коры. Оказалось возможным в пределах Уральской складчатой области выделить две зоны: внешнюю и внутреннюю.

Внешняя занимает большую часть западного склона Южного и Среднего Урала и характеризуется такими же магнитными и гравитационными аномалиями, какие обнаружены на прилежащих частях Русской платформы и в Предуральском краевом прогибе.

Внутренняя зона охватывает весь склон Урала со своими магнитными и гравитационными свойствами, отражающими особенности глубинного строения.

Циклы и фазы тектогенеза. Строение Урала складывалось в течение чрезвычайно большого отрезка времени под воздействием салаирского, каледонского, герцинского, киммерийского и альпийского циклов тектогенеза. Важнейшими при этом оказались палеозойские циклы, создавшие огромное сложноскладчатое Уральское сооружение; мезозойские и кайнозойские циклы проявились в виде разломов и многократных глыбовых движений; они не изменили основного складчатого строения и формировали лишь внешний геоморфологический облик Урала. Резкое различие в степени метаморфизма нижнепалеозойских толщ и лежащих под ними кристаллических сланцев и кварцитов указывает на существование в разных частях Урала изолированных полей докембрийских пород.

## 1.2.2 Стратиграфия

В стратиграфическом отношении район Ильменских гор сложен сильно метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами верхнего архея -нижнего протерозоя, прорванными палеозойскими интрузиями гранитоидов и сиенитов. Сложное геологическое строение комплекса привело к обилию местных стратиграфических схем и названий стратиграфических подразделений, объем и возраст которых менялся в процессе изучения района. Протерозойские отложения подразделяются снизу вверх на селянкинскую свиту, вишневогорскую, ильменогорскую, еланчиковскую и кыштымскую толщи.

### **Селянкинская свита (AR2sel)**

Породы этой свиты являются наиболее древними в Ильменских горах. Свита сложена биотитовыми, гранат-биотитовыми, силлиманит-гранат-биотитовыми гнейсами и кварцитогнейсами обычно с крупночешуйчатым графитом; амфиболитами, гранатовыми амфиболитами, диопсид-плагиоклазовым и, скаполит-диопсид-плагиоклазовыми кристаллическими сланцами, редко кварцитами. Общая мощность селянкинской свиты не менее 1000 м. [3]

### **Вишневогорская толща (PR1 vs)**

Толща характеризуется ритмично-слоистым строением. В ее состав входят кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты, редко кальцифиры и мраморы. Общая мощность пород всей толщи около 850 м. [3]

### **Ильменогорская толща (PR1 ilm)**

Толща сложена метаморфическими породами, представленными в основном амфиболитами и гнейсами. Помимо амфиболитов и гнейсов в строении толщи принимают участие роговообманковые сланцы и кварциты. Условно, возраст толщи принимается как раннепротерозойский. Суммарная мощность разреза толщи порядка 1100 м.

### **Еланчиковская толща (PR1 el)**

Толща сложена исключительно плагиогнейсами, преимущественно биотитовыми, амфибол-биотитовыми, реже гранат-биотитовыми и силлиманит-гранат-биотитовыми, а также двуполевошпатовыми мигматитами с резким преобладанием плагиоклаза над калиевым полевым шпатом различных морфологических типов - полосчатых, теневых, очковых, очково-полосчатых, с реликтами субстрата или без него. Еланчиковская толща датируется нижним протерозоем. Суммарная мощность ее отложений около 1300 м.

### **Кыштымская толща (PR1 kis)**

Толща представлена переслаиванием углисто-кремнистых сланцев, кремнистых сланцев, кварцитов: биотитовых, двуслюдяных и амфиболитовых сланцев. Породы образованы за счет метаморфизма кремнисто-глинистых осадков, обогащенных органическим веществом. Возраст условно принимается как раннепротерозойский. Мощность разреза составляет 925 м.

### **Каменноугольная система. Нижний отдел.**

#### **Турнейский ярус, верхний подъярус - визейский ярус, средний подъярус (C1t2-v2)**

Разрез отложений каменноугольной системы начинается отложениями угленосной толщи, широко развитыми в Смолинской и в Каменской синклиналиях (разрезы по рекам Исети, Каменке, Камышенке, Багаряк и Синаре). Угленосная толща представлена двумя типами синхронных и фациально замещающих друг друга разрезов: 1) терригенных и терригенно-карбонатных отложений континентальных, лагунных и прибрежно-морских фаций; 2) вулканогенных и вулканогенно-обломочных отложений. Мощность 300-350 м.

#### **Визейский ярус (C1v)**

**Верхний подъярус (C1v3).** Осадки верхневизейского подъяруса представлены отложениями губашкинского, ладейнинского и курмаковского горизонтов. В основании разреза губашкинского горизонта залегают осадки неглубокого моря - органогенные известняки, слабо битуминозные с большим содержанием песчаной и глинистой примеси. Мощность отложений губашкинского горизонта 200-250 м. Отложения ладейнинского и курмаковского горизонтов согласно перекрывают нижележащие осадки. Они представлены светло-серыми и белыми известняками. Их мощность 100-250 м. Общая мощность осадков верхнего подъяруса визейского яруса 300-500 м.

#### **Серпуховский ярус (C1s)**

Разрез нижнекаменноугольных отложений завершается известняками, доломитизированными известняками, доломитами с фауной и микрофауной косогорского и бражкинского горизонтов серпуховского яруса, содержащими прослой алевролитов, аргиллитов и известковистых песчаников. На нижележащих отложениях верхнего подъяруса визейского яруса они залегают согласно с четкой литологической границей между ними. Мощность отложений косогорского горизонта 150-200 м.

#### **Средний отдел. Башкирский ярус (C2b)**

Отложения башкирского яруса среднего карбона с размывом и угловым несогласием налегают на различные подстилающие толщи, вплоть до среднего девона. Осадки башкирского яруса представлены разнообразным комплексом пород от

грубообломочных терригенных разностей до чисто карбонатных образований прибрежно-морских мелководных фаций. Мощность отложений башкирского яруса до 300 м.

### **Московский ярус (С2m)**

Осадки московского яруса залегают согласно на известняках верхнебашкирского подъяруса и представлены фаунистически охарактеризованной слоистой толщей пестроцветных алевролитов, аргиллитов, песчаников, гравелитов, конгломератов и известняков. Мощность осадков в этой части структуры 400-480 м.

Выше по разрезу согласно залегают существенно терригенные образования кумышского горизонта верхнего подъяруса московского яруса - известняковые брекчии и конгломератобрекчии. Общая мощность отложений московского яруса до 1100 м.

### **Средний отдел, московский ярус - верхний отдел (С2m-С3)**

Отложения, согласно залегающие в осевой зоне Усть-Багарякской грабен-синклинали выше конгломератов кумышского горизонта, представлены терригенными гипсоносными осадками: красноцветными и сероцветными конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами с мощными (до 400 м) пачками гипсов, ангидритов и доломитов. В гальках конгломератов определяется фауна визейского-среднекаменноугольного возраста. Мощность толщи до 1000 м.

### **Коры выветривания**

Длительный континентальный период установившийся на Урале с позднего палеозоя до наступления верхнемеловых морских трансгрессий, способствовал формированию мощных кор выветривания на породах складчатого фундамента.

Коры выветривания образовались в результате глубокого физико-химического изменения пород при активном воздействии климатических, гидрогеологических, тектонических и других факторов. Кора выветривания распространяется неравномерно и имеет невыдержанную мощность, которая изменяется от 0 до 140 м, и по разрезам большинства скважин составляет 5-20 м.

## **1.2.3 Гидрогеология**

Южная часть Уральского хребта дренируется рекой Урал, весь восточный склон – р. Обью. Наряду с общей климатической зональностью на режим рек оказывает влияние сам Уральский хребет, который, образуя естественную преграду для влагоносных ветров преимущественно западных направлений, удерживает значительную часть влаги на

западном склоне. В силу этого речная сеть западного склона Урала более многоводна, чем на восточном склоне.

Водные ресурсы Челябинской области крайне невелики, хотя при первом взгляде на схему (рис.1.6) кажется, что воды здесь должно быть достаточно. Это поистине "голубой край" (общая площадь озер составляет примерно 2100 км<sup>2</sup>, или 2,4% площади области), особенно в восточных предгорьях Уральских гор. Озера здесь тянутся с севера на юг почти сплошной полосой. Немало их в северных и восточных районах области.

В пределах горной области протекают реки Миасс, Уй, Сатка и др. Все они мелки, имеют широкие долины, во многих местах перегорожены запрудами. В районе Ильменских гор имеется около 40 речек: протяженность каждой до 15 км. Реки, которые начинаются на склонах гор, глубоко врезаются в межгорные долины или прорезают хребты. Берега их большей частью равнинные, высокие и скалистые. Эти реки отличаются быстрым течением, каменистыми руслами, чистой и прозрачной водой.

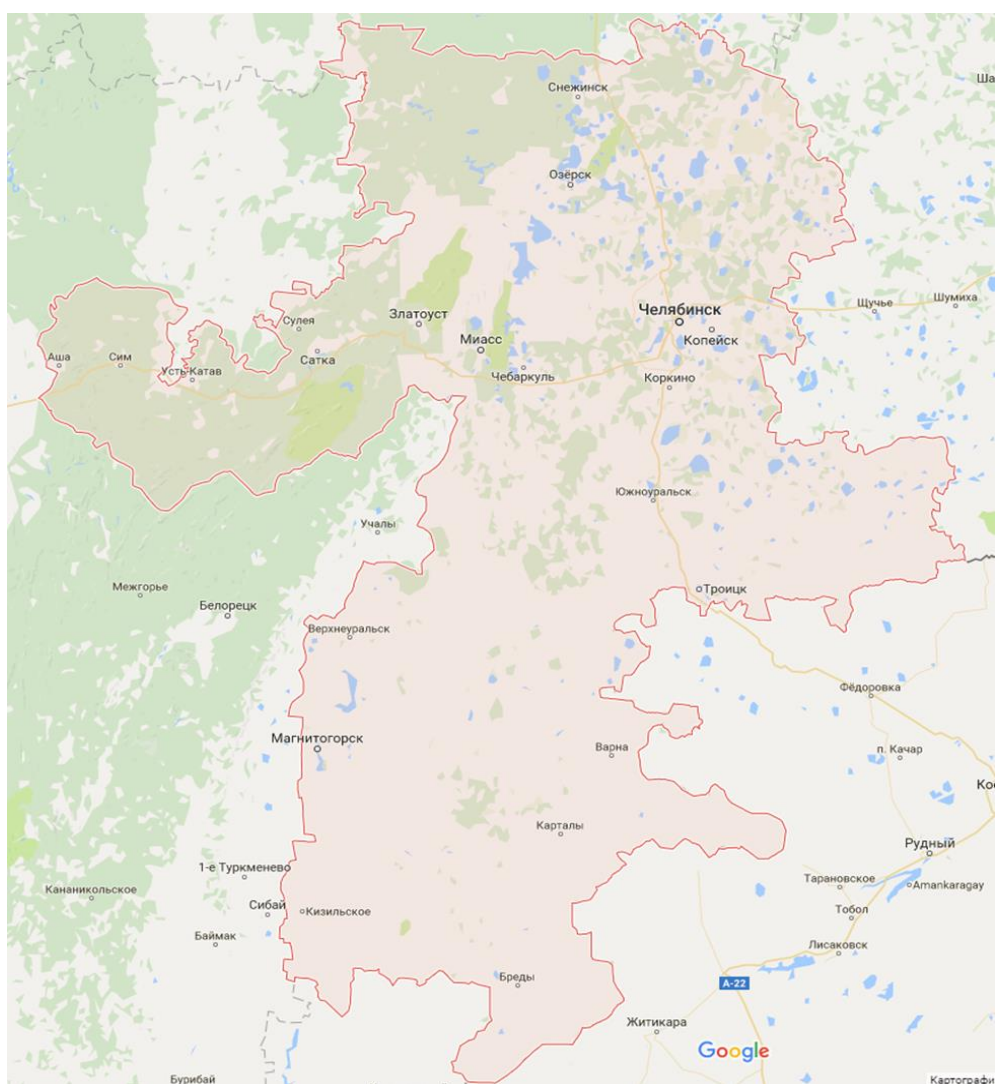


Рисунок 1.6. Схема Челябинской области



Озера в пределах горной области и предгорий восточного склона Урала редки, что обусловлено дренирующим влиянием хорошо разветвленной речной сети, а также зарастанием и заболачиванием существовавших ранее озер, наиболее крупные озера – Тургояк в районе г. Миасса и Зюраткуль в районе г. Златоуста. Озеро Тургояк (площадь 26,9 км<sup>2</sup>, средняя глубина 20,5 м) одно из самых красивейших озер Урала. Много озер на территории Ильменского заповедника им. В.И.Ленина (Ильменское, Кисегач, Аргаяш и др.). По берегам многих озер наблюдаются береговые валы, сложенные песчаным, иногда песчано-галечным материалом, местами с крупными валунами.

Большинство озер отличается малыми размерами и незначительными запасами воды. Примерно 80 процентов из них имеют площадь зеркала менее 0,5 квадратных километра. Только у 98 озер она превышает пять квадратных километров. Наиболее крупные из них: Увильды, Иртяш, Тургояк, Зюраткуль. В области есть как глубокие водоемы (30-40м), так и мелкие, глубина которых достигает всего несколько десятков сантиметров. К самым глубоким относятся Увильды, Тургояк, Б. Кисегач. Большие глубины этих водоемов, распространенных, в основном, в районе восточных предгорий, обусловлены тектоническим происхождением их котловин.

С переходом от предгорий к Зауральской равнине (южные и юго-восточные районы) глубины озер заметно уменьшаются. В среднем они здесь не превышают одного-двух метров.

Характерной особенностью озер Южного Урала являются резкие колебания уровня воды, которые повторяются с определенной цикличностью (в среднем через 20-25 лет). Многолетняя амплитуда колебания достигает двух-трех метров.

#### **1.2.4 Полезные ископаемые**

Недра Южного Урала богаты разными полезными ископаемыми. Уральские горы очень древние и сильно разрушенные, по существу, это лишь основания былых гор. Здесь имеются руды черных и цветных металлов, уголь, химическое сырье, разнообразные строительные материалы, камни – самоцветы. Всего разведано более 300 месторождений промышленного масштаба (рис.1.7).

Черные металлы. В Челябинской области разведано около двадцати месторождений железной руды. Цветные металлы. Из руд цветных металлов в Челябинской области имеются: медные, алюминиевые, никелевые, кобальтовые, мышьяковые и некоторые другие. Химическое сырье. Из полезных ископаемых,

относящихся к химическому сырью, на территории Челябинской области имеются: тальк, фосфориты, барит, серные колчеданы, соли и некоторые другие. Строительные и огнеупорные материалы, флюсы и прочее нерудное сырье. Магнезит, гипс, мергели, доломиты, известняки, мрамор, пески, глины, графит. Драгоценные и поделочные камни. В Ильменских горах встречаются: амазонит, гиацинт, аметист, опал, топаз, гранит, малахит, корунд, яшма, сапфир, рубин, солнечный камень, лунный камень, арабский камень и т. д. Кочкарском геологическом районе: топаз, кристаллы алмазов и другие камни. Топливо. Из топливных ресурсов в Челябинской области имеются бурые и каменные угли и торф.



Рисунок 1.7. Схема расположения месторождений полезных ископаемых Челябинской области

### 1.2.5 Изученность озера Большой Кисегач

На озере были проведены сейсмоакустические исследования, которые выполнялись по 2 профилям (рис. 1.9,1.10) для определения наилучшего места отбора донных отложений. Схематичное расположение профилей и точек отбора керна представлено на рис. 1.8.

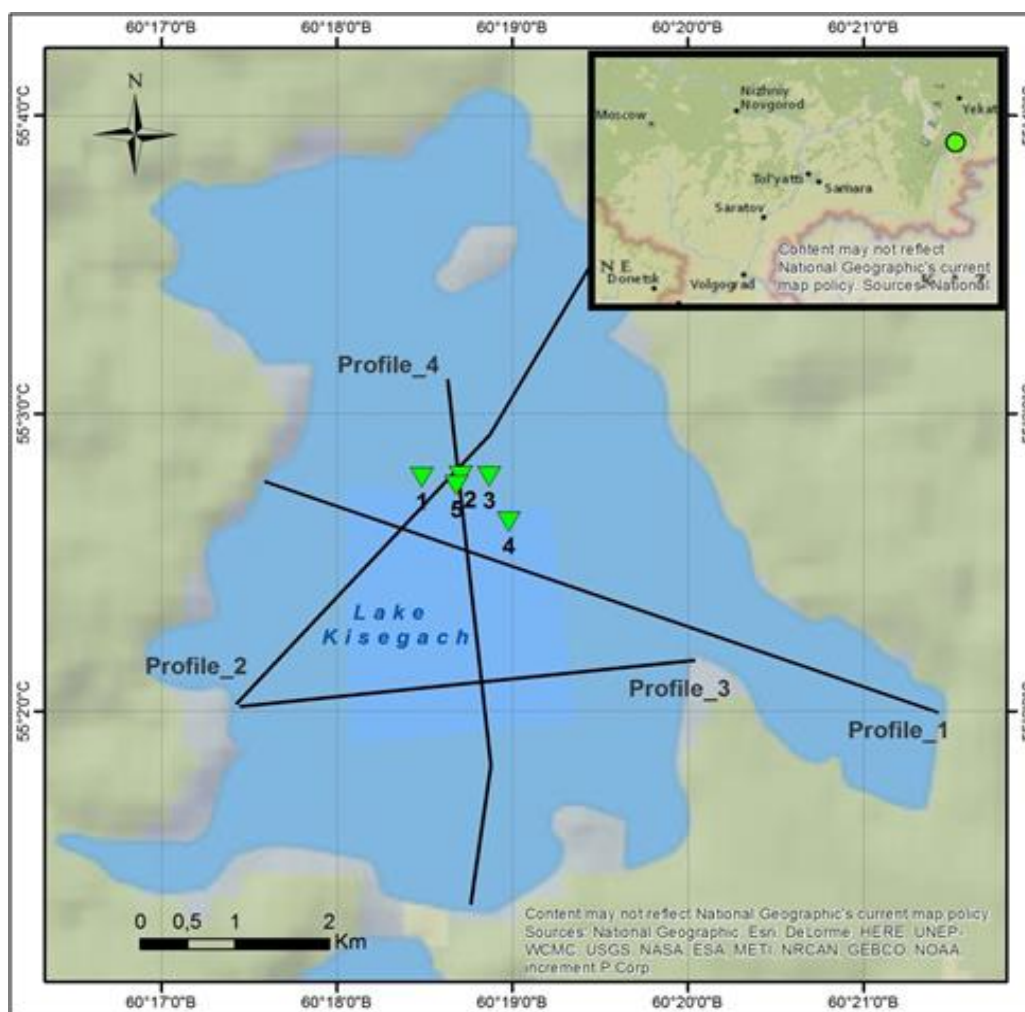


Рисунок 1.8. Схематичное расположение сейсмоакустических профилей и точек отбора керна озера Кисегач

По сейсмоакустическим данным озера Кисегач максимальная глубина озера составляет ~ 31 м. Максимальная глубина юго-западного залива составляет 14 м. При уменьшении уровня уреза воды залив отделяется от озера (Рис 1.2.5.2, Пикет 188). Керна донных отложений отбирался в самой глубокой части озера, поскольку ненарушенность и тонкая слоистость отложений на сейсмоакустической записи, говорит о наименьшем влиянии различных негативных факторов на процесс осадконакопления в данном месте.

Видимая мощность донных отложений в центральной части озера достигает 7,5-8 метров. Ниже по разрезу наблюдается акустический фундамент. Верхние 5 метров отложений представляют собой тонкослоистые органические илы. Ниже по разрезу наблюдается высокоамплитудное отражение, вероятно, связанное с перерывом в осадконакоплении. Ниже по разрезу 3 метра отложений представляют собой более плотные слоистые песчано-глинистые отложения. Местами встречаются газонасыщенные отложения, а также выходы коренных пород в водную толщу.

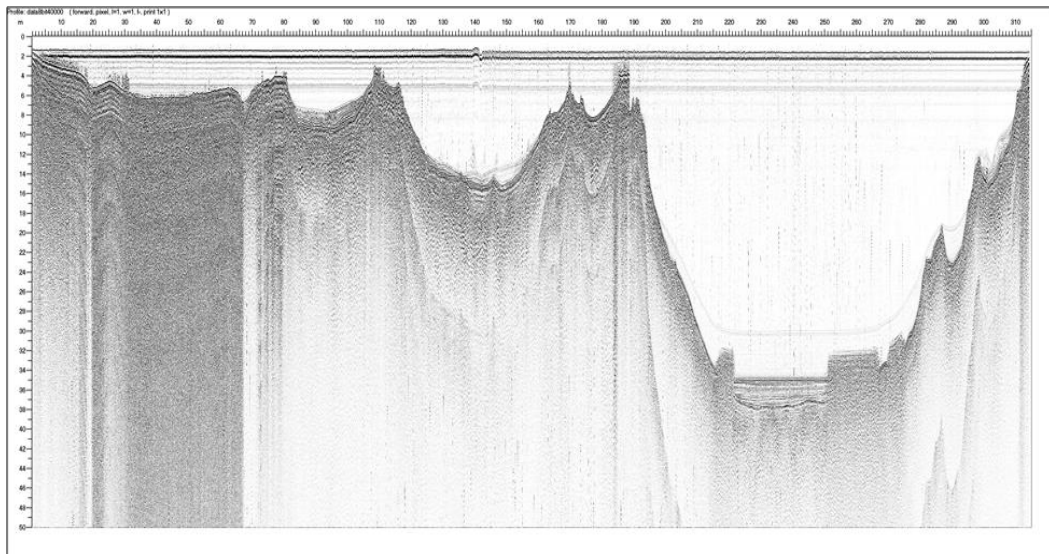


Рисунок 1.9. Сейсмоакустический профиль 1

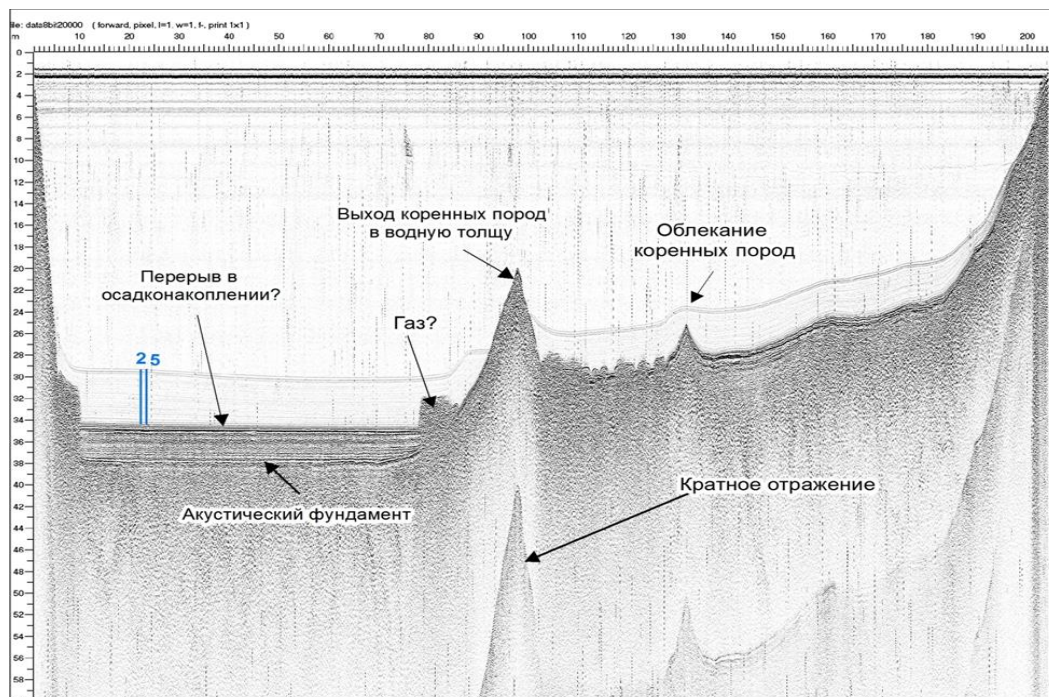


Рисунок 1.10. Сейсмоакустический профиль 2. На разрезе показаны места отбора 2 и 5 керновой колонки

Первые упоминания об исследованиях вод озер восточного склона Южного Урала относятся к началу XIX века [8]. Наиболее глубокие гидрохимические исследования начали проводиться Ильменским заповедником с 1937 по 1972 гг. [2, 4, 10] и продолжаются по настоящее время.

В период с 1994 по 2013 гг. были проведены гидрохимические исследования 9 озер Восточного склона Южного Урала, в том числе озера Большой Кисегач [Гаврилкина.С.В.,2014]. Воды исследуемых озер пресные и ультрапресные, в основном, гидрокарбонатно-кальциевого состава [1].

На графиках минерализации (рис. 1.11, 1.12) отчетливо виден рост, начиная с 30-40-х годов, где средняя сумма ионов во многих озерах составляла не более 100-150 мг/д<sup>3</sup>. Подземные воды, источники питания озер, трещинно-жильные, формирующиеся в условиях открытых и полузакрытых гидрогеологических структур с замедленным водообменом. По химическому составу ультрапресные, реже солоноватые, гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные, хлоридно-гидрокарбонатные. Общая минерализация подземных вод 0,5-1,0 г/л [4].

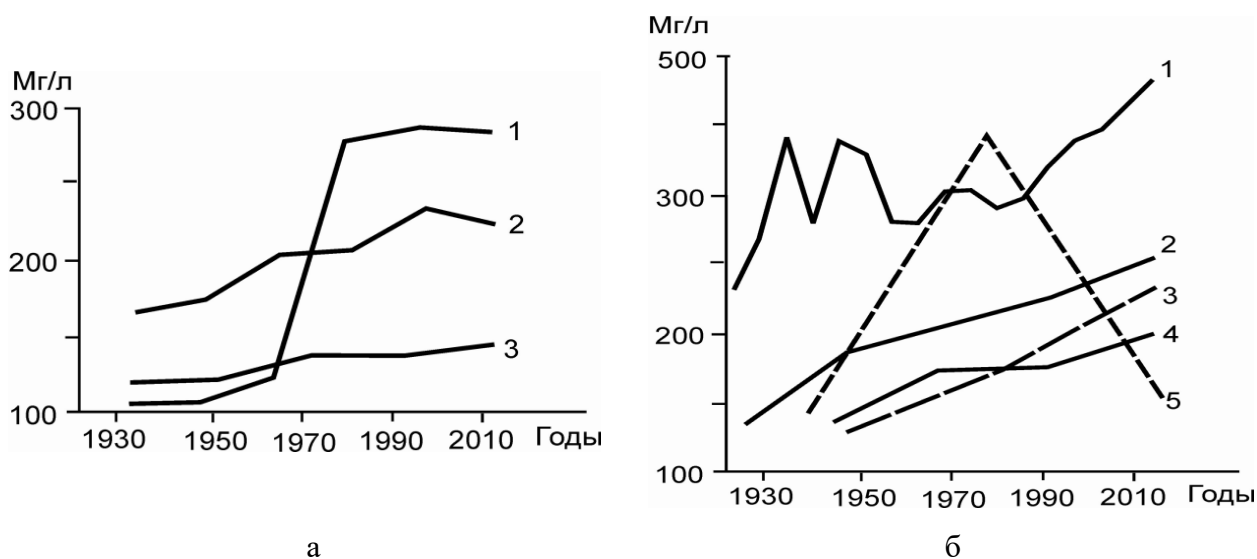


Рисунок 1.11. Многолетняя динамика минерализации гидрокарбонатных озер Восточного склона Южного Урала:

- а) глубоких озер: 1 – Большой Кисегач, 2 – Большое Миассово, 3 – Большой Ишкуль; б) неглубоких озер: 1 – Чебаркуль, 2 – Малое Миассово, 3 – Большой Таткуль, 4 – Аргаяш, 5 – Ильменское

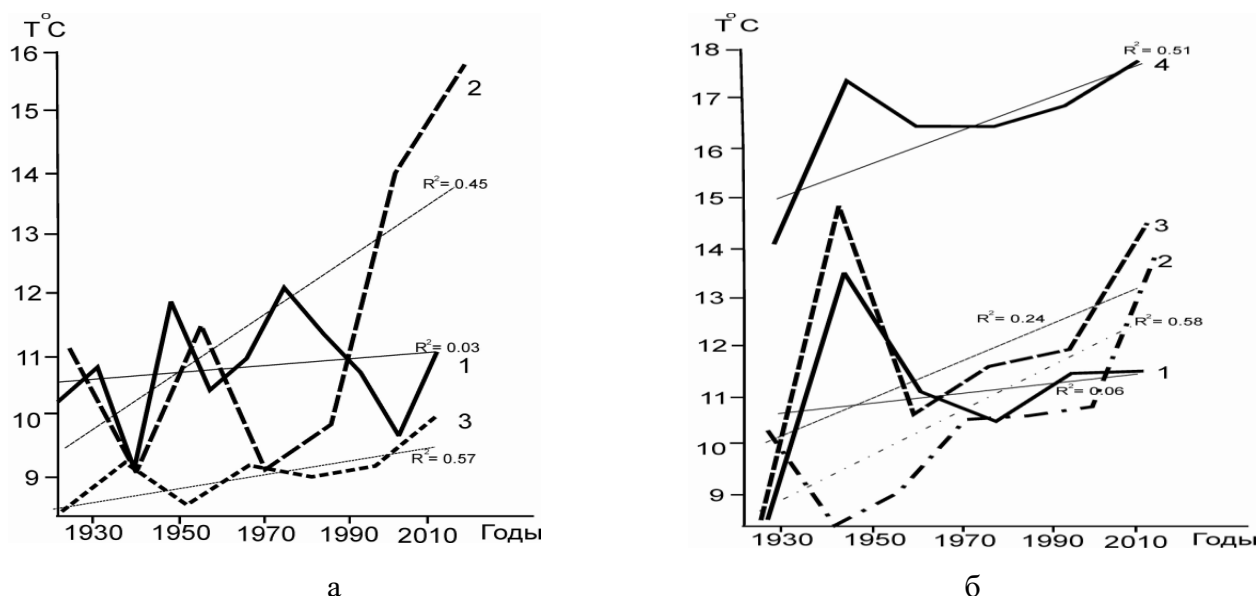


Рисунок 1.12. Многолетняя среднегодовая температура водной толщи озер с линейной линией тренда и величиной достоверности и аппроксимации  $R^2$ , а) глубоких озер: 1 – Большое Миассово, 2 – Большой Кисегач, 3 – Большой Ишкуль; б) неглубоких озер: 1 – Аргаяш, 2 – Большой Таткуль, 3 – Ильменское, 4 – Малое Миассово

В озере Большой Кисегач, начиная с 60-х г.г. отмечается рост минерализации, что, вероятно, связано с ежедневными сбросами от 300 до 800 м<sup>3</sup> технических и бытовых вод, не подвергающихся должной очистке санатория «Кисегач», расположенного на южном берегу озера.

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы: увеличение минерализации вод озер в ряде случаев является следствием нарушения гидродинамического и гидрологического режимов. Также увеличение минерализации озер происходит из-за потепления климата на Южном Урале.

В 2007 году Уральская геофизическая экспедиция в рамках федеральной программы «Создание прогнозно-геофизических карт для основных минерагенических зон России» провела работы по созданию сводной цифровой карты аномального магнитного поля масштаба 1:1000000 Уральского региона в пределах трапеции N 52-54°; E 54-66°. В этот участок входит исследуемое озеро (N 55°02'20"; E 60°18'30"). Информационной базой для создания сводных карт явились данные площадных аэрогеофизических и наземных магнитных съемок крупного, среднего и мелкого масштабов, проведенные с 1955 по 2004 годы. С целью приведения к единому уровню и увязки данных съемок выполнены наблюдения по опорным аэромагнитным профилям и создана Уральская картографическая сеть (рис. 1.13, 1.14).



Рисунок 1.13. Фрагмент карты геофизической изученности Челябинской области

УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ  
ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ  
КАРТА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ

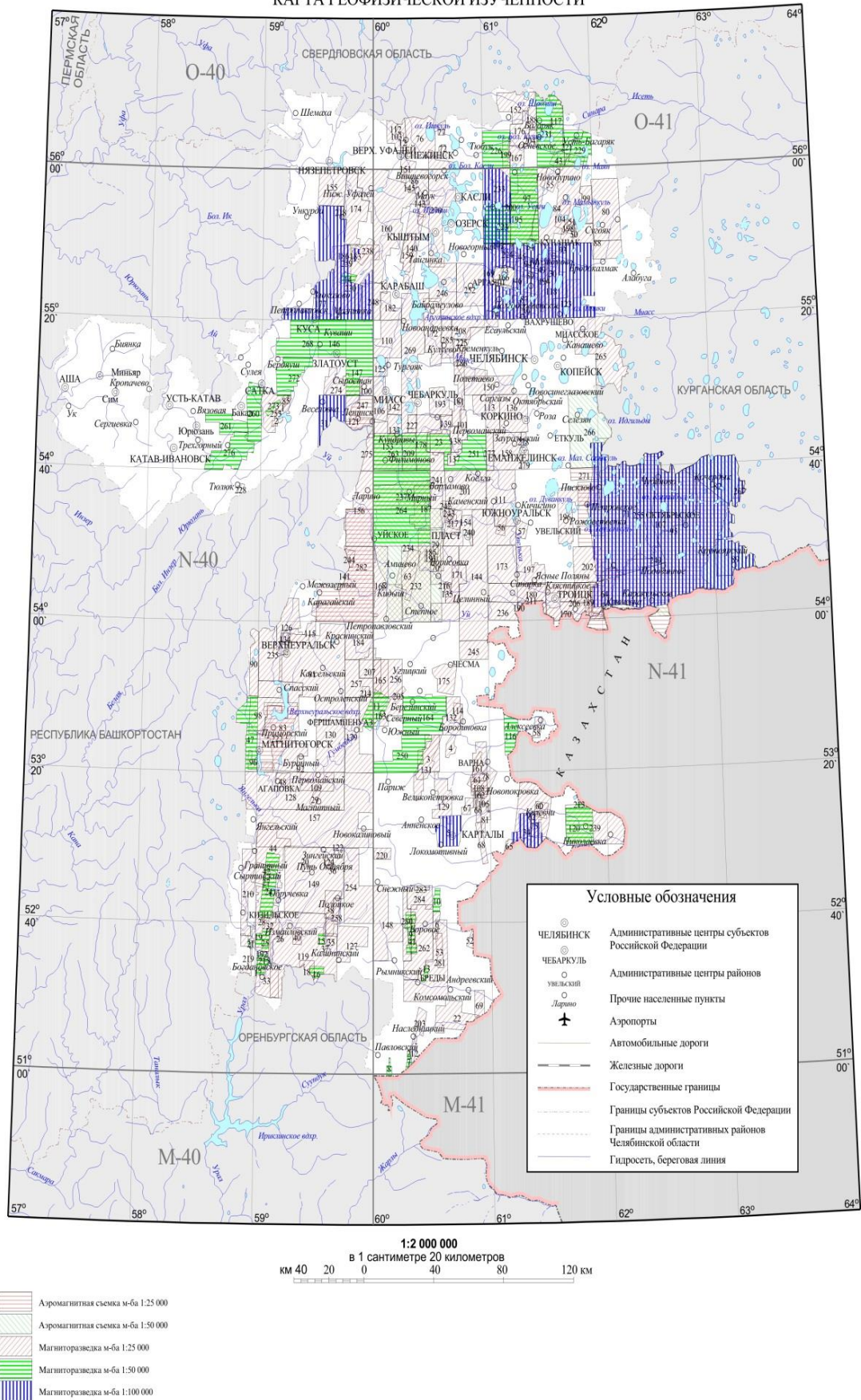


Рисунок 1.14. Карта геофизической изученности Челябинской области



## 2. Опробование донных осадков озера Большой Кисегач

### 2.1. Точки и техника отбора керна

В рамках научно-исследовательской экспедиции сотрудников КФУ ИГиНГТ в 2016 г., направленной на изучение особенностей процесса осадконакопления озера Большой Кисегач. Предварительные сейсмоакустические исследования позволили наметить точки отбора ориентированных керновых колонок вне зон газопроявлений. Эти точки находятся в непосредственной близости от второго сейсмического профиля, колонки 2, 3 и 5 расположены недалеко друг от друга.

Координаты точек отбора представлены в таблице 2, места расположения точек отбора керна представлены на рисунке 1.8.

Таблица 2. Координаты точек отбора керна

№ колонки	Широта	Долгота	Кол-во исследуемых образцов
1	55°02'47,1	60°18'29,0	252
2	55°02'47,4	60°18'42,3	251
3	55°02'47,3	60°18'52,1	250
4	55°02'38,1	60°18'58,8	130
5	55°02'45,5	60°18'40,9	225

При отборе донных отложений использовался сконструированный и изготовленный сотрудниками палеомагнитной лаборатории КФУ уникальный донный пробоотборник [5]. При разработке пробоотборника в его конструкцию были заложены следующие исходные технические параметры:

- 1) мощность исследуемой толщи осадков – не менее 6 метров достаточно плотных отложений;
- 2) ориентировка образцов – по вертикали и горизонтали с точностью в первые единицы градусов;
- 3) глубины исследуемых водоемов – от единиц до сотен метров;
- 4) вес установки – до 100-200 кг с возможностью мобильной транспортировки и последующей работы с небольшой плавающей платформы;

- 5) возможность отбора осадков различного генезиса и различной консистенции.

Сконструированный комплекс состоит из опускаемого на дно водоема бурового снаряда и поверхностной гидравлической аппаратуры. Принципиальным отличием конструкции является использование телескопического принципа работы донного снаряда, обеспечивающего задавливание колонковой трубы (диаметр 70 мм) в изучаемую толщу осадков и ее обратное извлечение после завершения процесса бурения. Колонковая труба имеет специальный профиль, исключая спиралевидное вращение. Для предотвращения преждевременного отрыва пробоотборника от дна исследуемого водоема в случае литофицированных осадков, донный снаряд снабжен специальной камерой – присоской, в которой создаются отрицательные (при отборе осадков) или положительные (при отрыве снаряда) перепады давления. Также пробоотборник снабжен двумя независимыми системами контроля вертикальности снаряда – это телеметрический инклинометр системой видеоконтроля, обеспечивающий точность азимутального и вертикального ориентирования донного снаряда в пределах  $\pm 1^\circ$ , и поплавки-стабилизаторы. Все детали пробоотборника сделаны из немагнитных материалов. На водоеме все работы с пробоотборником осуществляются с борта специально созданной плавающей самоходной платформы. Плавучесть платформы обеспечивают 8 независимых пневмокамер. Для передвижения установки по водоему платформа снабжена двумя навесными бензиновыми двигателями. Платформа изготовлена по схеме катамарана, в центральной части которого размещается буровой снаряд и механическая лебедка. На барабане лебедки намотан капроновый канат с разрывным усилием более тонны. На платформе в специальном водонепроницаемом боксе находится телеметрическая аппаратура, средства связи и навигации. Неподвижность платформы в процессе отбора образцов обеспечивается с помощью якорей.

Из поднятого со дна водоема керна отбирались образцы для лабораторных и палеомагнитных исследований. Подготовка подобной коллекции заключается в послонном отборе осадка из недеформированной части керна в пластиковые контейнеры, для палеомагнитных исследований используют контейнеры кубической формы.

Работы по отбору образцов в контейнеры производились в полевом лагере непосредственно после доставки колонковой трубы с керном на берег. Колонковая труба устанавливается в горизонтальном положении на специальных штативах. Режущее устройство фиксируется на верхнем конце колонковой трубы вместо поршневого узла с учетом показания буссоли инклинометра. Ножи специальной конструкции изготовлены из высокопрочного титанового сплава и обеспечивают бездеформационное разрезание керна непосредственно в пластиковый контейнер. Из колонковой трубы керн продавливается

через режущее устройство в контейнер с помощью специального винтового домкрата, фиксируемого на нижнем конце колонковой трубы. Для последовательного выдавливания керна винтовым домкратом, используются несжимаемые пластиковые вставки длиной 100 мм, добавляемые по мере отбора керна из колонковой трубы. Маркированные пластиковые контейнеры герметично упаковываются, затем отобранная коллекция помещается в пермалоевые экраны для транспортировки в лабораторию [Борисов, 2004].

При послойном отборе центральной части керна в контейнеры для магнитно-минералогических исследований, его остающаяся периферийная часть также послойно отбирается и упаковывается в алюминиевую фольгу или герметичные пакеты для последующих анализов.

## **2.2. Общая литологическая характеристика керна**

Керн включает в себя 1108 образцов по пяти колонкам.

Первая колонка керна содержит 252 образца (образцы 1-252), шаг отбора - 2 см. Глубина воды в месте отбора составляет 5.04 м. Верхняя часть колонки представлена илами серо-зеленого цвета с темными вкраплениями, что особенно выражено в образцах 1-3. Начиная с 7 образца осадки однородно-тёмного цвета. В образцах 48,54,57,92,93,95 обнаружены растительные остатки. Осадки 164,172,180 содержат светло-коричневые, коричневые и серые включения. Образцы 187-193,196,206 характеризуются серой слоистостью. Осадки 210, 213 – серые тонкослоистые, 234 – светло-серого цвета.

Вторая колонка керна содержит 251 образец (образцы 301-552). Шаг отбора 2 см. Осадки в основном темные, черно-зеленого цвета. Черный ил составляет верхнюю часть колонки, далее идет переход от черного (346) к темно-зеленому (377) цвету осадка. С 406 образца цвет осадка переходит от светлых тонов серого к черному (414) и темно-зеленому цвету (420). Образец 430 - тонкослоистый. Осадки 431-552 имеют светлые желто-зеленые, серо-зеленые и светло-серые цветовые оттенки. В частности, образцы 445 и 464 содержат коричневое пятно; осадок 511-го образца светло-серо-зелёного цвета; 524 – жёлто-зелёного; 530 – светло-жёлто-серо-зелёного цвета; осадок 532-го образца светло-серо-зелёный, в нём возможно наличие фауны; в образце 534 наблюдается светло-серый осадок и отсутствие слоистости.

Третья колонка керна начинается с образца 601 и заканчивается образцом 851 с шагом 2 см. Основную часть изучаемого керна составляют переслаивающиеся илы

черного, серого и темно-зеленого цветов. Образец 601 – осадок темно-зеленого цвета. Осадки 636-638 – содержат включения желтого цвета. Осадок 655 – черного цвета. В образце 673 встретилась органика. В осадке 698 наблюдается скрытая слоистость, в 736 слоистость явная. Цвет осадка 748 – темно-зеленый. К 761 образцу слоистость осадков периодически исчезает. Ниже осадки переслаиваются от темно-зеленых до светло-серых и серо зеленых цветов. Конкретно осадок 802 содержит серые включения; в 805-ом наблюдается тёмно-зелёный осадок с тонкой слоистостью; образец 816 содержит коричневые включения; осадок 818 серо-зелёного цвета; 827 – светло-серого. Осадки 838,841 неоднородные, деформируются при выдавливании.

В верхней части четвертой колонки было отобрано и выдавлено в пакетики 130 образцов. Нижняя часть керновой колонки после отбора верхней части на образцы была целиком помещена в лоток длиной 3м.

Пятая керновая колонка включает в себя все оставшиеся образцы (900 - 1126). Верхняя часть колонки представлена жидким черным осадком. С 901 образца прослеживается переслаивание черных и темно-зеленых илов. В образцах 949 и 990 осадок чёрный; в 983-ем – тёмно-зелёный. В 1023 наблюдается скрытая слоистость, а в 1037 – тонкая слоистость. В образцах 1038–1124 прослеживается переход вкраплений от коричневого цвета до желтого. Включение жёлтого цвета особенно ярко выражено в образцах 1090 и 1095. В 1108 образце присутствует фауна-органика. Осадки с 1109 образца серо-зеленого, желто-серого цветов. В осадках 1120, 1124 содержится песок (жёлтые вкрапления).

### **2.3. Измерение магнитной восприимчивости**

Для измерения магнитной восприимчивости ( $k$ ) всех образцов (1108 шт.) керновых колонок использовался каппа-мост MFK-FA (фирмы AGICO). Оборудование предназначено для измерения анизотропии магнитной восприимчивости. Возможно два режима вращения образца. Медленное вращение используется для рассыпчатых, плохо консолидированных пород.

Измерения проводились на частоте 976 Гц (рис. 2.1). Высушенный предварительно осадок взвешивался.



Рисунок 2.1. Мультифункциональный капиллярный мост MFKA1-FA

## 2.5 Корреляция керновых колонок

Для корреляции керновых колонок, отобранных в различных частях озера, как правило, используется магнитная восприимчивость. Этот параметр чувствителен к климатическим трендам и его изменения происходят по всему бассейну осадконакопления одновременно.

Анализ более 1100 образцов показал, что значения магнитной восприимчивости осадков оз. Большой Кисегач изменяются в пределах  $0.058 - 3.99 \cdot 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг. На основе вариаций по пяти колонкам создана схема корреляции (рис.2.2).

Если рассматривать схему снизу в верх, можно отметить сложное поведение кривых в нижней части разреза до глубины порядка 450 см, после чего процесс осадконакопления происходил единообразно на исследуемой части водоема, и толщина осадков накапливалась без каких либо значительных изменений.

В этот период происходит постепенное уменьшение магнитного материала вверх по разрезу, что может быть связано с потеплением климата и снижением поступления терригенного материала.

Начиная с глубины 40 см в керновой колонке №1, 140, 160 и 130 см в колонках №2, 3 и 5 соответственно происходит повышение значений магнитной восприимчивости, что является свидетельством о резких изменениях в экосистеме осадочного бассейна. Такие

повышенные значения магнитных параметров наблюдаются до верхней части разреза. Однако следует отметить локальный минимум на глубине 65 см в керновой колонке №2, и в колонках №3 и 5 на глубине 40 и 75 см. Керновая колонка №1 эти слои не содержит, что скорее всего связано с техническими особенностями отбора керна.

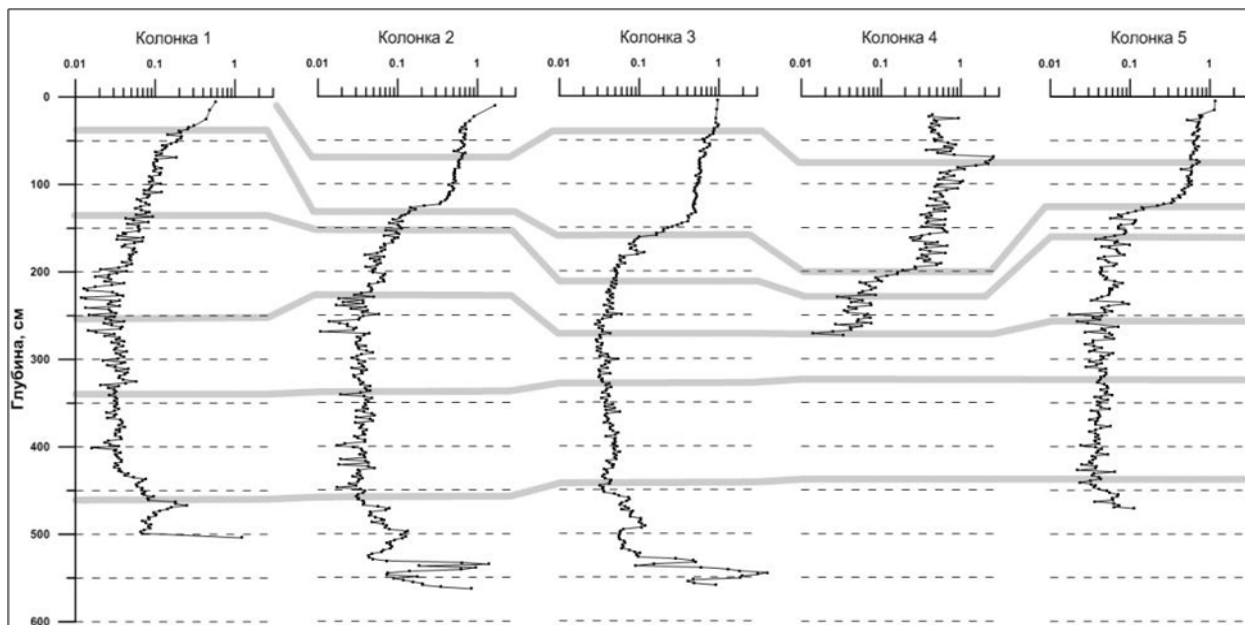


Рисунок 2.2. Схема корреляции керновых колонок оз. Большой Кисегач на основе данных магнитной восприимчивости ( $\cdot 10^{-6}$  мЗ/кг)

## 2.4. Коэрцитивная спектрометрия

### 2.4.1. Проведение пробоподготовки

При помощи агатовой ступки и пестика пробы образцов колонки №3 (250 шт.) измельчались до порошкообразного состояния, затем специальными приспособлениями из немагнитного материала (латунь) упаковывались в бумажные контейнеры, изготовленные из листа бумаги размерами 4х3 см (рис. 2.3).

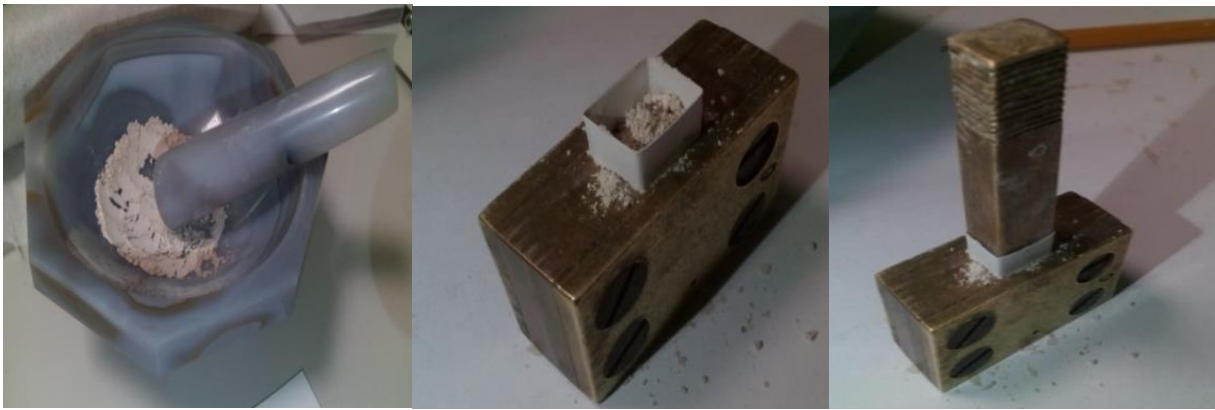


Рисунок 2.3. Подготовка образцов к измерениям

Размеры контейнера соответствуют подготовленному для него отсеку внутри держателя коэрцитиметра. Перед началом упаковки контейнер взвешивается, чтобы вычесть его массу из массы готового экземпляра. При упаковке следует утрамбовывать материал как можно плотнее во избежание движения частиц породы при вращении образца в держателе коэрцитивного спектрометра. Также нужно следить, чтобы на контейнере не было разрывов или порезов. Затем контейнер с породой заклеивается и взвешивается на высокоточных весах. Карандашом (использование ручек и маркеров запрещено) на нём указывается номер образца, место отбора и вес пробы за вычетом веса контейнера (округление до тысячных долей грамма). Подготовленная коллекция образцов представлена на рис. 2.4. Далее каждый подготовленный образец помещается в держатель коэрцитиметра, при этом он не должен выходить за пределы измерительного отсека.

С использованием коэрцитивного спектрометра «J\_meter» [6] позволяющего отдельно регистрировать остаточную и индуктивную намагниченности образцов при комнатной температуре, были получены спектры нормального намагничивания до полей 1.5 Тл по всем образцам колонок №2 и 3.

В приборе реализован и автоматизирован обычный метод пошагового намагничивания образцов исследуемых веществ (рис.2.5). Источником магнитного поля служит электромагнит. Измерение индуктивной и остаточной намагниченностей производится с помощью индукционных датчиков (катушек), один из которых размещен между полюсами электромагнита, другой – вне магнитного поля в многослойном пермалловом экране. Исследуемый образец размещается на диамагнитном, вращающемся с постоянной угловой скоростью диске, с помощью которого вносится в магнитное поле для намагничивания и измерения индуктивной намагниченности и выносится из него для измерения остаточной намагниченности.

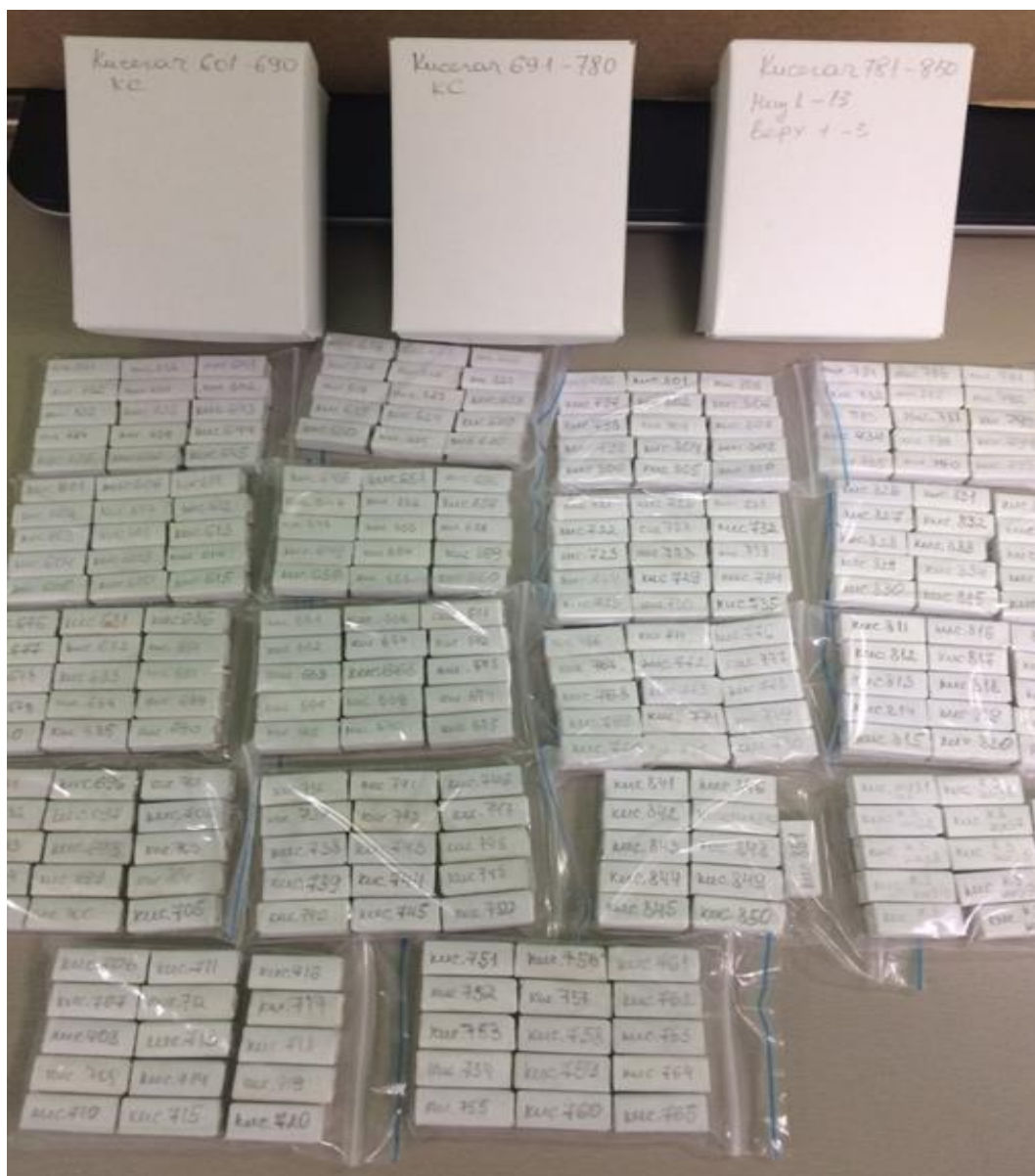


Рисунок 2.4. Подготовленная к измерениям коллекция образцов

Малая величина шага  $\Delta B$  превращает процессы намагничивания и перемангничивания в практически непрерывные. Электрические сигналы, индуцируемые в датчиках магнитным полем движущегося образца, усиливаются, фильтруются, оцифровываются. ЭВМ управляет всеми узлами прибора, принимает результаты текущих измерений, производит их обработку, визуализацию и сохранение на диске. Роль оператора сводится к установке образца в держатель и вводу с клавиатуры компьютера имени образца и параметров процесса намагничивания и обработки. Общий вид прибора представлен на рис. 2.4.

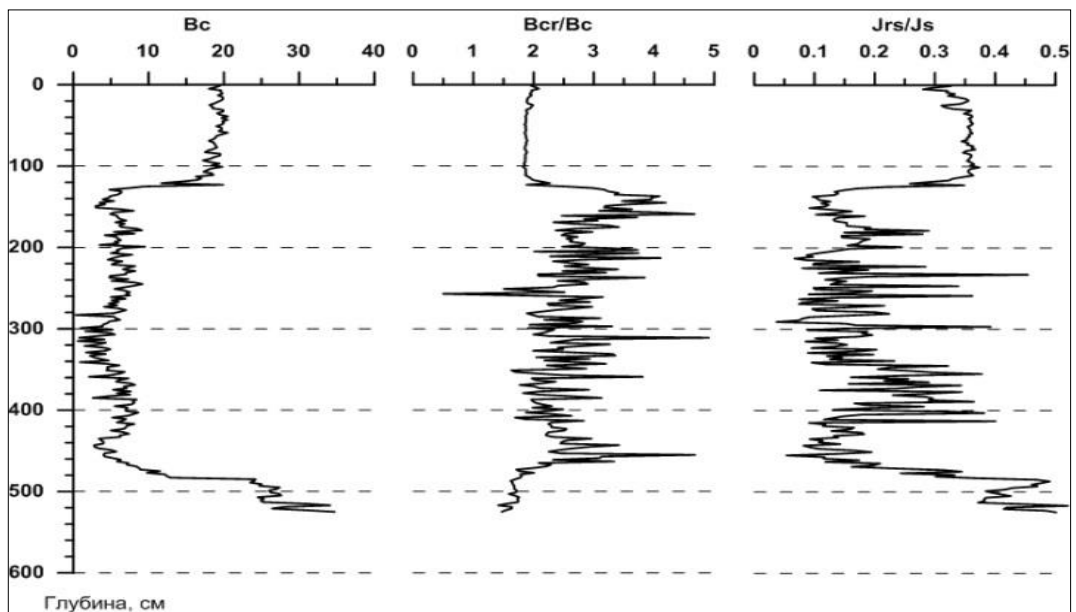




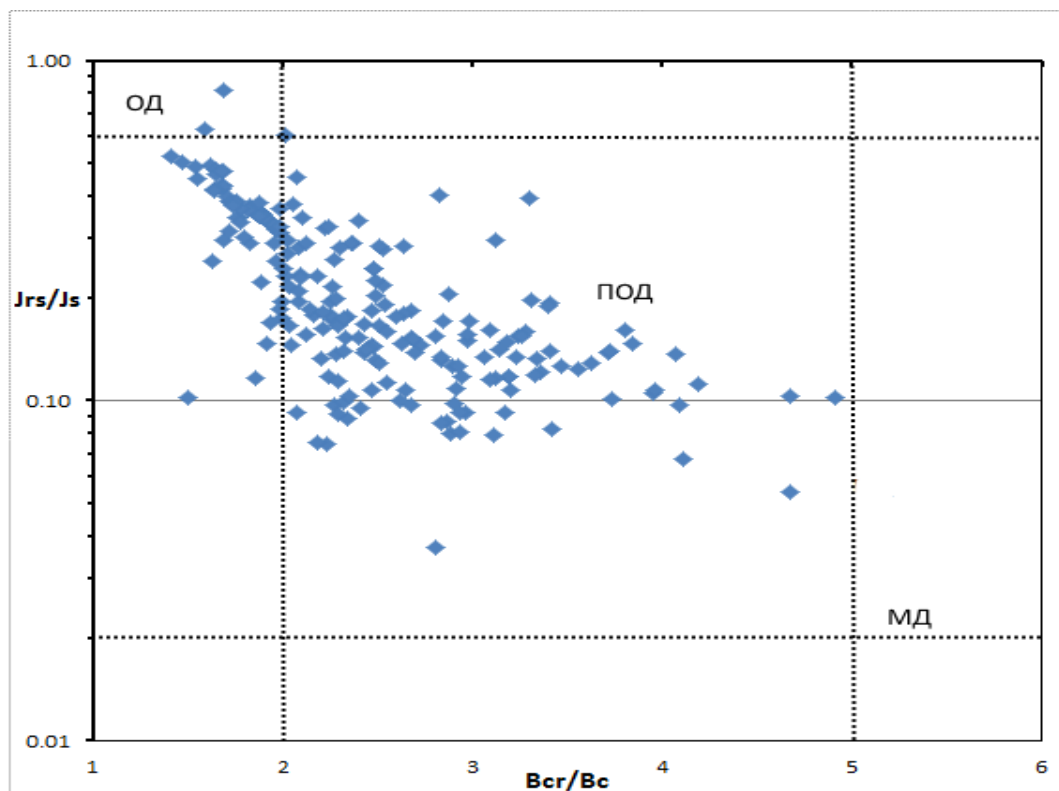
Рисунок 2.5. Общий вид коэрцитивного спектрометра J\_meter

Спектры нормального намагничивания до полей 0,5 Тл были получены по всем образцам керновой колонки №3. При этом использовался коэрцитивный спектрометр «J\_meter» [6], позволяющий отдельно измерять остаточную и индуктивную намагниченности образцов при комнатной температуре. По кривым нормального намагничивания определены следующие гистерезисные параметры [7,8]: нормальная остаточная намагниченность насыщения ( $J_{rs}$ ), намагниченность насыщения за вычетом парамагнитной компоненты ( $J_s$ ), намагниченность парамагнитной компоненты в поле 0.5 Т ( $J_p$ ), коэрцитивная сила намагниченности насыщения за вычетом влияния парамагнитной компоненты ( $B_c$ ), коэрцитивная сила остаточной намагниченности насыщения ( $B_{cr}$ ), положение максимума коэрцитивного спектра нормального остаточного намагничивания ( $B_{da}$ ), положение максимума коэрцитивного спектра нормального остаточного намагничивания перемагничивания из насыщенного состояния ( $B_{db}$ ).

Параметры  $J_s$  и  $J_{rs}$  являются концентрационно-зависимыми, их величины в первую очередь определяются концентрацией магнитных минералов в горных породах. Поведение  $B_{cr}$  сильно зависит от присутствия однодоменных (ОД) магнитных частиц, а величина и поведение  $B_c$  определяются, главным образом, многодоменными (МД) магнитными частицами. Отношение  $B_{cr}/B_c$  отражает содержание низкокоэрцитивных (магнитомягких) и высококоэрцитивных (магнито жестких) минералов в породах. Соотношения гистерезисных параметров имеют свои диапазоны изменения для каждого доменного состояния магнитных частиц. Вариации  $\alpha$  и некоторых из этих параметров, а так же их соотношения представлены на рисунке 2.6.



А



Б

Рисунок 2.6. А) Вариации гистерезисных параметров с глубиной. Б) Диаграмма Дзя по образцам керновой колонки №4 оз. Большой Кисегач

Анализ полученных данных позволяет сделать некоторые выводы о доменной структуре магнитной фракции и об особенностях осадконакопления. Диаграмма Дзя

свидетельствует о содержании в образцах главным образом однодоменных частиц с примесью многодоменных и суперпарамагнитных зерен (рис. 2.6 Б). Согласно рис.2.6 А если двигаться вверх по разрезу на глубине 4.8 м происходят резкие значительные изменения в процессе осадконакопления. Магнитная жесткость большинства частиц резко снижается (параметр  $V_c$ ) и далее изменяется с незначительными колебаниями. На глубине 1.3 м снова происходит резкий рост параметра  $V_c$  и стабилизация процесса. Параметры  $V_{cr}/V_c$  и  $J_{rs}/J_s$  так же закономерно меняются на этих глубинах. Скорее всего это связано с резкими изменениями однодоменной составляющей магнитной фракции. В связи с тем, что она скорее всего представлена остатками магнитотактических бактерий, можно говорить о резких климатических изменениях, которые могли привести к изменениям в популяции таких бактерий. Вероятно, при высоких значениях  $V_c$  бактерии производили более магнитомягкие магнитные кристаллы, с возрастанием  $V_c$  бактерии начинали производить более магнито жесткие частицы.

С целью определения природы изменений магнитной восприимчивости мы выявили вклад различных компонент – ферромагнитной ( $\chi_f$ ), парамагнитной и диамагнитной ( $\chi_p$ ), а также суперпарамагнитной ( $\chi_{sp}$ ). Параметры были рассчитаны по методике, представленной в статье [9]. Вариации этих параметров с глубиной представлены на рис. 2.7. Каждая из составляющих имеет различную природу происхождения: парамагнетики – обычно терригенный привнос, ферромагнетики – зачастую биогенное происхождение, суперпарамагнетики – как биогенное, так и терригенное происхождение. Парамагнитная составляющая свидетельствует о наличии тренда на увеличение поступления терригенного материала в бассейн осадконакопления. Исходя из анализа полученных данных, можно судить о значительном вкладе ферромагнитной компоненты и в меньшей степени парамагнитнокомпоненты в состав магнитной восприимчивости. Ферромагнитная и суперпарамагнитная составляющие имеют сходное поведение, это говорит об их биогенной природе. Если ферромагнитная компонента представлена остатками магнитотактических бактерий, производящих биологически контролируемые магнитные минералы (БKM), это минералы, которые используются в жизненном цикле бактерии и находятся внутри клетки. Управление БKM происходит при помощи точных метаболических и генетических процессов [10]. Такие частицы – магнитосомы, имеют жесткий диапазон размеров от 40 до 120 нм, иногда при особых условиях окружающей среды они вырастают до 500 и даже 800 нм. Тогда суперпарамагнитная компонента представлена биологически индуцированными магнитными минералами. Такая минерализация относится к процессам, не имеющим биологического контроля. А такие минералы являются результатами жизнедеятельности

бактерий использующих в своем жизненном цикле железо, минералы которого наблюдаются за пределами клетки. Такие частицы не превышают 30-40 нм.

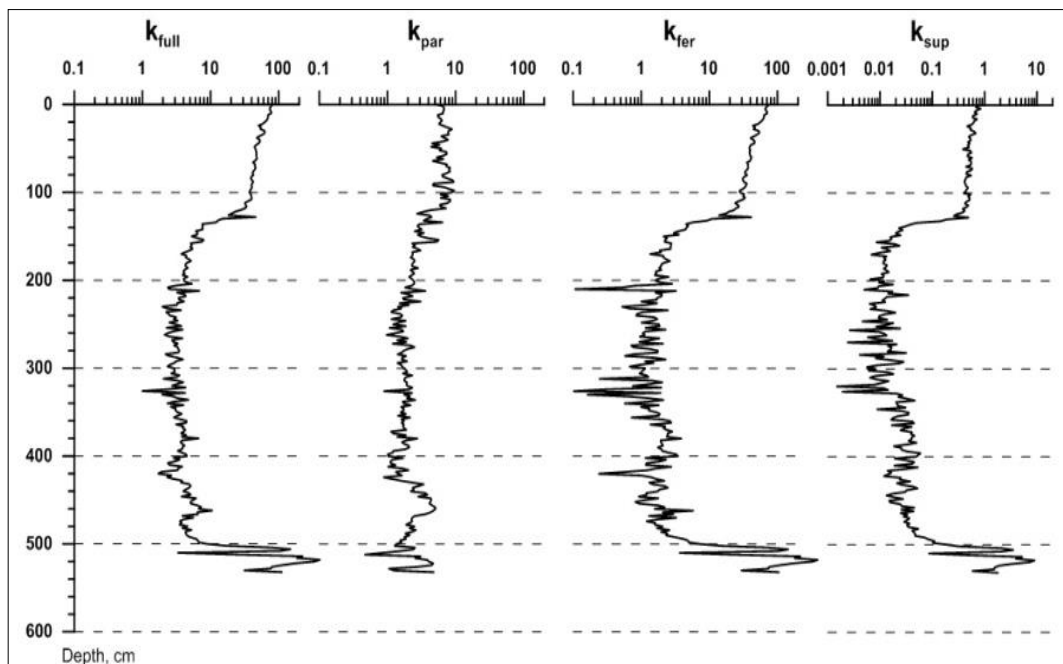


Рис. 2.7. Вариации компонент магнитной восприимчивости

Изменения магнитной восприимчивости, ферромагнитной и суперпарамагнитной компонент, так же как и гистерезисных параметров свидетельствует об изменениях климатических условий на границах 4.8 м и 1.3 м. Понижение значений ферромагнитной и суперпарамагнитной компонент говорит о вероятном снижении численности бактерий либо о плохой сохранности мелких магнитных зерен.

## 2.6 Сепарация магнитной фракции

С целью выделения магнитной фракции сухие пробы осадка помещались в пластиковые баночки с шариком для взбалтывания, заливались дистиллированной водой, и устанавливались на 15 минут в прибор Vortex. После того, как осадки размокали в воде, образуя однородную взвесь, в баночку помещался магнит, обернутый в напальчник, и исследуемые образцы снова помещались в прибор для взбалтывания Vortex. Через некоторое время из баночки магнит извлекался. В процессе взбалтывания к нему прилипала магнитная фракция. Аккуратно срезав напальчник, магнит извлекался, и магнитная фракция с напальчника смывалась в чашки Петри. После магнитная фракция

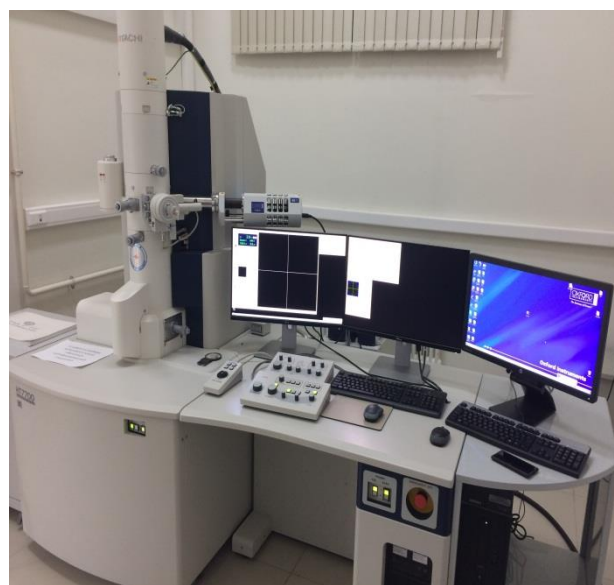
периодически диспергировалась в ультразвуковой ванне и промывалась с целью отделения породы от магнитной фракции.

## 2.7 Высокоточная просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия

Для определения наличия магнитных микрофоссилий в образцах использовался просвечивающий электронный микроскоп Hitachi HT7700 Excellence. Методика пробоподготовки включала в себя помещение 10 мкл суспензии магнитного сепарата на 3мм медную сеточку с подложкой формвар/углерод, и сушку при комнатной температуре. После полного высыхания сеточка помещалась в просвечивающий электронный микроскоп в специальный держатель для проведения микроанализа (рис 2.8 А.). Просмотр проводился при ускоряющем напряжении 80 кВ в режиме ТЕМ, элементный анализ проводился в STEM режиме при тех же параметрах с использованием детектора Oxford Instruments X-Max™ 80T (рис.2.8 Б).



А



Б

Рисунок 2.8. А – проведение пробоподготовки; Б – детектор Oxford Instruments X-Max™ 80T

Помимо этого, исследования проводились на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе Merlin компании Carl Zeiss (рис.2.9). Зафиксированные на держатель пробы магнитного сепарата образцов помещались в камеру электронного

микроскопа, и проводилось зондирование с выбранных участков. Микроскоп оснащен спектрометром энергетической дисперсии AZtec X-MAX. Разрешение спектрометра 127 эВ. Точность измерения составляет 0.01-1% и зависит от состояния исследуемого объекта. Съемка морфологии поверхности проводилась при ускоряющем напряжении 5 кэВ для улучшения глубины резкости изображения. Элементный анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кэВ и рабочем отрезке 9 мм, что позволяет избежать минимальных погрешностей. Глубина зондирования составляет менее 1 мкм.

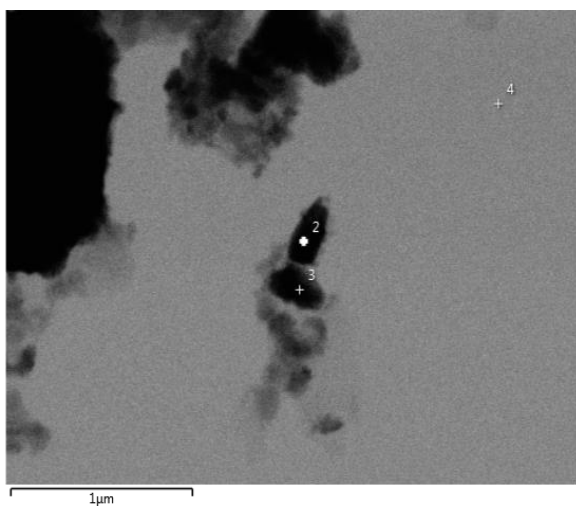


Рисунок 2.9. Проведение сканирующей электронной микроскопии

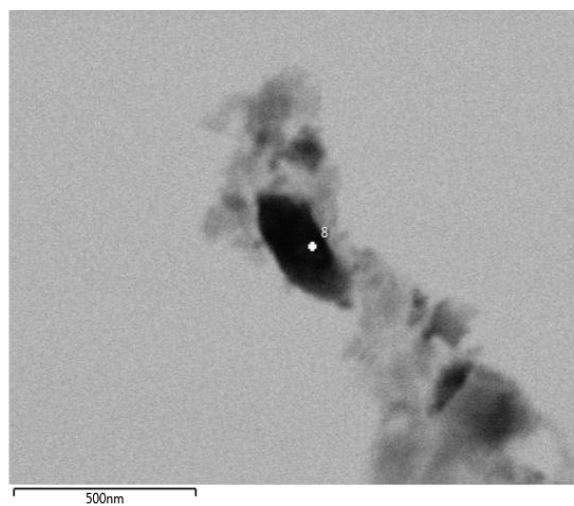
Микрозондовый анализ проводился с нескольких точек и площади для выявления неоднородностей состава образца. Эти точки помечены кружочками, крестиками или прямоугольными областями на фотографиях. Для каждой точки, помеченной крестиком, приведен спектр и таблица элементного состава зондируемой области.

Для проведения количественного анализа использовался набор эталонов, установленных в программу Aztec (reference standards for X-RAY microanalysis “Registered Standart No. 8842”).

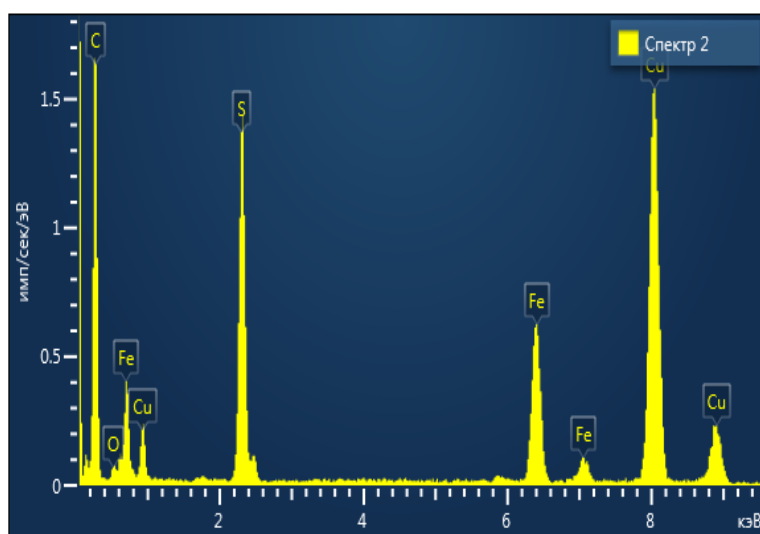
Некоторые результаты ПЭМ представлены на рис. 2.10. Здесь можно видеть остатки магнитотактических бактерий, представленных грейгитом (рис. 2.14). Образцы 533 и 539.



А 533

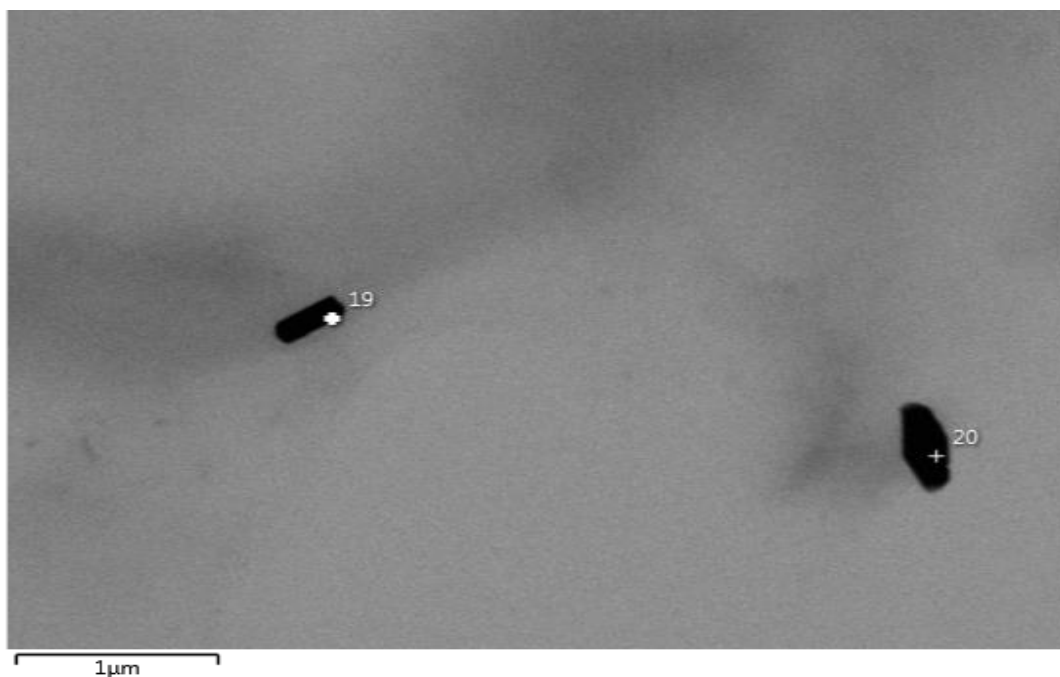


Б 539

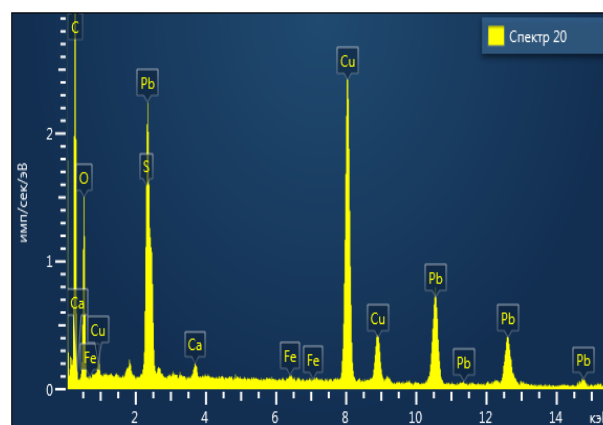
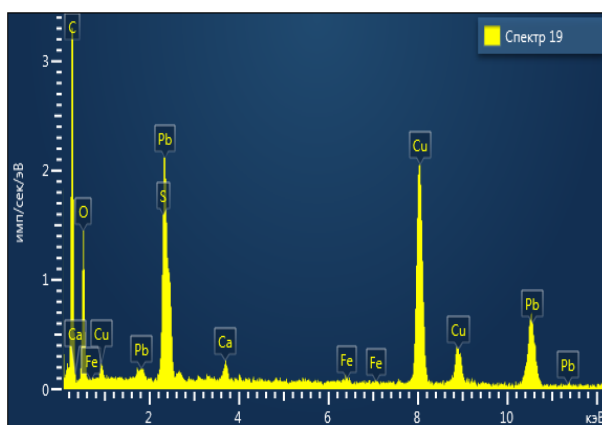


В

Рисунок 2.10. Изображения, полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа. А – образец 533, Б – образец 539, В - элементный состав точки 2 исследования микронзондом образца 533



А



Б

В

Рисунок 2.11. Изображения, полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа образца 533. А – мелкие частицы, представленные сульфидом свинца, Б, В – элементный состав образца 533

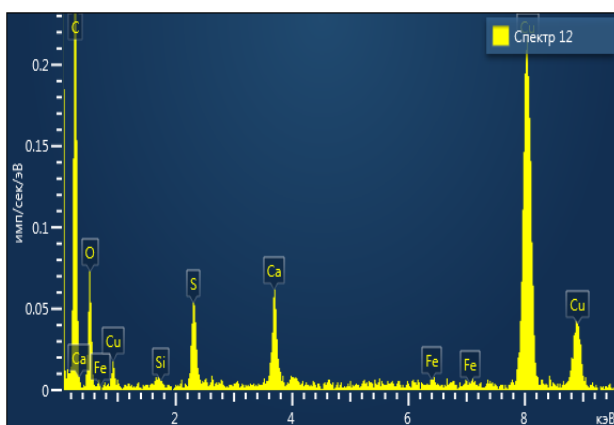
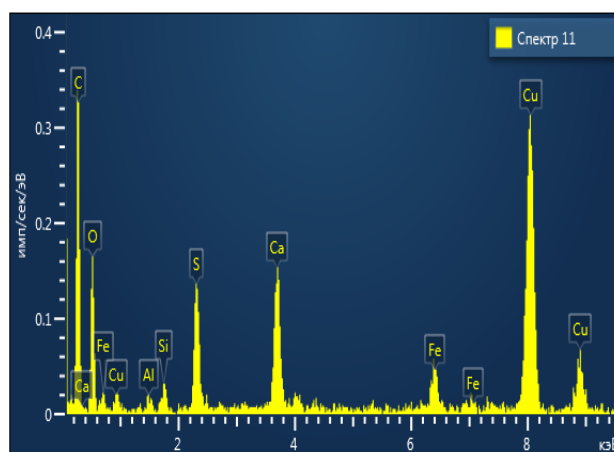
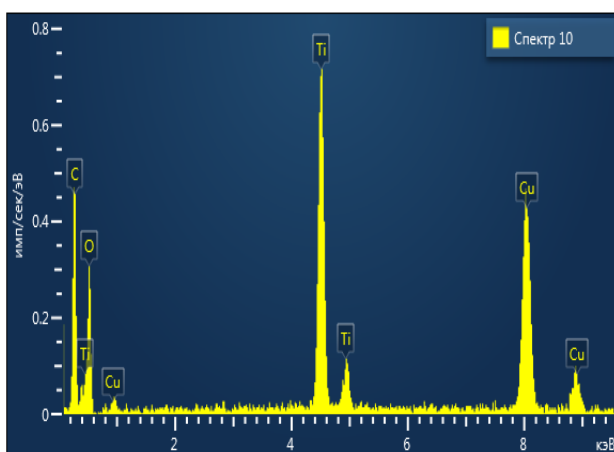
Стоит обратить внимание на мелкие частицы порядка 300-500 нм (рис 2.11 А) представленных сульфидом свинца в образце 533 (глубина 470 см), вероятно представленных галенитом PbS (рис.2.11 Б, В). Этот минерал считается распространенным среди осадочных горных пород и является гидротермального происхождения.

В образцах 539 и 362 обнаружены частицы оксида титана (TiO или TiO<sub>2</sub>) (рис. 2.12 и рис.2.13), В образце 539 видны кристаллы гипса (рис.2.12 Б).



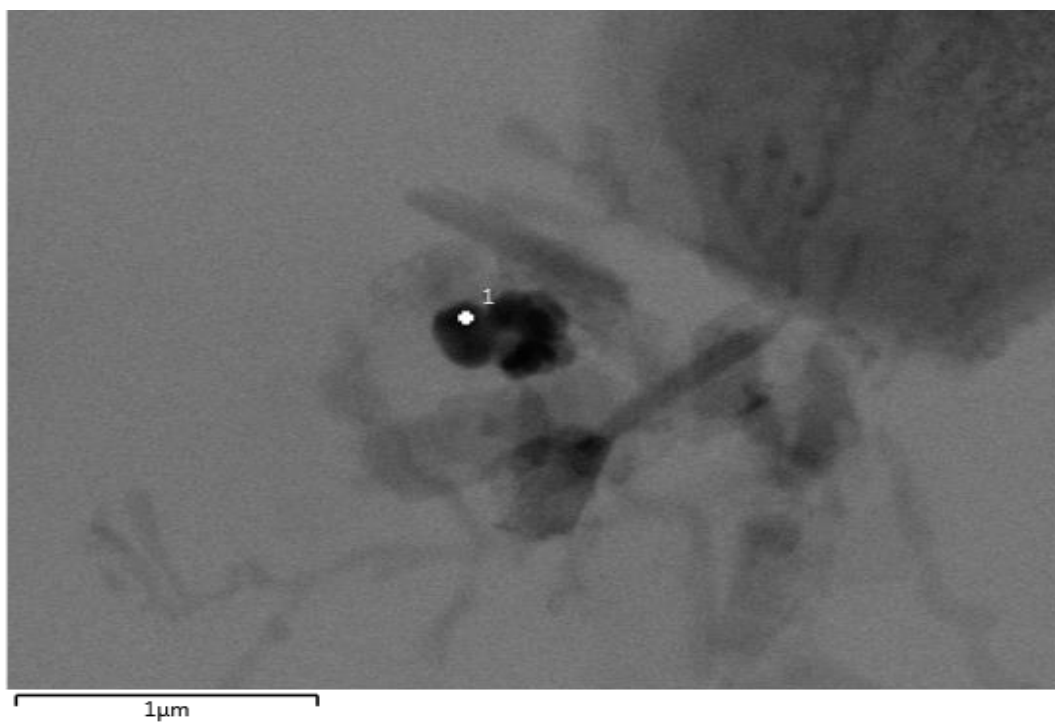


А

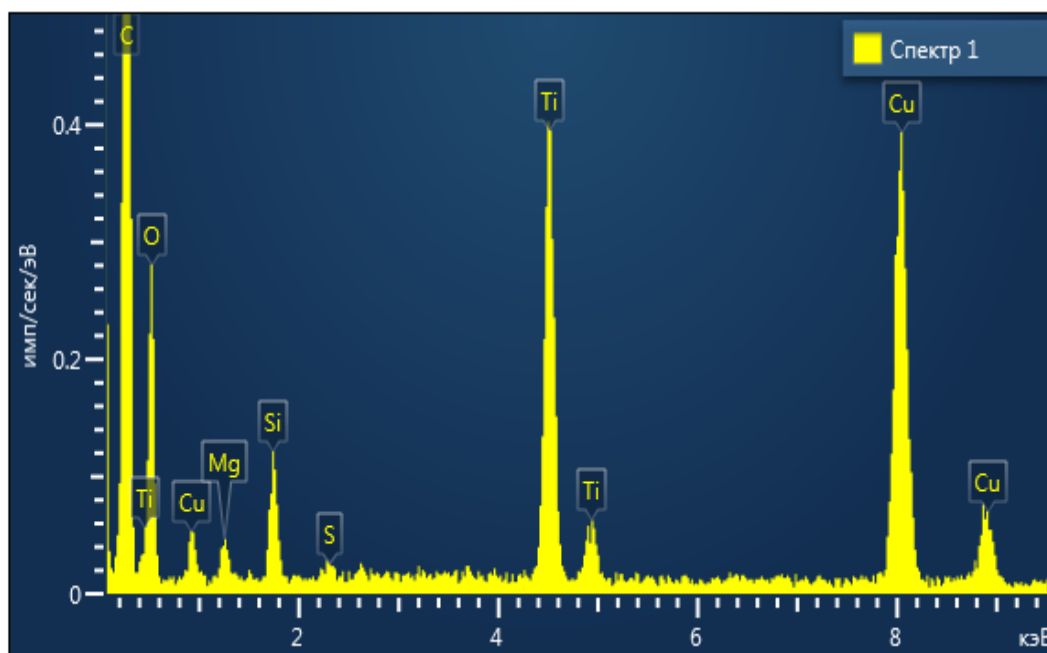


Б

Рисунок 2.12. А - электронно-микроскопический снимок образца 539 . Б- элементный состав точек 10,11,12 исследования микрозондом



А



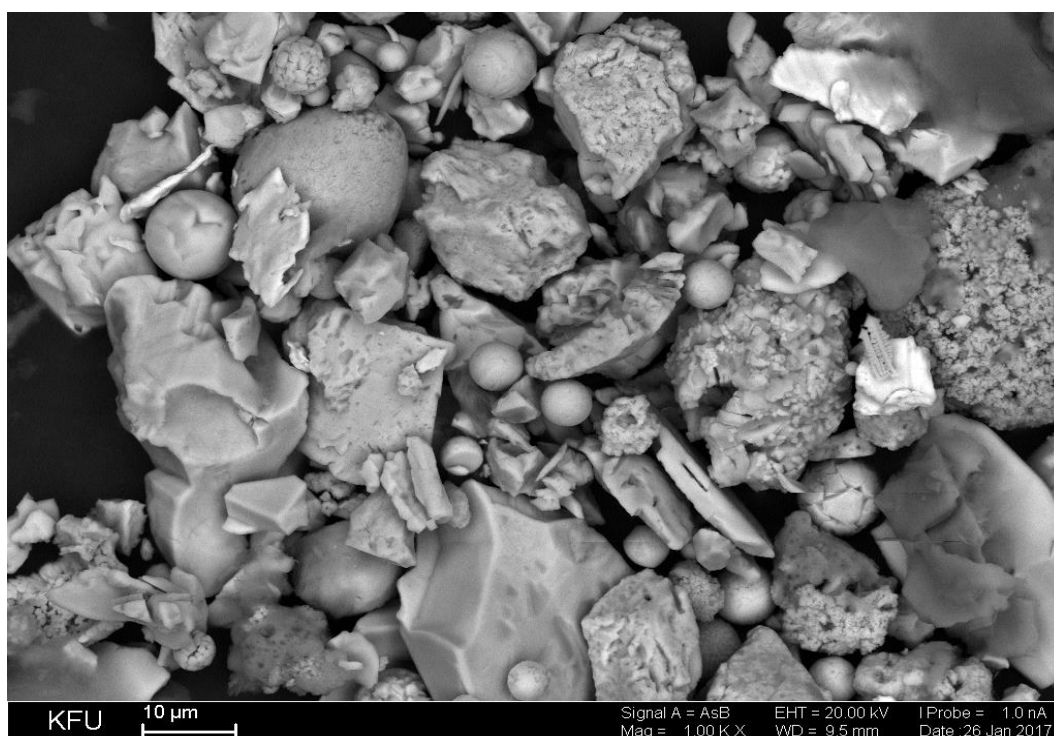
Б

Рисунок 2.13. А. Электронно-микроскопический снимок образца 362 Б. Элементный состав точки 1 исследования микрозондом

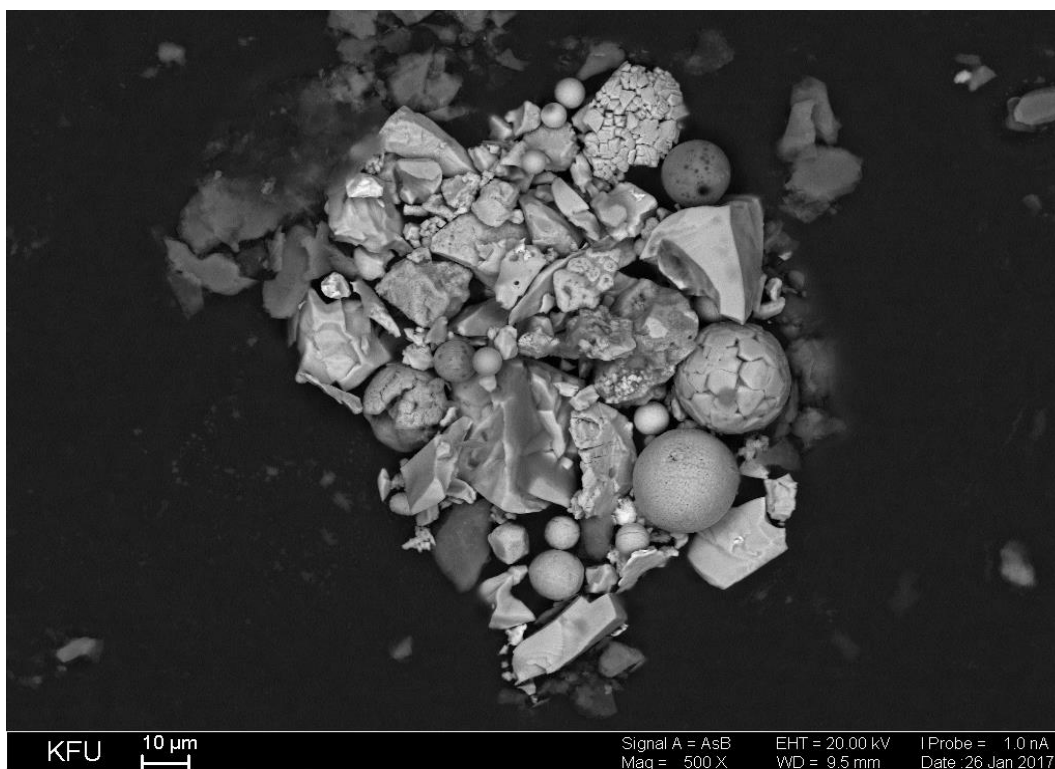
На основе микрофотографий и элементного анализа с использованием СЭМ детритовая компонента ферромагнитной фракции образца 328 (глубина 60 см ) главным образом представлена крупными аллотигенными зёрнами магнетита, хромистого магнетита, низкотитанистого магнетита и другие ферромагнитные минералы. Примеры

отражены на электронно-микроскопических снимках (рис.2.14). В образце 551 детритовая компонента ферромагнитной фракции представлена сульфидами железа (рис. 2.15), железом (Fe более 90%) с примесью Cr (0.7%) (рис 2.16 А), низкотитанистым магнетитом (рис. 2.16 Б), хромистым магнетитом (рис. 2.16 В).

Помимо этого данная компонента включает в себя сферулы космического происхождения. Размер сферул варьирует от 3 до 25 мкм. По химическому составу частицы соответствуют магнетиту. Исследуемые образцы представляет особый интерес, так как большое количество таких сферул могло быть привнесено в бассейн осадконакопления как при падении метеоритного тела и сгорании его в атмосфере, так и в результате повышенной вулканической активности.



A)



Б)

Рисунок 2.14. Электронно-микроскопические снимки магнитного сепарата образца 328  
(глубина 60 см )

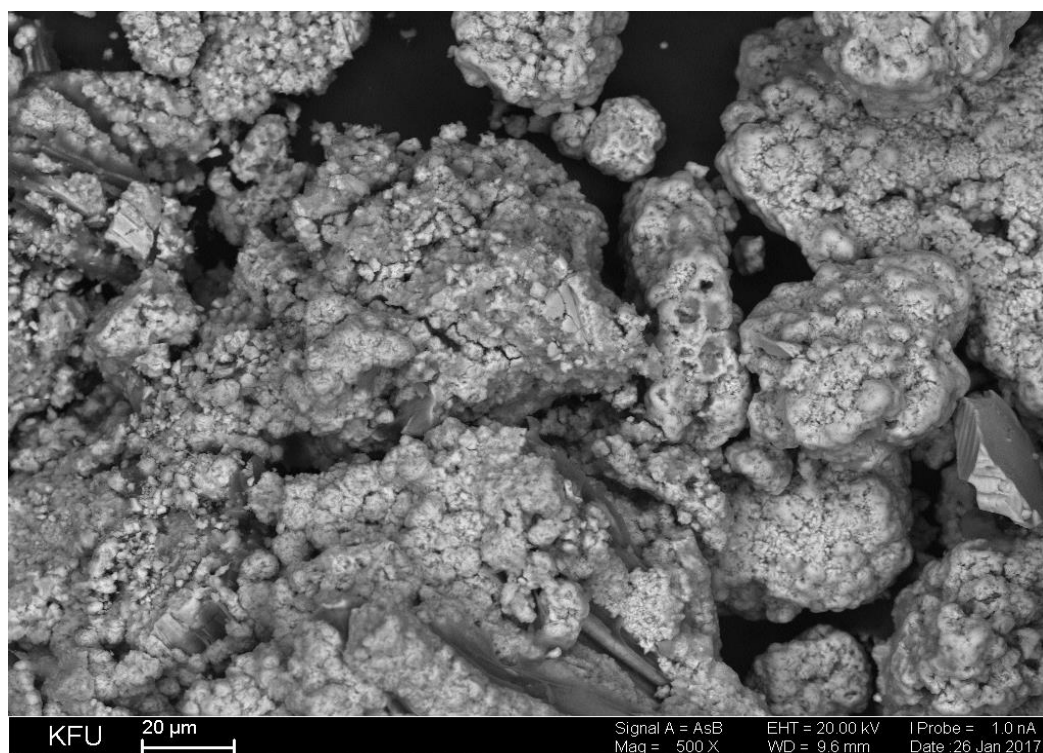
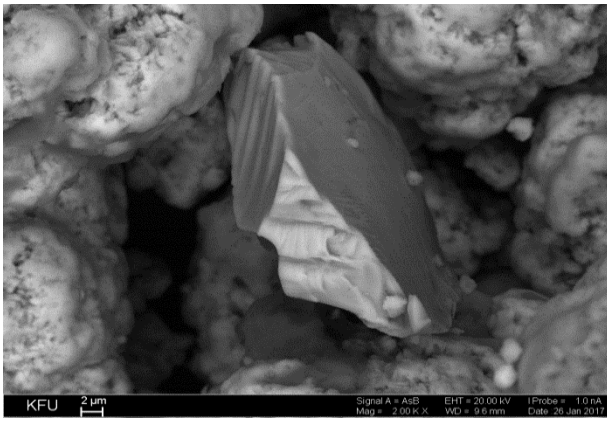
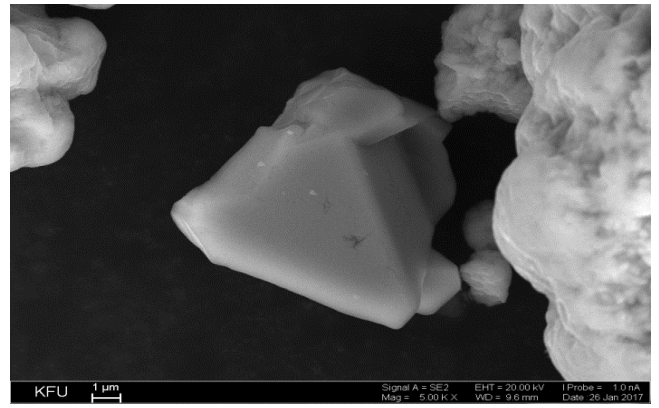


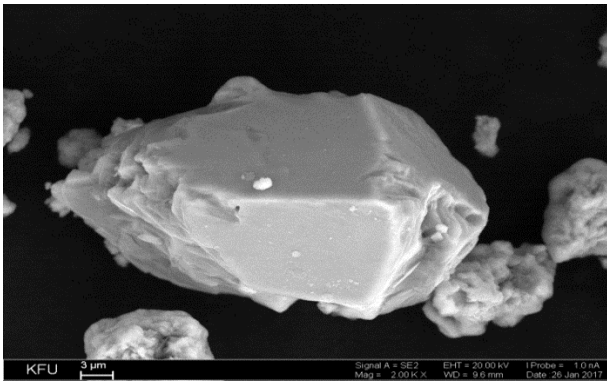
Рисунок 2.15. Электронно-микроскопические снимки магнитного сепарата образца 551  
(глубина 506 см)



A)



Б)



В)

Рисунок 2.16. Электронно-микроскопические снимки магнитного сепарата образца 551 (глубина 506 см ). А, Б, В

## Заключение

По сейсмоакустическим данным озера Большой Кисегач была выявлена сложная структура котловины озера, максимальная глубина составила 31 м. Анализ данных показал, что после вероятного перерыва в осадконакоплении дальнейшее заполнение отложениями происходило равномерно на протяжении длительного времени. Мощность таких осадков составила 5м. Местами встречаются газонасыщенные отложения. По данным сейсмоакустики была выбрана наиболее перспективная область для отбора керн – центральная часть озера.

Магнитная восприимчивость донных отложений показывают хорошую корреляцию осадочных толщ отобранных колонок между собой. Схема сопоставления позволила проследить мощностные особенности накопления осадков в каждой из колонок.

Магнито-минералогические исследования позволили определить границы резкого изменения в осадконакоплении, связанные с глобальными климатическими изменениями, приводящие к региональным изменениям в экосистеме озера. Определен компонентный состав магнитной фракции осадков. Магнитная фракция осадков содержит в основном ферромагнитный материал, в меньшей степени диа/парамагнитный и суперпарамагнитный. Выявлены минералы носители намагниченности на основе микрондогового анализа – магнетит, сульфиды железа, хромистый магнетит, низкотитанистый магнетит, железо с примесью хрома (0.7%) и др.

На основе дополнительных исследований керн колонки №3 выявлены резкие изменения климатических условий на границах 130 и 480 см: Верхняя часть разреза до глубины 130 см представлена магнито жесткими в основном ОД зернами. Средняя часть разреза глубина 130-480 см определяется пониженными значениями  $V_s$  и характеризуется смесью ОД, СП и МД зерен. Нижняя часть разреза отмечается самыми высокими значениями  $V_s$ , и, также как верхняя часть разреза содержит в большей мере ОД частицы.

## Список использованных источников

- 1 Пятков В. В. Озёра Южного Урала. Челябинск. «Околица», 2009.
- 2 Геология СССР. Том 12. Геологическое описание. Книга 1. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Том 12. Под ред. Сидоренко А.В. Недра, Москва, 1969 г.
- 3 Тектоника Ишимбаевского Приуралья [Текст] / А. А. Богданов. - Москва : Изд-во Моск. о-ва испытателей природы, 1947 (тип. "Кр. знамя"). - 148 с.
- 4 Гаврилкина С.В. Минерализация озер восточного склона Южного Урала. Самарский научный центр РАН (Самара). Том: 16, с. 947-950. Номер: 1-4 Год: 2014.
- 5 Борисов, А.С. Система технологического обеспечения палеомагнитных исследований отложений современных озер [Текст] : автореферат на соискание ученой степени доктора геол.-минерал. наук : 25.00.02 : защищена 26.03.04 / Борисов Анатолий Сергеевич – Казань, 2004. – 46 с.
- 6 Буров, Б.В. Палеомагнитный анализ [Текст] / Б.В. Буров, Д.К. Нургалиев, П.Г. Ясонов. – Казань: Изд-во КГУ. 1986. 167с.
- 7 Шолпо, Л.Е. Использование магнетизма горных пород для решения геологических задач [Текст] / Л.Е. Шолпо. – Л.: Недра, 1977.- 182 с.
- 8 Kruiver, P.P. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation [Text] / P.P. Kruiver, M.J. Dekkers, D. Heslop. Earth and Planetary Science Letters 189(3-4), 269-276 (2001).
- 9 Kosareva L.R., Nourgaliev D.K., Kuzina D.M., Spassov S., Fattakhov A.V. Ferromagnetic, dia-/paramagnetic and superparamagnetic components of Aral sea sediments: significance for paleoenvironmental reconstruction // ARPN Journal of Earth Sciences. - 2015. -Vol. 4, No. 1. P. 1-6.
- 10 Kopp, R.E. The identification and biogeochemical interpretation of fossil magnetotactic bacteria [Text] / R.E. Kopp, J.L. Kirschvink. Earth-Science Reviews 86 (2008) 42–61.