

Санкт-Петербургский государственный университет

Мустафин Марк Артурович

Выпускная квалификационная работа

**ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В
КОТЛОВИНЕ ОЗЕРА ТАЙМЫР ПО ДАННЫМ ДИАТОМОВОГО
АНАЛИЗА**

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.01 «Геология»

Основная образовательная программа ВМ.5515.2020

Научный руководитель:

Доцент кафедры геоморфологии, Институт наук о Земле

к. г. н. Г. Б. Федоров

Рецензент:

зав. сектором стратиграфии ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

к. г.-м. н. З. В. Пушина

Санкт-Петербург

2022

Содержание

Введение	3
Глава 1	5
1.1 Климатические условия	5
1.2 Зональное деление п-ова Таймыр	6
1.3 Гидрография полуострова Таймыр	7
1.4 Лимнологические характеристики оз. Таймыр	8
1.5 Физико-географическая характеристика оз. Таймыр	9
Глава 2. Геологическое и геоморфологическое строение бассейна оз. Таймыр	11
Глава 3. Основные палеогеографические события п-ова Таймыр в позднем плейстоцене	36
Глава 4. Изучение диатомовых комплексов в донных отложениях водоемов п-ова Таймыр.	36
4.1 Исследования оз. Миддендорф (западный п-ов Таймыр)	36
4.2 Исследования оз. Лабаз (центральная часть п-ов Таймыр)	40
Глава 5. Материал и методы исследований донных отложений оз. Таймыр	43
5.1 Бурение и отбор проб донных озерных отложений	43
5.2 Методы исследования	45
5.3 Диатомовый анализ	46
Глава 6 Позднечетвертичные обстановки осадконакопления озера Таймыр по данным диатомового анализа	50
6.1 Результаты по данным литолого-фациального анализа	50
6.2 Результаты диатомового анализа	53
6.3 Обстановки осадконакопления	59
Выводы	63
Заключение	64
Список литературы	65
Приложение	68

Введение

В последние десятилетия перед научной общественностью остро стоит проблема адекватной оценки изменений природной среды в связи с изменением климата. Особенно остро эта проблема стоит в арктических регионах, где эти изменения ярко выражены, и приводят к резко негативным последствиям. Для решения этой проблемы необходима детальная информация о развитии природной среды и климата в прошлом. Донные озерные отложения являются одним из самых надежных источников такой информации. Диатомовый анализ один из наиболее эффективных методов реконструкции развития водных экосистем и природной среды в целом, и один из важнейших методов в палеолимнологии. Это обуславливает безусловную важность данного исследования, посвященного реконструкции природной среды на основе диатомового анализа одного из крупнейших, до сих пор в этом отношении плохо изученных, озер Арктики - оз. Таймыр. Настоящая работа является частью российско-германского проекта "ПЛЮТ-Палеолимнологический трансект" в рамках соглашения о сотрудничестве в области морских и полярных исследований между министерством образования и науки Российской Федерации и федеральным министерством образования и научных исследований Федеративной Республики Германия. В данную работу включены результаты, полученные автором в бакалавриате.

Цель работы - реконструировать условия осадконакопления и палеолимнологические обстановки позднего плейстоцена и голоцена в котловине современного оз. Таймыр по данным диатомового анализа донных отложений.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

1. Провести детальный анализ литературных источников информации о развитии природной среды и климата п-ова Таймыр в позднем плейстоцене и голоцене.

2. Обобщить опубликованные результаты исследования диатомовых комплексов донных озерных отложений п-ова Таймыр.

3. Провести пробоподготовку для последующего диатомового анализа образцов из колонок донных отложений озера скважин Со1408 и Со1407.

4. Исследовать диатомовые образцы в образцах из колонок Со1408 и Со1407.

5. Интерпретировать полученные данные по диатомовому анализу и определить особенности формирования диатомовых комплексов.

6. Обобщить результаты литолого-фациального и диатомового анализов по колонке из скважины Со1408 и представить модель развития оз. Таймыр и осадконакопления в позднем плейстоцене-голоцене

Объектом исследования являются донные отложения оз. Таймыр - **предметом** – диатомовые комплексы донных озерных отложений.

Глава 1. Физико-географическая характеристика п-ова Таймыр

П-ов Таймыр занимает северную часть средней Сибири. С запада и востока он ограничен Енисейским заливом и Хатангским заливом соответственно, с севера омывается Карским морем и морем Лаптевых. Вся территория полуострова лежит за северным полярным кругом, а его самая северная точка - мыс Челюскин ($7^{\circ}43'$ С.Ш.), которая также является самой северной точкой Евразии.

1.1 Климатические условия

П-ов Таймыр лежит в арктическом и субарктическом климатических поясах. Различия климата внутри данной территории проявляются главным образом зимой. В теплое время года таяние больших масс льда и преимущественно пасмурная погода создают однообразный температурный режим на всем полуострове. Секторное деление арктического пояса выражено слабо, восточная часть Таймыра отличается от западной более континентальным климатом, что проявляется в меньшем количестве осадков, более холодными зимами, минимальные температуры которых достигают -55 -60°C , а средние январские температуры составляют -35 -40°C (Атлас Арктики, 1985).

Теплый период здесь длится с конца июня до начала сентября, и в сумме он составляет менее трех месяцев, осадки в течение всего года выпадают равномерно, преимущественно твердые. Летом температура воздуха составляет от 2 до 7°C , а зимой от -25 до -35°C (Атлас Арктики, 1985). Вегетационный период начинается в июне, а заканчивается в середине сентября.

В целом горный климат Таймыра изучен слабо. Но можно довольно точно выделить некоторые особенности. Южная предгорная полоса гор Бырранга характеризуется более высокими летними температурами на 3 -4°C , чем в районах, находящихся немного южнее, это находит свое отражение в более богатом видовом составе флоры. Также можно отметить, что климат внутри гор Бырранга имеет

чередование холодных и теплых зон, это зависит от защиты территории от проникновения арктических воздушных масс. Например, более холодный мезоклимат имеют районы озер Таймыр и Левинсон-Лессинга в отличие от межгорных котловин некоторых рек (Атлас Арктики, 1985).

1.2 Зональное деление п-ова Таймыр

На п-ове Таймыр выделяют зоны: лесотундры (она рассматривается как переходная зона), тундры, полярные пустыни.

Тундровая зона на Таймыре представлена наиболее полно во всем арктическом биогеоценозе. Ее ширина около 700 км. Южная граница на западе проходит по 70° С.Ш., а на востоке по 72° С.Ш, северная по - по перешейку п-ова Челюскин на 77° С.Ш. Зона делится на 3 хорошо выраженные подзоны - южных, типичных и арктических тундр (Матвеева Н. В., 1998). Все они имеют достаточно большую широтную протяженность, благодаря чему в их срединных частях все показатели почвенного и растительного покрова весьма своеобразны и отличительны от таковых в других зонах (Матвеева Н. В., 1998).

Южные тундры на Таймыре представлены довольно узкой полосой 100-150 км. По ее южной границе проходит изотерма июля 11-12°C, а по северной - 9-10°C. От двух соседних зон она отличается отсутствием древесных и преобладанием кустарниковых сообществ на плакорах. Среди подзон тундры именно здесь достигается наибольшее разнообразие таксонов. Это связано с умеренной экстремальностью условий и богатством флоры.

Подзона типичных тундр на Таймыре представлена полосой шириной 300-350 км. Границе на юге примерно соответствует изотерма июля 9-11°C, а на севере - 4-5°C (Матвеева Н. В., 1998). Здесь не встречаются даже единичные деревья, а на плакорах нет высоких и сомкнутых кустарников. Климатические условия подзоны типичных тундр еще не настолько экстремальны, чтобы из состава растительного

покрова полностью пропали нетундровые элементы. Важнейшие компоненты зональных сообществ - мхи, травы (осоки и пушицы), кустарнички и лишайники (Матвеева Н. В., 1998). По сравнению с южной тундрой снижается таксономическое богатство.

Арктические тундры простираются узкой полосой вдоль побережья Северного Ледовитого океана. Южная граница соответствует изотерме июля 4-5°C. Ее характерная особенность - высокая доля арктических видов и почти полное отсутствие бореальных и гипоарктических.

Одни из самых важных отличий от подзоны типичных тундр — это отсутствие кустарничков, уменьшение количества осоки, высокое обилие злаков и разнотравья.

Зона полярных пустынь на Таймыре представлена лишь в северной части п-ова Челюскин. Южная граница проходит по 77° С.Ш. и совпадает с июльской изотермой 2°C. Органический мир предельно беден из-за низких летних температур, короткого вегетационного периода, малого количества осадков и слабого протаивания многолетней мерзлоты. Основные отличия от тундр заключаются в отсутствии кустарничков, преобладание мхов и лишайников при заметном обилии разнотравья и злаковых, полная смена доминантов (Матвеева Н. В., 1998).

1.3 Гидрография полуострова Таймыр.

Все гидрологические объекты п-ова Таймыр относятся к бассейнам двух арктических морей - Лаптевых и Карского. На данной территории выделяют четыре крупных реки: Верхняя Таймыра, Нижняя Таймыра, Пясина(длина реки 818 км, площадь водосбора 182 тыс. км²), Хатанга(длина реки 227 км, площадь водосбора 364 тыс. км²) (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973). На полуострове, за исключением горных районов, имеется большое количество озер. Крупнейшее

озеро - Таймыр, которое является самым северным крупным озером в мире и пятым крупнейшим по площади озером в России. Исток реки Верхней Таймыры находится в горах Бырранга и далее впадает в оз. Таймыр (ее общая длина составляет 570 км), Нижняя Таймыра берет начало в том же озере и впадает в Карское море (ее общая длина составляет около 187 км). Расход воды в устье составляет 1220 м³/с, годовой объем стока - 38,504 км³/год (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973). Общая площадь водосбора реки составляет 124 тыс. км². Водный режим Нижней Таймыры определяется регулирующей ролью оз. Таймыр, особенности морфологических особенностей долины реки, наличие в ней каньонов и областей расширения долины. Распределение стока воды в год неравномерно. С июля по август приходится 60–70% годового стока, а в отдельные зимние месяцы - около 1%. Температура воды в реке Таймыра в самое теплое время достигает +10°C, а средняя летняя температура воды не превышает +7°C, до 0°C она опускается в сентябре. Основное питания рек - снеговое.

Крупные реки в самых северных частях п-ова вскрываются ото льда в начале июля, в южных частях в начале или в середине июня. Ледостав на Таймыре начинается в начале октября и длится большую часть года. На данной территории весеннее половодье длится максимум одну неделю, в это время уровень воды может подняться на 4-6 м, затопляя тем самым низкие и средние поймы, а в особенно снежные зимы - высокую, также в период ледохода образуются заторы льда.

1.4 Лимнологические характеристики оз. Таймыр

Озеро Таймыр имеет площадь водосборного бассейна 90800 км², оно расположен как на равнинной, так и в горной части полуострова. Площадь поверхности озера достигает 4650 км² в начале июля, когда накапливается талая вода, и снижается до 4000 км² осенью (Объяснительная записка к геологической карте лист S-47-XV, XVI, 1997). Максимальная глубина в период паводка достигает 26 м, средняя глубина составляет 2,8 м. Для 80% площади озера глубина составляет

менее 4 м В оз. Таймыр втекает около 50 водотоков различного порядка, наиболее крупные из них реки: Верхняя Таймыра, Бикада-Нгуома, Байкура. Вытекает из него р. Нижняя Таймыра, которая далее впадает в Карское море. Как минимум 9 месяцев в году озеро покрыто льдом, который может достигать мощности около 2 м. Причем большая часть акватории промерзает до дна. Последний лед тает в июле, затем он появляется снова в середине сентября. Таким образом период полного отсутствия льда составляет не более 2-3 месяцев (Объяснительная записка к геологической карте лист S-47-XV, XVI, 1997).

Большая часть акватории озера мелководна (1-5 м) и термический режим мелководий определяется ветровым перемешиванием и температурой воды впадающих рек.

Средний годовой сток оз. Таймыр составляет 23,6 км³/год, что составляет 73% годового стока от р. Нижней Таймыры (33,2 км³/год) (Антропоген Таймыра, 1982). Почти 51% от всего стока озера составляет сток реки Верхней Таймыры (12 км³/год) (Zimitchev V, 1996).

1.5 Физико-географическая характеристика оз. Таймыр

Озеро Таймыр является одним из крупнейших пресноводных водоемов Арктики расположено в центре одноименного полуострова. Неглубокая котловина озера имеет тектоническое происхождение и вытянута в широтном направлении, отвечающая части крупной новейшей тектонической структуре – Предтаймырскому желобу. Все заливы озера приурочены к тектоническим нарушениям субмеридиального заложения.

Размеры озера составляют: протяженность по широте 180-190 км, по долготе в среднем 15-20 км, при максимальной до 100 км. От озера в виде вытянутых языков отходит ряд бухт и заливов, которые образовались в результате гравитационного тектогенеза в процессе воздымания гор Бырранга. В озере насчитывается около

десяток крупных островов, самым большим является – о. Ботлин размером в длину до 4 км, который находится в истоке р. Нижняя Таймыра.

В северно-Западной части озера горы Бырранга высотой 400-600 м вплотную подходят к водоему и в некоторых местах спускаются к поверхности воды в виде скальных обрывов. По берегам в северной и северо-восточных частях прослеживаются подковообразные пляжи между мысами скальных выходов шириной до 10 м, представленные галькой и гравием, реже с отвалами более крупных обломков коренных пород. На пляжах в рельефе четко читаются береговые галечные валы высотой до 2 м. В устьях притоков формируются трапециевидные галечные дельты с валами разных уровней и нередко с обширными заболоченными низинами за ними. По северным и западным участкам озера иногда прослеживаются террасы двух уровней 15-20 и 8-10 м над уровнем озера, далее на восток берега становятся более пологими.

Южное побережье озера представляет собой слабохолмистую, пологонаклонную озерно-болотную равнину. Склоны равнины представлены главным образом алевролитами с прослоями торфов, что обуславливает их невысокое сопротивление волноприбойной абразии, приводящие к образованию крутых обрывистых берегов высотой до 20-30 м. В таких обнажениях часто встречаются линзы ископаемого льда, что в свою очередь способствует к активизации процессов оползания и обрушения в теплый период. На южном побережье также прослеживается комплекс озерных террас: первая пойменная, высотой 2–4 м; вторая – на высоте 8–10 м; третья – до 25–30 м над уровнем озера. На поверхностях данных террас формируются термокарстовые озера и болотные комплексы, которые дают начало многочисленным мелким водотокам, впадающих в оз. Таймыр.

В целом оз. Таймыр – мелководно. По большей части рельеф дна озера – ровный с отдельными впадинами и желобами. Самая глубокая впадина расположена в центре озера, имеющая глубину 27 м.

Глава 2. Геологическое и геоморфологическое строение бассейна оз. Таймыр.

Дочетвертичные образования

Согласно работе (Верниковский, 1996) Таймыро-Североземельская складчато-надвиговая система делится на 3 тектонические зоны (рис 1): Северо-Таймырскую, Центрально-Таймырскую и Южно-Бырангскую. Их границами являются крупные хорошо выраженные разломы надвигового типа Пясино-Фадеевский и Главный Таймырский. Она представляет единый пояс линейных пликативно-дизъюнктивных дислокаций северо-восточного простирания, в которых участвуют породы от протерозоя до триаса включительно.

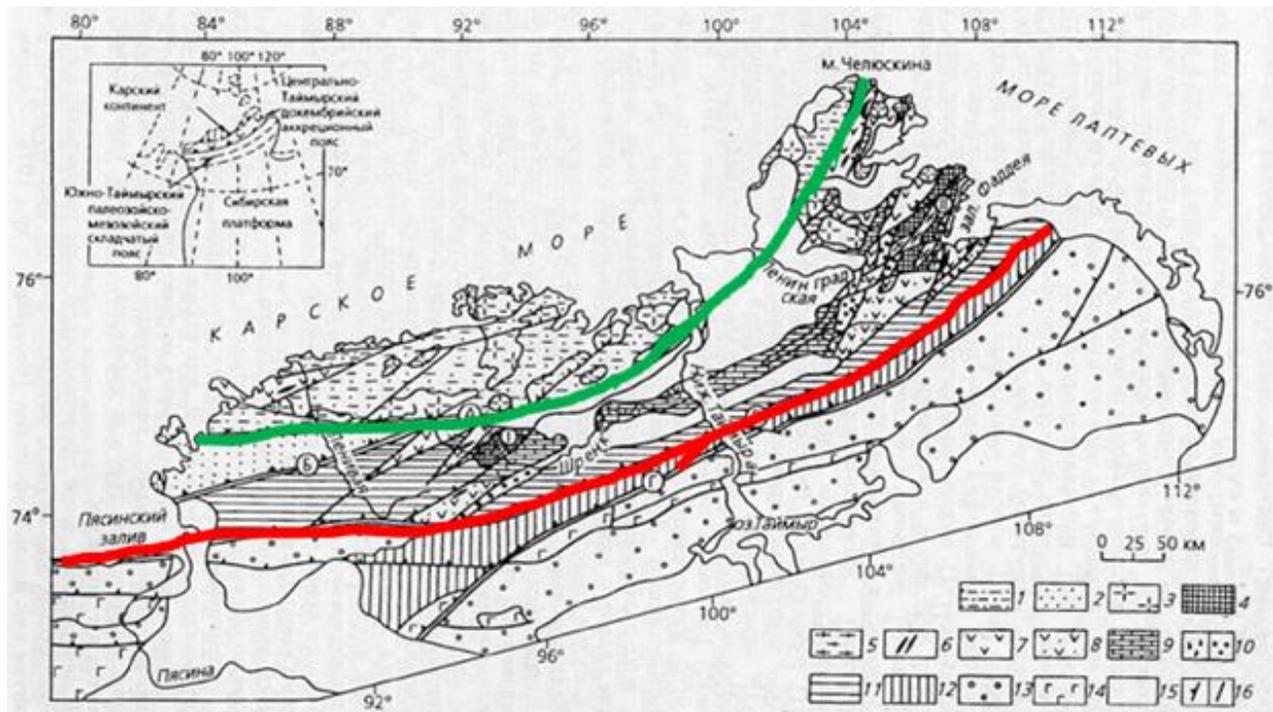


Рис. 1 Северо-Таймырская зона: 1, 2 — флишеидные отложения континентального склона Карского континента: 1 — R3, зонально-метаморфизованные и гранитизированные (PZ3), 2 — V-Ст (непереработанные); 3 — PZ3 гранитоиды. Центрально-Таймырская зона: 4 — дорифейские(?) кристаллические комплексы Мамонто-Шренковского (I) и Фадеевского (II) террейнов, переработанные (R3); 5 — коллизионные граниты (R3—V); 6 — офиолитовый комплекс (R3); 7 — вулканогенные образования островодужного комплекса (R3); 8 — вулканогенно-осадочные островодужные и задуговые отложения, нерасчлененные (R3); 9 — террейны, сложенные карбонатными отложениями R3; 10 —

олистоостромы (а) и молассы коллизионные (б); 11 —терригенно-осадочные отложения чехла аккреционного блока (V—C1). Южно-Таймырская зона: 12, 13 —О-С2 карбонатные (12), С3-Р терригенные (13) отложения пассивной окраины Сибирского кратона; 14 —терригенно-вулканогенные образования рифтов (Р2-Т); 15 —отложения J-KZ; 16 — надвиги (а) и прочие разрывные нарушения (б). Надвиги: А — Главный Таймырский, Б — Диабазовый, В —Пясино-Фаддеевский, Г — Пограничный.А — Главный Таймырский надвиг, В — Пясино-Фаддеевский надвиг. (Верниковский, 1996)

Южно-Быррангская зона сложена образованиями двух тектонических комплексов, соответствующих двум основным циклам ее структурно-вещественной эволюции: поздневендско-раннекаменноугольному и среднекаменноугольно-триасовому. К поздневендско-раннекаменноугольному тектоническому комплексу на рассматриваемой площади относятся глинистокарбонатные осадки мощностью более 3000 м среднедевонского—раннекаменноугольного возраста Фалабигай-Нордвикского структурно-формационного комплекса. Они слагают ядра крупных антиклинальных структур северо-восточного простирания и тектонические блоки в юго-восточной части горной гряды Бырранга. Основная же часть Южно-Быррангской раннекиммерийской СЗ слагается среднекаменноугольно-триасовым тектоническим комплексом, в составе которого выделяется мощная (более 5000 м) слабоугленосная паралическая терригенная серия среднего карбона—перми, пронизанная интрузиями позднепермско-триасового возраста (Верниковский, 1996).

Центрально-Таймырская зона имеет более сложное строение, обусловленное ее аккреционной природой. В строении зоны участвуют разновозрастные дорифейские и рифейские осадочные, вулканогенные и интрузивные образования, претерпевшие метаморфические и гидротермально-метасоматические изменения разных фаций и типов. Блоки и пластины, сложенные этими породами различны как по составу, так и геодинамическим условиям образования - от континентальных до океанических. Эти метаморфические образования в конце рифея были собраны

в аккреционный пояс и перекрыты венд-раннекаменноугольным чехлом осадков (Верниковский, 1996).

Северо-Таймырская зона, включающая северную часть п-ова Таймыр и острова архипелага Северная Земля, представляет собой склон и подножье Карского микроконтинента (Верниковский, 1996).

Четвертичные образования

На сегодняшний день вопрос об истории развития данного региона в четвертичное время является крайне дискуссионным, более того крайне остро стоит вопрос об определении хроностратиграфических подразделений, что может вносить некоторые сложности в их употреблении в зависимости от разных регионов и источников.

В настоящее время при составлении государственных геологических карт разных масштабов для территории Средней Сибири и Таймыра используется региональная схема четвертичных отложений утвержденная МСК РФ в 2009 году, в данной работе используется хронологическая шкала, которая предложена В. И. Астаховым и П. Меллером, здесь названия некоторых хроностратиграфических подразделений отличаются от классических, поэтому ниже представлена поясняющая таблица (табл. 1). Более подробно история развития в данного региона четвертичный период рассмотрена в третьей главе.

Периоды	МИС	Возрастные интервалы МИС	Горизонт в соответствии с региональной стратиграфической шкалой, предложенной В. И. Астаховым и (В. И. Астаховым, 2013).	Схема, утвержденная МСК в 2009 году
Неоплейстоцен верхнее звено	2	24-11,5	Позднее Зырянский	Сартанский
	3	60-24	Среднее Зырянский	Каргинский
	4	74-60	Раннее Зырянский	Муркутинский
	5a	84-74		

	5b	92-84		
	5c	105-92		
	5d	115-105		
	5e	130-115	Каргинский	Казанцевский
Неоплейстоцен	6	190-130	Тазовский	Тазовский
среднее звено	7	244-190	Казанцевский	Ширтинский
	8	301-244	Самаровский	Самаровский
	9-11	427-277	Тобольский	Тобольский

Табл. 1 Хроностратиграфические подразделения, предложенные в работе В. И. Астахова (Астахов, 2013.)

На территории бассейна озера Таймыр более-менее надежно установлены расчлененные стадии верхнего неоплейстоцена. Следы более древних подразделений имеют фрагментарный характер и представлены скудно.

Неоплейстоцен нижнее звено

Наиболее древним из известных четвертичных образований является лебедский ледниковый горизонт, который представлен отложениями собственно ледникового ряда: валунные суглинки, супеси. Они обнаружены в правобережье эстуарии р. Хатанги, которые залегают на песчаниках нижнего мела. Данный горизонт имеет незначительную мощность до 7 м, и перекрывается образованиями морской толщи тобольского горизонта (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015).

Неоплейстоцен верхнее звено

На данной территории имеются некоторые стратиграфические свидетельства ледниковой активности предположительно дотазовского среднеплейстоценового возраста, которые предварительно относятся к МИС 12-14 и МИС 8 (Moller et. all, 2019). Эти отложения тяжело датировать напрямую и поэтому их хронология основана на ограничении возраста по датированным вышележащим и нижележащим морским и речным отложениям (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015). Средний неоплейстоцен в границах п-ова Таймыр

представлен тобольским, самаровским и тазовским горизонтами. Первый представлен морскими образованиями: глинами, алевритами, вскрытыми скважинами в районе р. Верхняя Таймыра, с максимальной мощностью отложений до 20 м. Данное хроностратиграфическое подразделение характеризует первую морскую трансгрессию в среднем неоплейстоцене. Самаровский и тазовский горизонты представлены конечными и основными моренами одноименных оледенений. В пределах данной территории их тяжело расчленить и часто рассматриваются вместе, мощность отложений достигает до 80 м (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015).

Неоплейстоцен верхнее звено

По данным определения абсолютных возрастов, а также частично по палеонтологическим данным верхний неоплейстоцен представлен в регионе четырьмя горизонтами соответственного от более древнего к более молодому: каргинский, раннее зырянский, средне зырянский и позднее зырянский.

Каргинский горизонт представлен морскими фациями, широко распространен в южной равнинной части бассейна оз. Таймыр в эрозионных врезках и на поверхностях междуречий в виде реликтов на абсолютных отметках 180-230 м. Также вдоль северного побережья полуострова данный горизонт прослеживается на уровнях не превышающем 140 м. Данные палеонтологических исследований характеризуют палеоклиматические условия каргинского времени гораздо теплее современных.

Раннее зырянский горизонт сложен разнообразными морскими отложениями, а также отложениями ледникового, водно-ледникового ряда. Ледниковые отложения представлены абляционной и основной мореной, которые не обладают значительной мощностью (до 3 м) и не образуют сплошного чехла. Флювиогляциальные отложения занимают значительные площади южнее оз. Таймыр и представлены внутриледниковыми и приледниковыми образованиями.

Они формируют камовые и зандровые равнины соответственно. Морские раннее зырянские отложения сохранились в эрозионных останцах левых притоков нижнего течения р. Бол. Балахня, где залегают на морских каргинских отложениях и перекрываются морскими среднее зырянскими осадками.

Среднее зырянский горизонт сложен морскими, озерно-аллювиальными и водно-ледниковыми образованиями. Морские отложения развиты в долине р. Хатанга и на побережье Хатангского залива. В долине р. Попигаи в эрозионных врезках и на северном склоне Ана-барской антеклизы. Озерно-аллювиальные отложения развиты в долинах рек Большая Балахня, Малая Балахня и др. Представлены они песками тонко- и мелкозернистыми хорошо отсортированными с прослоями и линзами супесей, алевритов, илов, торфов, намывной органики, обломками древесины. Водно-ледниковые отложения наиболее развиты в южной части. Они представлены алевритами, песками с галечно-валунными линзами и залегают на ледниковых образованиях раннее зырянского оледенения.

Позднее зырянский горизонт представлен ледниковыми, флювиогляциальными и озерными отложениями. Ледниковые, водно-ледниковые и смешанные отложения распространены в пределах северных и южных отрогов гор Бырранга и в среднегорье. Озерно-аллювиальные образования широко развиты на побережье Хатангского залива (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015).

Голоцен

В составе современных отложений выделяются аллювиальные, озерные, озерно-болотные, морские и аллювиально-морские образования.

Аллювиальные отложения слагают 1 надпойменную террасу, пойму, ложа русел рек и ручьев. Преимущественно это галечники и пески с тонкими эпигенетическими жилами льда. Аллювий поймы на равнинной части территории песчано-алевритовой с прослоями галечников в русловой фации, а в старичной — суглинков, растительного детрита, торфа, с эпигенетическими жилами льда.

Озерные и озерно-болотные отложения выполняют термокарстовые котловины, сформировавшиеся в поле развития позднеплейстоценовых отложений, содержащих жильные льды. Представлены они глинистыми алевролитами, супесями с прослоями песка, растительного детрита, торфа и включают маломощные эпигенетические ледяные жилы.

Донные отложения мелководного шельфа представлены морскими, волновыми прибрежными, аллювиально-морскими и морскими флювиальными отложениями. Они сложены преимущественно песками и галечниками.

Морские отложения на акватории Хатангского залива распространены в виде двух областей, обрамляющих с обеих сторон затопленную долину реки Хатанги в интервале глубин 7-13 м. Представлены эти отложения галечниками, песками с прослоями галечников, алевроитов, растительного детрита и раковинами морских моллюсков. Часто в этих отложениях, особенно в галечниках, присутствуют захороненные обломки стволов деревьев, выносимых реками в море.

Геоморфологическое строение

Рельеф территории бассейна оз. Таймыр развивается в пределах двух морфоструктур масштаба структурно-геоморфологической области (Геоморфологическое районирование СССР, 1980): Северо-Сибирской низменности и Центрально-Бырангского низкогорья (горы Быранга и Северо-Таймырское нагорье). Современное строение поверхности имеет прямую зависимость от геологических структур. Горные сооружения были сформированы на сложнодислоцированных прочных докайнозойских образованиях, где преобладает денудационный и структурно-денудационный рельеф. Границы Северо-Сибирской низменности пространственно соответствуют Енисей-Хатангскому прогибу мезозойского возраста, которые в последствии были выработаны более молодыми и слаболитифицированными породами и в современном рельефе представляет собой эрозионно-аккумулятивную равнину. По данным объяснительной записки к геологической карте листа S-47 на территории бассейна

оз. Таймыр было предложено выделить пять геоморфологических зон: Северо-Таймырская низкогорная, Северная предгорная, Центральная горная, Переходная, Южная равнинная.

Рельеф Северо-Таймырской низкогорной зоны представляет собой пологохолмистое нагорье с грядовыми возвышенностями, чередующийся с холмистыми равнинами унаследованных депрессий, аккумулятивные и абразионно-аккумулятивные формы рельефа развиты в неглубоких впадинах (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015). В целом, здесь отмечается доминирование рельефообразующих денудационных процессов над аккумулятивными в силу разнонаправленных неотектонических движений. Поверхность характеризуется вытянутыми невысокими грядами преимущественно в северо-восточном направлении с абсолютными отметками не более 350 м (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015). Гряды пологоволнистые, часто осложнены невысокими куэстами.

Северная предгорная зона имеет складчато-блоковое основание, образованное палеозойскими карбонат-терригенными породами, реже вулканогенными породами нижнего триаса. Геологические тела интенсивно смяты в узкие линейные складки в северо-восточном простирании. В данной зоне на неотектоническом этапе преобладали восходящие движения с максимальным значением до 200 м залива (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015).

Центральная предгорная зона представлена Главной грядой гор Бырранга. Она включает в себя систему горных сооружений восток-северо-восточного простирания. Горы Бырранга сформировались на складчато-блоковом основании, сложенном терригенно-осадочными и местами вулканогенными породами позднего палеозоя и раннего мезозоя, интенсивно смятыми в складки и разбиты разломами на блоки. В пределах рассматриваемой зоны происходили максимальные восходящие неотектонические движения с максимальными

отметками до 400 м. Данный факт обусловил преобладание структурно-денудационных форм в рельефообразовании. В Центральной предгорной части можно наблюдать как сильно расчлененные горные хребты с абсолютными высотами 650 м и относительными превышениями до 450 м, так и относительно выположенные вершины, которые являются реликтами древней поверхности выравнивания залива (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015). В центральной наиболее возвышенной оси гор Бырранга прослеживаются крутые поверхности уступов, отвечающие границе более твердых вулканогенных пермь-триасовых пород и осадочных позднепалеозойских. Также в горных частях широкое распространение получили ледниковые экзарационные формы рельефа такие как: цирки и каровые формы. Основные горные сооружения Бырранга, имеющие субширотное простирание, разделены субмеридиональными межгорными впадинами, которые часто приурочены к тектонически ослабленным зонам. В современном рельефе данные впадины занимают межгорные долины, которые в основном имеют V-образную форму поперечного профиля. Их верховья часто подвергались ледниковой обработке и некоторые могут характеризоваться как троговые долины U-образного профиля. Данные сквозные долины часто заняты озерами, например, самое большое оз. Левинсон-Лессинга. На нижних участках крупных долин широко развиты аккумулятивные ледниковые формы рельефа молодого оледенения, характерные для конечных и основных морен, а также для группы водно-ледникового типа залива (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015).

Так называемая «переходная зона» занимает южные предгорья гор Бырранга и представляет собой ступенчатое, слаборасчлененное низкогорье с абсолютными отметками 220-420 м. и относительным превышением 150 м. Отличительной чертой рельефа в данной зоне является его ступенчатость. Наиболее отчетливой границей с Южной зоной являются депрессия, в которой заложена долина р. Нижняя Таймыра залива (Объяснительная записка к геологической карте S-47, 2015).

Южная равнинная зона географически принадлежит к Северо-Сибирской низменности, на неотектоническом этапе она испытывала нисходящие движения, что и определило развитие главным образом аккумулятивных и эрозионно-аккумулятивных форм рельефа различного генезиса. Современный рельеф начал формировать свой облик в позднем неоплейстоцене-голоцене, на него оказывает большое значение рельеф более ранних этапов развития, особенно формы дочетвертичных реликтов эрозионно-денудационной равнины. Они выражены в виде полого-холмистых расчлененных поверхностей с выраженными понижениями. Подобный рельеф и определил формирование и расположение основных ледниковых форм – междуречных массивов и межгрядовых котловин. Согласно объяснительной записке к геологической карте листа S-47 и S-48 в данной зоне выделяется два района: Предбырангский и Енисей-Хатангский, ледниковый, водно-ледниковый и полигенетический соответственно.

Глава 3. Основные палеогеографические события п-ова Таймыр в позднем неоплейстоцене-голоцене

В XX и в XXI веке советскими, российскими и германскими учеными был получен большой объем знаний о развитии среды в позднем неоплейстоцене и голоцене п-ова Таймыр. В рамках данной работы используется стратиграфическая схема, предложенная В. И. Астаховым (Астахов, 2013), поэтому названия стратонов и соответствующие им этапы развития данного региона отличаются от принятых МСК в 2009 году (табл. 1). Также

МИС 6- МИС 5е. Тазовское-каргинское время (Астахов, 2013).

Эволюция Карского ледникового щита во время Тазовского оледенения представляется довольно сложной. Предполагается, что в Северо-Сибирской низменности лед продвигался как с севера с Карского ледникового щита, так и с юга с центра оледенения на плато Путорана и Анабарского нагорья (Moller et al, 2019). В результате чего между ними образовался морской бассейн (рис 2). По мере

увеличения мощности Карского ледникового щита, он стал доминирующим, что привело к объединению двух центров оледенения с последующим изменением направления движения льда в районе Путорана и Анабара на юг, с дальнейшим расширением до максимальных границ (рис. 3).

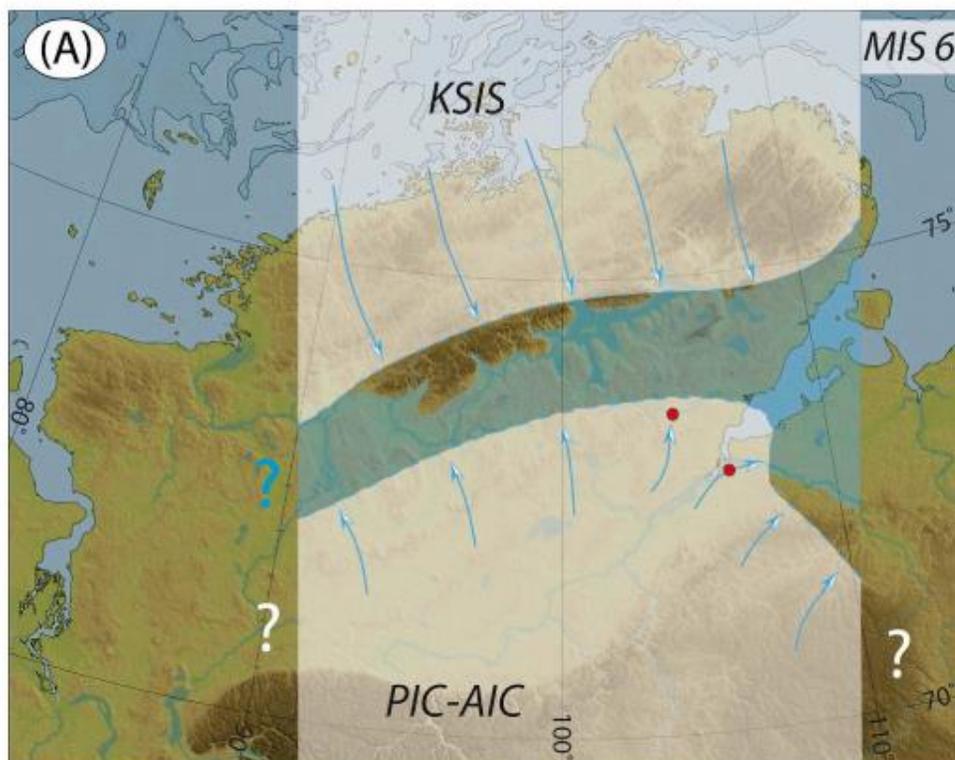


Рис. 2 Реконструкция Раннетазовского оледенения МИС 6. Putorana Ice Sheets (PIC), Anabar Ice Sheets (AIC) (Moller et al, 2019).

В конце Тазовского оледенения ледник стал отступать на север. Территория Северо-Сибирской низменности долгое время испытывала на себе ледниковые нагрузки, это выразилось в изостатической депрессии суши. По мере дегляциации (имела место 130 тыс. лет назад.) перед отступающим краем льда постепенно происходила трансгрессия морских вод, в результате чего образовалось Каргинское море (рис. 4) (Moller et al, 2019). Этот этап носит название Каргинское межледниковье (МИС 5e).

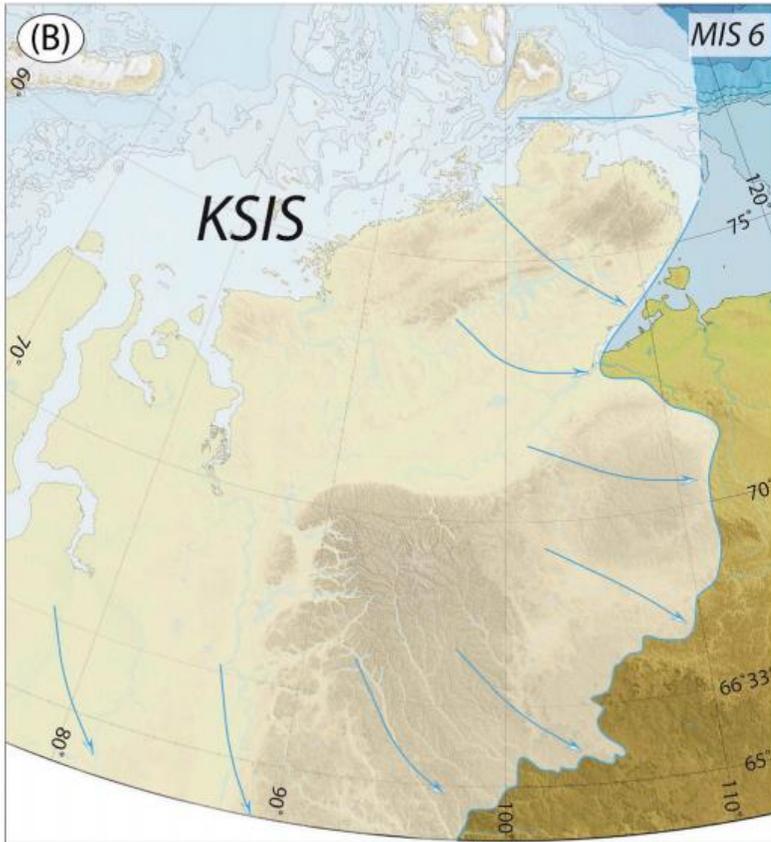


Рис. 3 Реконструкция максимума Тазовского оледенения МИС 6. Kara Sea Ice Sheets (KSIS). (P. Moller et al, 2019).



Рис. 4 Реконструкция событий на границе МИС 6- МИС 5е. Kara Sea Ice Sheets (KSIS). (Moller et al, 2019).

Морские отложения Каргинского времени выполняют всю Северо-Сибирскую низменность, но вскрываются эрозионными врезами только в ее восточной и юго-восточной частях. В этих отложениях часто встречаются арктобореальные комплексы моллюсков. Также следует отметить, что низменность хоть и была полностью занята морем, оно не было очень глубоким 100-150 м, о чем свидетельствуют остатки ископаемой малакофауны (Moller et al, 2019). Споропыльцевые данные отражают существование лесотундровой растительности с елью, лиственницей и белоствольной березой по долинам рек. Палеоботанические данные указывают на формирование Каргинских отложений в условиях межледниковья с климатическими условиями более теплыми, чем современные (Moller et al, 2019).

MIS-5e – MIS-4. Раннее зырянское время (Астахов, 2013).

На раннем этапе зарождения ледникового щита в северо-западной части Сибири лед начинал расти в горах и высоких плато, после чего спускался в низменные районы (Moller et. all, 2015), однако существует мнение, что ледник начинал сформироваться на неглубоких шельфах Карского моря (Moller et. all, 2015). Анализ моренных отложений по периметру Карского моря связывает их развитие с локальными ледниковыми шапками, а не Карским ледниковым щитом (Moller et. all, 2015). Но в то же время такие локальные ледниковые шапки не могли вызвать изостатическое поднятие, наблюдаемое на данной территории. Для разрешения этого противоречия было предположено, что эти периферийные участки были решающими в качестве начальных центров оледенения, которые позже объединялись с Карским ледниковым щитом. По мере роста локальных ледяных куполов в высокогорных районах по периметру Карского моря они постепенно объединялись со льдом, образовавшимся на примыкающем шельфе. В конце концов ледяной купол образовывался под влиянием льда, выпадающего в Карский бассейн с континента и льда, непосредственно образующегося на

шельфе. Полностью сформировавшийся Карский ледниковый щит двигался преимущественно в Северный Ледовитый океан. К югу движение льда изменилось на противоположное по сравнению с начальной фазой образования в северной и западной части гор Бырранга, в то время как к югу от этих гор направление льда оставалось неизменным - в сторону Северо-Сибирской низменности, где в результате и фиксируются конечные позиции ледникового края данных фаз оледенения (Moller et al, 2019).

Ледниковые щиты на шельфе Карского моря были чувствительны к изменениям уровня океана. После повышения глобального уровня моря, покровное оледенение на концах начало распадаться, из-за чего Карский ледниковый щит быстро потерял массу, что привело к трансгрессии и образованию морских отложений (Moller et. all, 2015). Палеогляциологическая реконструкция для позднего неоплейстоцена представлена схеме (рис. 5).

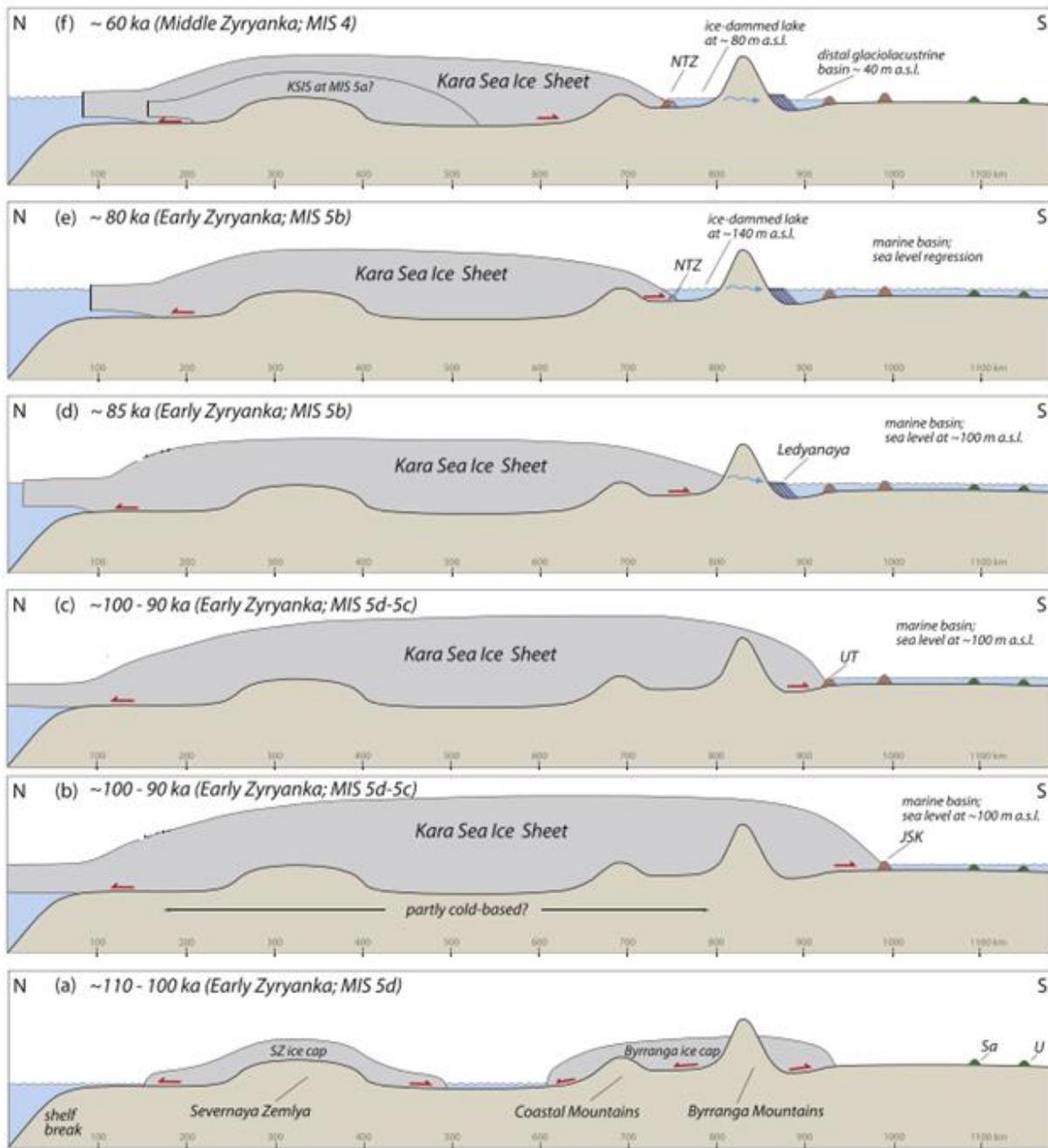


Рис. 5 Реконструкция развития покровных оледенений МИС 5d- МИС 2. (NTZ)North Taimyr ice marginal zone, Jangoda-Syntabul-Severokokorsk IMZ (JSK), U - Urdachsk, Sa - Sampesa, UT - Upper Taimyr ice marginal zones (IMZ) (Moller et al, 2015).

Во время раннее зырянского оледенения произошло объединение Карского и Путоранского ледниковых щитов (Moller et. all, 2019). На (рис. 6) виден характер движения льда.

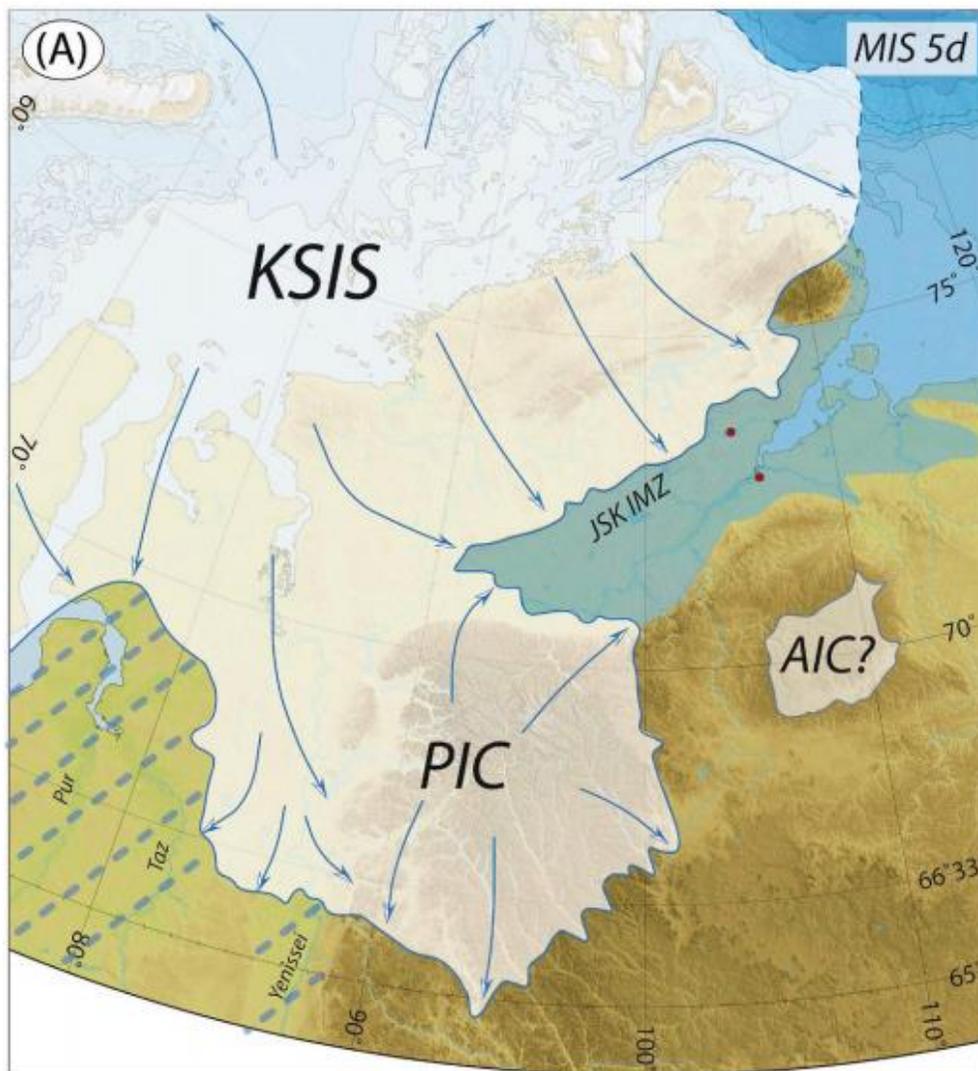


Рис. 6 Реконструкция развития раннеырьноского оледенения МИС 5d. Kara Sea Ice Sheets (KSIS), Putorana Ice Sheets (PIC), Anabar Ice Sheets (AIC), Jangoda-Syntabul-Severokokorsk IMZ (JSK), (Moller et al, 2019).

На востоке образовался морской бассейн между двумя ледниковыми щитами. В это же время в западной части существовало озеро, питаемое талыми водами с ледника, что привело к образованию ритмично-слоистых отложений. Максимальный уровень воды в этом перигляциальном пресноводном водоеме не превышал 70 м, территориально оно распространялось в водосбор рек Таз и Пур (Moller et. all, 2015). В ходе этого оледенения на Северо-Сибирской низменности

были сформированы комплекс ледниковых отложений, слагающих грядовой, грядово-холмистый и бугристо-холмистый рельеф (Антропоген Таймыра, 1982).

По мере отступления Карского Ледникового щита, морской водоем на востоке распространялся дальше на север, вплоть до предгорий Бырранга (Moller et. all, 2019) (рис. 7).

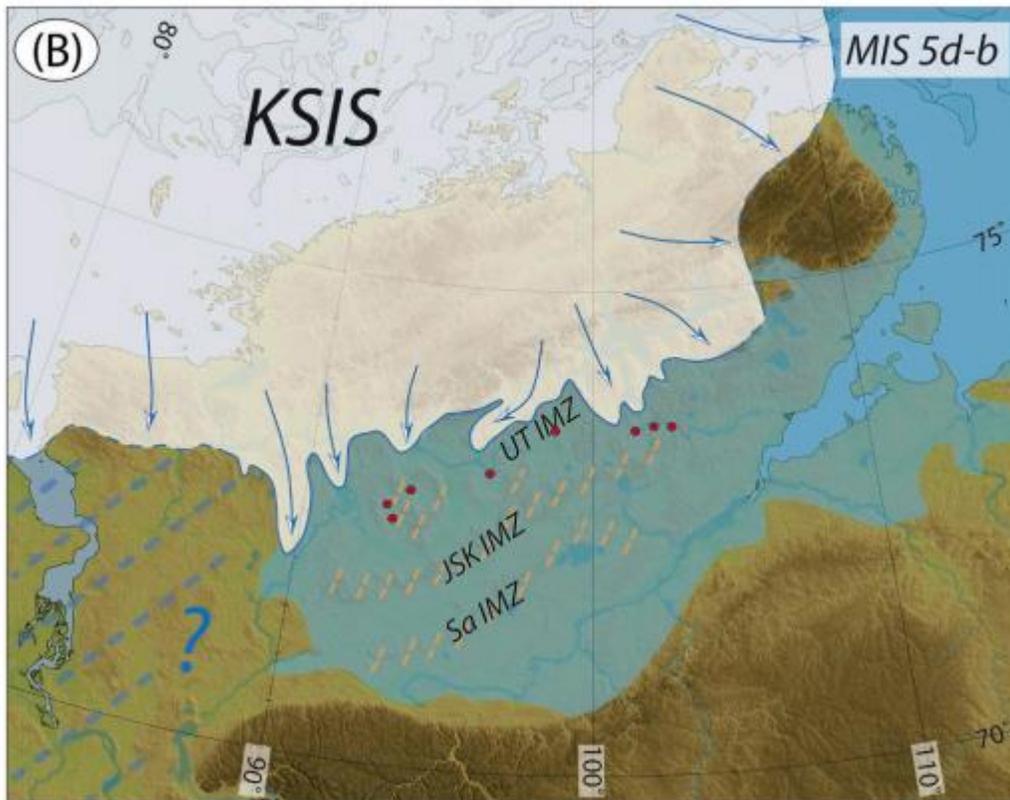


Рис. 7 Реконструкция развития раннее зырянского оледенения МИС 5d-МИС 5b. UT - Upper Taimyra, Sa = Sampesa, JSK - Jangoda-Syntabul-Severokokorsk IMZ, Kara Sea Ice Sheets (KSIS), (Moller et al, 2019).

Во время дегляциации ледник оставил мощный чехол ледниковых и водно-ледниковых отложений, обусловивших специфический макрорельеф центральной части Северо-Сибирской низменности. Для него характерны прямолинейные и дугообразно изгибающиеся водораздельные гряды, круглые и неправильные в плане, изолированные возвышенные массивы и ограниченные ими обширные разновысотные понижения - гляциодепрессии (Антропоген Тамыра,1982). Также некоторые гряды трансгрессивно срезают друг друга и обращены в центральной

части низменности выпуклой стороной на юг и юго-восток, в восточной на юго-запад. К возвышенностям примыкают высокие террасы, развитые фрагментарно, имеющие к гляциодепрессиям крутые уступы и склоны.

Нет никаких свидетельств о морских отложениях раннее зырянского времени вдоль долины Енисея (Moller et. all, 2019). Таким образом, можно говорить, что морской бассейн на востоке, следуя за отступающим ледником, не "излился" в западную часть в современную территорию бассейнов рек Енисей, Тай, Пур, когда Карский и Путоранский ледниковые щиты разделились. Несмотря на то, что уровень морского бассейна на востоке был достаточно высок, его не хватало чтобы пересечь водораздел между реками Пясины и Енисея (Moller et al, 2019).

Большинство морских отложений в районе бассейна р. Верхняя Таймыра, связанных с дегляциацией после максимума МИС 5d, содержат помимо обычных арктических и климатически индифферентных видов морских моллюсков еще и субарктические, такие как двустворчатые моллюски *Mytilus edulis*, *Chlamys islandica* и *Macoma balthica* и субарктический брюхоногий моллюск *Buccinum undatum* (Moller et al, 2019). Также в этих осадках были обнаружены фораминиферовые комплексы, соответствующие условиям арктического и субарктического климату, особенно яркий представитель - *Elphidiella groenlandicum* (Moller et al, 2019). Эти сообщества моллюсков и фораминифер предполагают более теплые условия, чем в настоящее время в Карском и Лаптевом море, и следовательно приток более теплой атлантической воды вглубь арктического бассейна. Такой состав фауны также традиционно связывают с межледниковыми условиями, последним из которых был в этой районе Каргинское МИС 5e. Но полученные возрастные границы осадконакопления этих отложений четко разделяют их с межледниковьем МИС 5e, которые свидетельствуют притоке более теплых вод, чем нынешние именно в период после начала зырянского оледенения. Такие же потепления, вызванные поступлением вод из Атлантики, регистрируются вокруг северной окраины Баренцева моря, что указывает на

кратковременные интервалы относительно теплой поверхности воды в середине МИС 5 и более существенное потепление на этапе МИС 5а, где температуры были подобны МИС 5е. Появление субарктических моллюсков в морских отложениях раннее зырянского времени в районе Северо-Сибирской низменности позволяют предположить, что относительно теплая вода проникала и в район Новой Земли и в те места, где находился Карский ледниковый щит (Moller et al, 2019).

Далее Карский ледник продолжал отступление на север и между его краем и горами Бырранга образовалось озеро (рис. 8), воды которого стекали на юг через долину р. Нижняя Таймыра в морской бассейн.



Рис. 8 Реконструкция развития раннезырянского оледенения МИС 5d-МИС 5b. Kara Sea Ice Sheets (KSIS), U - Urdakh, Sa - Sampesa, UT - Upper Taimyra, JSK - Jangoda-Syntabul-Severokokorsk, ice marginal zones (IMZ) (Moller et al, 2019).

Геологические доказательства полного распада Карского ледникового щита в раннее зырянское время не являются полностью убедительными. Стратиграфические данные на о. Октябрьской Революции арх. Северная Земля

указывают на отсутствие ледниковых и морских отложений этого времени, а это в свою очередь говорит о том, что ледниковый покров здесь сохранялся вплоть до МИС 4, в то время как поверхность шельфа была свободна ото льда.

В работе "Антропоген Таймыра, 1982" приводятся доводы в пользу двухстадийного оледенения Карского щита в раннее зырянское время в районе Северо-Сибирской низменности, разделенных ледниковым спадом неизвестной степени. Это предположение было основано на стратиграфической интерпретации, но без поддержки хронологических данных. Результаты работ "Per Moller и др, 2016" и "Per Moller и др, 2019" не подтверждают такой сценарий ни стратиграфически, ни хронологически.

MIS-4 – MIS-3 Раннее-среднее зырянское время (Астахов, 2013).

В отложениях в пределах Северо-Сибирской низменности к югу от гор Бырранга не фиксируется влияния оледенения в среднее зырянское время МИС 4. Нарастание Карского ледникового щита, возможно, начинается с остатка раннее зырянского льда на арх. Северная Земля. В максимум МИС 4 он продвинулся на юг до севера гор Бырранга (Рис. 9).

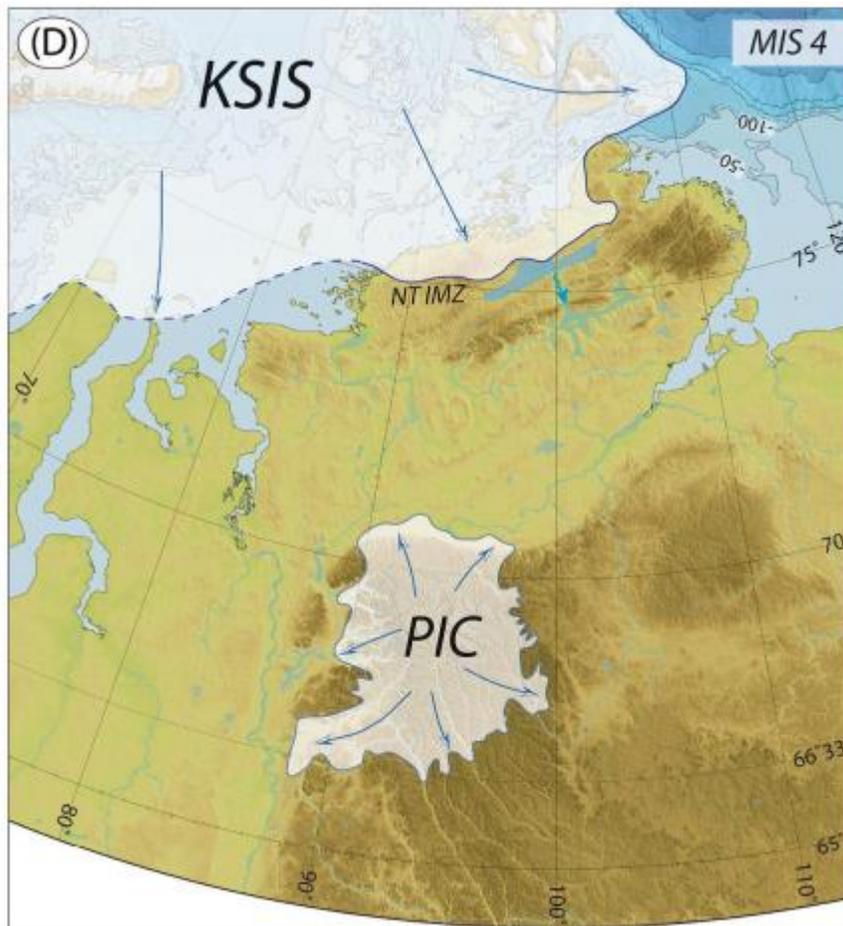


Рис. 9 Реконструкция развития раннее зырянского оледенения МИС 4. Kara Sea Ice Sheets (KSIS), North Taimyr ice marginal zone (NT IMZ), Putorana Ice Sheets (PIC) (Moller et al, 2019).

Геологические данные с плато Пutorано и Анабарского нагорья - ограничены, но они также указывают на развитие ледникового покрова по крайней мере на плато Пutorано во время МИС 4.

Географическое расположение конечной позиции Карского ледника и гор Бырранга обусловили появление между ними пресного водоема, который осуществлял сток на юг через долину р. Нижняя Таймыра (Рис. 8). Существование этого ледникового озера подтверждается наличием ритмично-слоистых отложений в низменных областях, удаленных от окраины зон ледника и отложениям в долине р. Нижняя Таймыра с признаками палеопотока (Moller et al, 2019).

По данным в работе "Per Moller и др, 2016" и "Per Moller и др, 2019" Северо-Сибирская низменность к югу от гор Бырранга оставалась сушей на протяжении МИС 4 - МИС 2. Анализ речных и озерных отложений указывает на очень

стабильные условия окружающей среды за последние 50 тыс. лет. Макрофоссилии растений и насекомых из флювиальных отложений МИС 3 предполагают тундровую и арктическую природную среду, схожую с настоящей. Здесь также присутствуют субэральные отложения, имеющие эоловое происхождение.

По спорово-пыльцевым данным (Andreev et al, 2003) оз. Левинсон-Лессинга и мыса Саблера конец среднее зырянского времени характеризуется температурами ниже современных значений, вероятно, около 2-5°C в зависимости от сезона и более суровыми зимами. Количество осадков также было ниже, примерно на 50-100 мм (Andreev et al, 2003). В целом спорово-пыльцевые спектры также не показывают наличие покровного оледенения, вместо этого они предполагают общее доминирование открытых, степных и тундроподобных сообществ трав с кратковременными более влажными периодами. Большинство спектров, связанных с такими суровыми условиями, характеризуются низкой концентрацией пыльцы и большим количеством переотложенных палиноморф. Доминирующими таксонами являются: *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Artemisia*, *Caryophyllaceae*, *Rosaceae* и *Ranunculaceae*, хотя иногда пыльца присутствует *Betula sect. Nana*, это говорит о том, что её кусты были достаточно редки (Andreev et al, 2003)

Кроме спорово-пыльцевых спектров на такую же суровую среду в конце среднезырянского времени на п-ове Таймыр указывают и другие факты. Присутствующие в некоторых отложениях ризоподы указывают на сухую и холодную среду. Кроме того, остатки макрофоссилий типичных для степи (*Ephedra*, *Kobresia*, *Leontopodium*) и для тундры (*Papaver*, *Dryas*, *Luzula*) в районе мыса Саблера характеризуют природный ландшафт как тундростепь (Andreev et al, 2003)

МИС-2. Позднее зырянское время (Астахов, 2013).

Последний глобальный ледниковый максимум МИС 2 или в соответствии с региональной стратиграфической схемой, предложенной В. И. Астаховым и Per Moller – позднее зырянское оледенение, очевидно, оказал незначительное влияние

на Северо-Сибирскую низменность (Andreev et al, 2003). Предполагаемое существование на севере Карского ледникового щита - проблематично, также ни на мысе Челюскин, ни на арх. Северная Земля не было покровного оледенения (Andreev et al, 2003). Климат во время последнего ледникового максимума характеризуется в этом регионе как чрезвычайно холодный и сухой, где температура примерно на 3-7 °С ниже, чем современная, а количество осадков на 100-300 мм. ниже, чем сегодня (Andreev et al, 2003).

Спорово-пыльцевые спектры, изученные в отложениях оз. Левинсон-Лессинга и мыса Саблера, указывают на доминирование степной растительности, хотя тундровые сообщества тоже хорошо представлены *Betula sect. Nanae*, *Salix* и *Cyperaceae* (Andreev et al, 2003). В остатках микрофоссилий в отложениях на мысе Саблера обнаружены степные и тундровые криофитные доминанты (Andreev et al, 2003).

В работе (Andreev et al, 2003) в конце позднего зырянского времени спорово-пыльцевые спектры фиксируют неявное потепление, о чем свидетельствуют постепенное уменьшение пыльцы *Artemisia*, *Poaceae* и увеличение *Cyperaceae*, *Rosaceae* (главным образом *Dryas*) в верхней части керна из оз. Левинсон-Лессинга, этот период связывают с интерстадиалом *Bølling*. Следующее потепление фиксируется более явно по увеличению *Betula sect. Nanae*, *Salix* и концентрации пыльцы, а также по значительному уменьшению *Poaceae* и других трав. Это событие связывают с интерстадиалом *Allerød*. Радиоуглеродные датировки ограничивают его возраст 11855-10170 радиоуглеродных лет назад (Andreev et al, 2003). Высокие значения пыльцы *Cyperaceae* и низкие *Artemisia*, *Caryophyllaceae*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae* и других трав также можно интерпретировать как реакцию местной растительности на более влажный и немного более теплый климат. Появление раковин *Testacea* в отложениях и присутствие почвенных и сфагновых видов ризопод тоже свидетельствует о потеплении климата. Климатические

реконструкции предполагают, что температура ввремя аллерёда в этом регионе была на 2°C выше, чем современная.

Похолодание, которое, вероятно, соответствует позднему дриасу характеризуется увеличением содержания пыльцы *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Artemisia* и других трав, а также снижением концентрации пыльцы *Betula*. В целом, эти спектры показывают, что степные сообщества стали более доминирующими, чем в предыдущий теплый период (аллердский интерстадиал) (Andreev et al, 2003).

MIS-1. Голоцен

На севере п-ова Таймыр произошли существенные изменения окружающей среды на границе позднеледниковья и пребореального периода. По данным спорово-пыльцевого анализа отложений оз. Левинсон-Лессинга и мыса Саблера был установлен резкий рост *Betula* и общей концентрации пыльцы, в то время как показатели трав снизились (Andreev et. all, 2003). Карликовые березы и представители вересковых доминировали в спорово-пыльцевых спектрах. Также увеличилось разнообразие видов ризопод. Эти изменения предполагают значительно более теплую и влажную среду, чем это было прежде. Климатические реконструкции указывают на температуры на 2-3°C выше, чем современные и количество осадков больше на 100 мм, чем сегодня (Andreev et. all, 2003).

Ранний период голоцена на севере п-ове Таймыр характеризуется более высокими температурами, чем современные. Ольха начала локально встречаться приблизительно 8800-8500 лет назад, это фиксируется по увеличению *Alnus fruticosa* до 52% (Andreev et. all, 2003). Растительный покров, вероятно, был похож на современную южную тундру, с доминирующими видами *Betula nana*, *Salix* и *Alnus fruticosa*. Предполагается, что граница распространения лиственницы и ольхи была севернее 8600-8400 лет назад, чем сейчас (Andreev et. all, 2003).

В промежутки около 9000-5000 лет назад на севере Таймыра происходит постепенное уменьшение пыльцы *Betula sect. Nanae* и *Alnus fruticosa*. Несмотря на

снижение, процентное содержание этих видов все еще было достаточно велико. Из отложений того же возраста отмечается рост концентрации *Cyperaceae*, *Poaceae* и *Polypodiaceae*. Эти изменения связывают с наступлением более холодного климата. Таким образом, в кустарниковой тундре преобладала *Betula* sect. *Nanae* с субдоминантом *Alnus fruticosa*.

Показатели климатических условий после 4500 лет назад, по-видимому, сильно ухудшились до значений, схожих с современными, где они и оставались на протяжении большей части позднего голоцена. Ризоподы исчезли, либо имели очень бедное таксономическое разнообразие и малую плотность. Также было установлено значительное сокращение пыльцы *Betula* sect. *Nanae* и *Alnus fruticosa*. Таким образом начиная с 4500 лет назад в северной части п-ова Таймыр доминирующим ландшафтом становится типичная тундра.

История оз. Таймыр.

Котловина оз. Таймыр обязана своим происхождением структуре предтаймырского желоба. Она была сформирована, предположительно, на границе среднего и позднего неоплейстоцена.

В течение позднего неоплейстоцена, котловина современного озера неоднократно была занята морскими водами, подвергалась ледниковому воздействию, вмещала пресноводный водоем, подпруженный ледником и была полностью осушена в конце позднего неоплейстоцена (Moller et. all, 2015, Федоров 2003).

Уже к концу последнего ледникового периода и в начале голоцена уровень оз. Таймыр стал снова повышаться до отметок 15-20 м. выше современных (Федоров, 2003; Антропоген Таймыра).

В период 7-5 тыс. лет назад отмечается похолодание климата и вместе с ним падение уровня озера (Федоров, 2003).

Последнее значительное повышение уровня оз. Таймыр произошло примерно 2 тыс. лет назад. Где, вероятнее всего, уровень поднялся на 6 м. (Федоров, 2003; Большианов, 2006).

Глава 4. Изучение диатомовых комплексов в водоемах п-ова Таймыр.

На данный момент существует крайне мало работ, посвященных диатомовому анализу отложений водоемов п-ова Таймыр. В основном эти исследования посвящены его западной части. Корректные и обоснованные данные по диатомовому анализу донных отложений оз. Таймыр были получены лишь для небольшой колонки мощностью около 1 м. (География озер Таймыра, 1985). В ней установлен богатый диатомовый комплекс, где доминирующими видами являются - планктонные (География озер Таймыра, 1985).

4.1 Исследования оз. Миддендорф (западный Таймыр).

В работе "Т.Е. Laing and J.P. Smol, 2003" приведены результаты исследования донных отложений небольшого озера (не более 1 га) Миддендорф (неофициальное название). Оно расположено примерно в 100 км к северу от г. Норильска (70° 22 " С.Ш, 87 ° 33" В.Д.) (рис. 10).

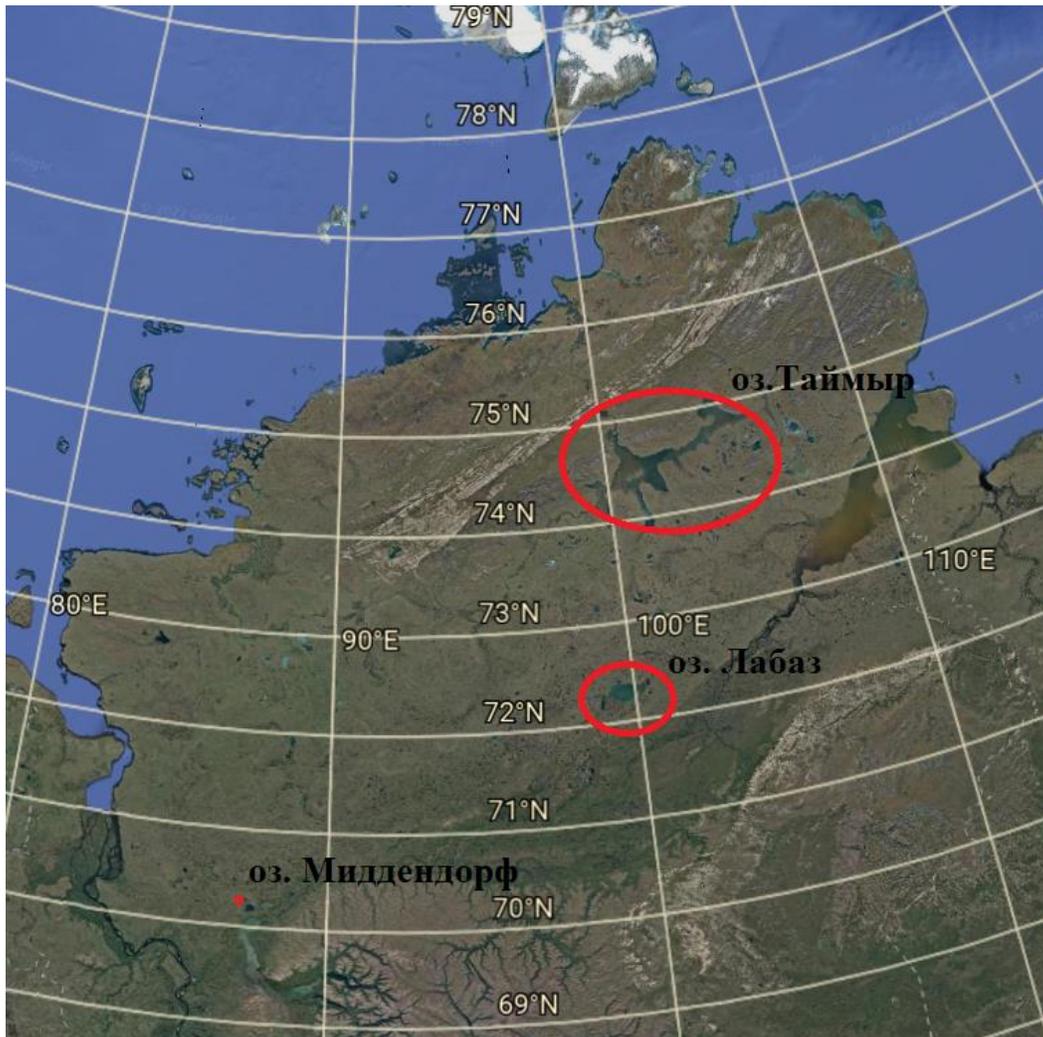


Рис. 10 Расположение оз. Миддендорф, оз. Лабаз и оз. Таймыр (Google Earth).

Изученные отложения содержали в себе летопись последних 5 тыс. лет. В ископаемом комплексе преобладают алкалофильные таксоны. *Fragilaria pinnata*, бентосный вид космополит доминирует в большинстве случаев. Всего было выделено четыре экононы.

Экозона-I (5000-4200 лет назад) характеризуется как переходная, которая, вероятно, отражает развитие озера в условиях отступления границы распространения деревьев на юг. В этой зоне преобладают мелкие алкалофильные бентосные виды рода *Fragilaria*. Этот род часто рассматривают как организмы, распространение которых связано с ранними послеледниковыми периодами и переходами от морской к пресной воде. Отступление границы лесов на юг устанавливают по данным спорово-пыльцевого анализа и микрофоссилиям, оно

фиксируется 4400 лет назад. Причем одновременно с отступлением древесной растительности отмечается и изменение диатомового комплекса. Эти изменения отражаются в увеличении хладолюбивых видов рода *Fragilaria*. Такое похолодание в позднем голоцене на севере Евразии связывают со снижением летней инсоляции и понижением температуры поверхности моря в северной Атлантике, что приводит к снижению проникновения теплых и влажных воздушных масс.

В целом, данная экозона отражает переход к более холодным условиям.

Экозона-II (4200-1770 лет назад) характеризуется более холодными климатическими условиями. В этой зоне увеличиваются доля таксонов, типичных для тундровых зон, таких как *Fragilaria brevistriata* var. *papillosa*, *F. pseudoconstruens* и *Amphora pediculus*. Доля планктонных диатомовых водорослей очень сильно уменьшилась на большей части экозоны-II, особенно *Aulacoseira distans* var. *humilis*, что может быть связано с уменьшением температуры вод, а также более длительному ледяному покрову на озере.

Эта зона характеризуется более постоянным составом диатомовых комплексов, что позволяет предположить, что лимнологические условия были достаточно постоянными. Небольшие интервалы повышения доли планктонных видов свидетельствует о кратковременных условиях открытого бассейна.

Экозона-III (1770-120 лет назад). В этой зоне имели место наибольшие изменения в составах диатомовых комплексов. Эти изменения предполагают колеблющиеся и нестабильные лимнологические условия в течение данного периода.

Последовательные изменения в этой зоне обуславливаются колебанием доли двух доминирующих таксонов: *Fragilaria pinnata*, бентосный вид и *Aulacoseira distans* var. *humilis*, планктонный таксон. Существует несколько объяснений данных колебаний.

Более высокое содержание видов рода *Aulacoseira* было связано с большим поступлением кремнезема в период повышения поверхностного стока. Но этот

фактор не был решающим или вообще не имел место быть, так как современные показатели кремнезема в данном озере не являются низкими, однако количественные показатели таксона *Aulacoseira* в настоящее время находятся на низком уровне. Кроме того, озеро Миддендорф является довольно глубоким для своих размеров (11,5 м), и изменение уровня за такое короткое время является маловероятным. Эти данные убедительно свидетельствуют о том, что изменения концентрации кремнезема, наличия питательных веществ или характеристика глубины озера не являются решающими в изменении доли видов рода *Aulacoseira* (Laing and Smol, 2003).

Вероятнее всего причиной колебания доли в диатомовом комплексе видов рода *Aulacoseira* является изменение гидрологических факторов. Пики содержания планктонных видов указывают на периоды преимущественно свободного ото льда бассейна с общей повышенной влажностью. Увеличение осадков приводят к большему поступлению в озеро гумидных веществ, что является следствием увеличения интенсивности эрозийных процессов. Также пики доли планктонных организмов могут быть связаны с повышением турбулентности воды и ее активным перемешиванием, что является следствием поступающих вод в озеро и влиянием температуры (низкие температуры создают более долгий и устойчивый ледяной покров, что мешает развитию планктонных видов). Так как панцири таксонов рода *Aulacoseira* грубые им требуется динамические условия, чтобы оставаться в толще воды для нормальной жизнедеятельности. Наиболее заметные изменения диатомового комплекса не коррелируют с изменениями растительного сообщества по данным спорово-пыльцевого анализа. Это позволяет говорить, что изменения ассоциаций диатомей связано в первую очередь с гидрологическими характеристиками озера и значительные лимнологические изменения могут происходить в отсутствие воздействия на растительные сообщества (Laing and Smol, 2003).

Экозона-IV (120 лет назад - настоящее время) Это самая молодая зона. Она характеризуется повышением доли видов в диатомовом комплексе, которые в предыдущих зонах встречались редко, в первую очередь это: *Pinnularia balfouriana* и *Achnanthes minutissima*. Увеличение *Pinnularia balfouriana* (аэрофильный вид диатомовых водорослей) позволяет предположить наличие более открытых мест обитания мхов, что указывает на возможное понижение уровня воды или более длительный вегетационный период, способствующий росту мхов (Т.Е. Laing and J.P. Smol, 2003). Начало экозоны-IV характеризуется резким снижением таксонов рода *Aulacoseira*, что может объясняться более сухими условиями, чем в экозоне-III. Также повышение температуры может существенно изменить характер температурной стратификации озера и режимы смешивания, что приведет к менее благоприятным условиям для таксонов *Aulacoseira*.

4.2 Исследования оз. Лабаз (п-ов Таймыр)

В работе (Kienel et al, 1999) приводятся исследования донных отложений оз. Лабаз (Северо-Сибирская низменность) (рис. 10). Была изучена колонка 5 м, в которой выделено 6 экозон. В нижней части колонки в комплексах диатомей (I - IV экозона) доминировали виды рода *Fragilaria*: *F. construens* var. *venter* и *F. pinnata*. В экозоне-I впервые появился вид *Tabellaria flocculosa*. Здесь виды рода *Achnanthes* и *Eunotia faba* показали свое максимальное содержание в составах диатомовых комплексов, к концу данной зоны наблюдается их резкое снижение. Экозона-III отмечается увеличением содержания в составах диатомовых комплексов видов рода *Eunotia*. Также в верхней части данной экозоны был зафиксирован сильный рост видов *Gomphonema* cf. *procerum*, *Navicula* cf. *rhynchocephala* и *Pinnularia subcapitata*. В экозоне-IV доминирует вид *Eunotia implicata* ему сопутствовали: *E. faba*, *Navicula* cf. *rhynchocephala*. В экозоне-V произошли сильные изменения в составах комплексов диатомей. До начала формирования экозоны-V наблюдалось преобладание видов рода *Fragilaria* и *Eunotia*, здесь произошла смена доминант. В целом, экозона-V характеризуется доминированием *Aulacoseira nygaardii*, этому

виду сопутствуют *Pinnularia brevicostata*, *Eunotia bilunaris*, *P. subcapitata*, *Cymbella tynni* и *Neidium ampliatum*. Последняя экзона-VI существенно отличается от остальных, особенно в верхней части. Здесь доминантами являются - *Caloneis aerophila* и *Diadismis contenta*.

При анализе диатомового комплекса изменение соотношения планктонных и перифитонных видов традиционно интерпретируются по двум направлениям: изменение гидрологических характеристик водоема, например уровень озера. Считается, что на понижении уровня озера указывает высокий процент перифитонных таксонов диатомовых водорослей или увеличение площади более мелких краевых областей водоема, поскольку это создает большие области, подходящие для развития видов обрастателей.

В арктических областях важную роль играют размеры снежного и ледяного покрова водоемов, особенно их время разрушения в теплый период. В тех областях, где наблюдается продолжительной ледяной покров, озера могут освобождаться ото льда только в краевых частях, где создаются условия мелководья, которые предпочитают перифитонные таксоны.

Отличительной особенностью в последовательности развития диатомовых водорослей в оз. Лабаз является рост доли перифитонных видов вверх по колонке и снижение доли планктонных таксонов. В данных отложениях в пробах ниже 3,45 м диатомеи обнаружены не были. С этим связывают следующие факторы: 1) отложения имеют субэральное происхождение; 2) данное озеро постоянно покрывалось льдом и, возможно, промерзало до дна в течение зимы; 3) на сохранность створок диатомей влияли процессы растворения. Также растворение могло усиливаться после интенсивного перемешивания водоема.

Выводы

Опубликованных работ по изучению ископаемых диатомовых комплексов на п-ове Таймыр не так много. По имеющимся исследованиям сложно делать обобщающие выводы и устанавливать закономерности развития флоры диатомей, так как водоемы, где изучались донные отложения, довольно сильно различаются между собой по морфологическим, гидрологическим и прочим характеристикам. Но все же, по имеющимся источникам, можно выделить некоторые особенности развития диатомовой флоры, которые прямо или косвенно прослеживаются и в настоящей работе.

В целом анализ, опубликованных работ показывает:

1. На общий вид диатомовых комплексов в озерах сильное влияние оказывает морфологические и гидрологические характеристики водоема, такие как: форма и размер котловины озера, глубины, мощность ледяного покрова и его длительность, характер термической стратификации водных масс. Причем, эти показатели бывают важнее климатических, хоть они от части и являются их следствием.

2. Чем крупнее озера, тем больше для них характерно доминирование планктонных видов, в частности рода *Aulacoseira*. По степени преобладания бентоса и перифитона можно судить о мелководности водоема и степени его зарастания, на это указывают таксоны рода *Eunotia*, *Fragalia* и др.

3. Отсутствие в некоторых интервалах створок диатомей указывает на преимущественно субаэральный характер осадконакопления, либо на длительный период времени существования озерного льда.

Глава 5. Материал и методы исследований

5.1 Бурение и отбор проб донных озерных отложений

Материал был получен в ходе экспедиции в рамках российско-германского проекта «ПЛЮТ-Палеолимнологический трансект». Полевые работы состоялись весной 2017 года, одной из целей которой был отбор длинных колонок донных отложений из оз. Таймыр на основании сейсмоакустических исследований, проведенных в 2016 году.

Отбор колонок донных озерных отложений оз. Таймыр и Левинсон-Лессинга проводился со льда с помощью поршневой системы для отбора колонок донных отложений производства UWITEC (Австрия), принадлежащей Институту геологии и минералогии университета г. Кёльна.

Из оз. Таймыр было отобрано 2 длинных керна: Со1407 10 м и Со1408 16 м, и 2 гравитационные колонки, мощностью 33 и 31 см. Места отбора представлены на (рис. 11).

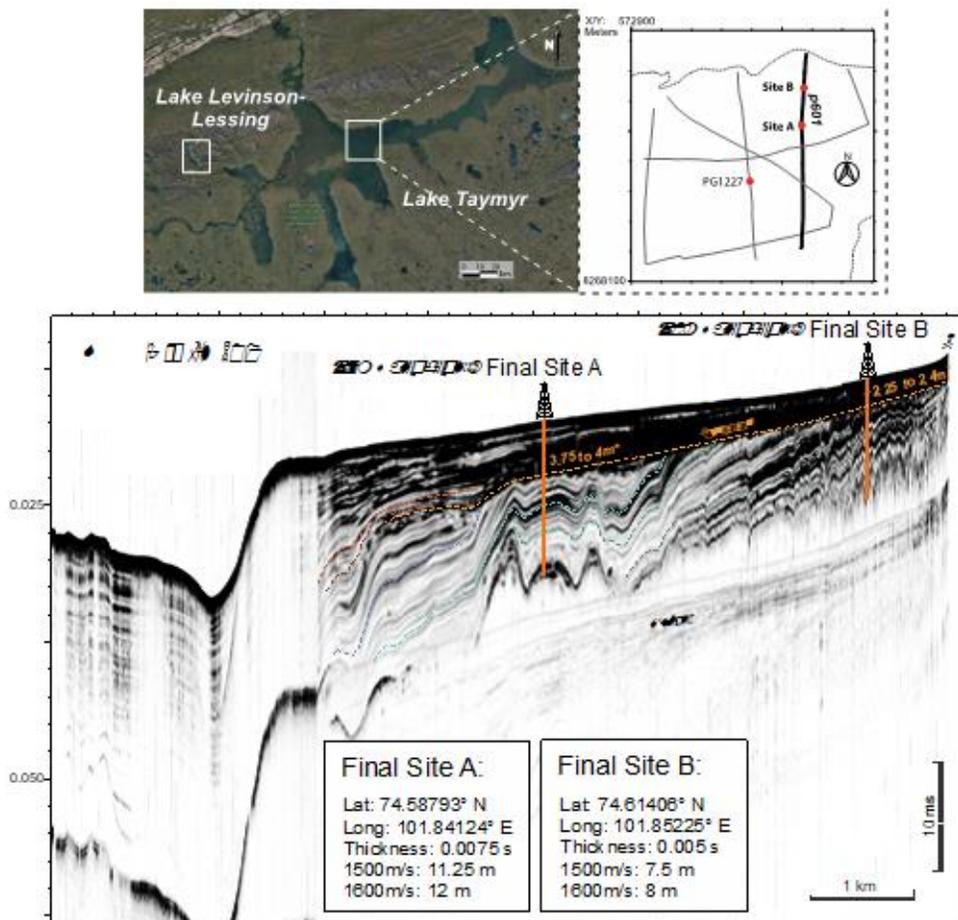


Рис. 11 Схема расположения скважин и сейсмоакустический профиль. (Данные российско-германского проекта "ПЛЮТ")

Керны донных озерных отложений были отправлены в ФГБУ «ААНИИ» для проведения экспертизы и подготовки сопроводительной документации. После чего они поступили в лабораторию Института геологии и минералогии университета г. Кёльна для проведения дальнейших исследований: литологических, геохимических, палеомагнитных, изотопных, радиоуглеродных и др.

Далее уже разобранные образцы с описями были отправили в Россию для проведения микропалеонтологических анализов, в том числе и диатомового.

5.2 Методы

Данные геохимического гранулометрического, спорово-пыльцевого анализа, радиоуглеродного и OSL датирования были получены коллегами в ходе российско-германского проекта «ПЛЮТ».

5.2.1 Геохимические анализы

Геохимические, гранулометрический анализы, а также радиоуглеродное датирование и OSL датирование проводились коллегами на базе Института геологии и минералогии университета г. Кельна. Здесь был выполнен рентгенофлуоресцентный анализ для элементного анализа. Измерения проводились с разрешением 1 мм. с использованием сканера ITRAX μ XRF (COX Analytics, Швеция) (Groming et al, 2021).

Пробоотбор на биохимические анализы проводился через каждые 8 см. Расчет общего азота (TN) проводился с помощью анализатора Vario Micro Cube (Elementar, Co., Германия). С таким же интервалом был подсчитан общий углерод (TC) и общий неорганический углерод (TIC) с помощью анализатора DIMATOC 2000 (Dimatec, Co., Германия). Далее расчет общего органического углерода (TOC) проводился путем вычитания TIC из TC (Groming et al, 2021).

5.2.2 Гранулометрический анализ

Гранулометрический анализ был выполнен для колонок донных озерных отложений Co1407 и Co1408 через каждые 16 см, за редким исключением был проведен через 8 см, с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц LS 13320 (Beckman Coulter, США). Пробоподготовка заключалась в удалении карбонатов, биогенного кремнезема и органических частиц путем обработки 10% HCl, 10% NaOH, 30% H₂O₂ (Groming et al, 2021).

5.2.3 Спорово-пыльцевой анализ

Спорово-пыльцевой анализ был проведен для 75 проб из колонки донных отложений Co1408 в СПбГУ. Лабораторная подготовка велась по стандартной методике. Она включает в себя обработку 10% HCl, 10% NaOH и 70% HF, с последующей обработкой в ультразвуковой ванне. Подсчет пыльцы и спор велся до 100-300 шт. на световом микроскопе LaboMed-3 при увеличении 400x (Groming et al, 2021).

5.2.4 Радиуглеродное и OSL датирование

Радиуглеродное датирование донных озерных отложений проводилось по растительным остаткам на 13 образцах. Лабораторная обработка заключалась в обогащении путем просеивания с помощью теки 125 мкм. Далее полученную фракцию центрифугировали с использованием тяжелой жидкости плотностью 1,6 г/см³. Радиуглеродное датирование растительных остаток было проведено в Beta Analytical, Inc. (США). Все радиуглеродные возрасты были откалиброваны с использованием калибровочной кривой IntCal20 (Groming et al, 2021).

OSL датирование проводилось для 5 образцов из колонок донных озерных отложений Co1407 и Co1408 в лаборатории люминесценции Кельна. Образцы на анализ были взяты из керноулавливателя (Groming et al, 2021).

5.3 Диатомовый анализ

Диатомовый анализ был проведен автором совместно и под руководством к. г.-м. н. З. В. Пушиной.

5.3.1 Лабораторная подготовка проб на диатомовый анализ

Лабораторная подготовка материала проводилась в лаборатории четвертичной микропалеонтологии ВСЕГЕИ. Образцы были отобраны через каждые 7-9 см. из колонки донных озерных отложений, масса навески каждой

пробы равнялась 0,8-1,2 г. В рамках дипломной работы были обработаны верхние 14,08 м керна из скважины Со1408 из и все 10 м керна из скважины Со1407. Лабораторная обработка была выполнена по стандартной методике, описанной в руководстве "Диатомовый водоросли СССР, 1974".

Из-за того, что озерные отложения были бедны органическими веществами и они имели глинисто-алевритовый литологический состав, обработка проводилась по сокращенной методике.

Описание лабораторной обработки

1. Навеска 0,8-1,2 г сухого осадка помещалась в стаканчике объемом 50 мл и заливалась 10-15 мл. 5-10% H_2O_2 . Затем полученная суспензия тщательно перемешивалась и ставилась в защищенное от прямых солнечных лучей место на 4-6 часов. Эта процедура проводилась для дезинтеграции осадка и удаления органических веществ. Затем в стаканчики опять добавлялось небольшое количество перекиси водорода для проверки реакции на наличие оставшихся органических веществ.

2. После этого суспензия заливалась дистиллированной водой и начинался процесс декантации. Эта процедура продолжалась до тех пор, пока столб воды в стаканчике не становился прозрачным.

3. Далее полученная фракция собиралась в пробирки путем центрифугирования. После этого образцы были готовы для приготовления постоянных препаратов.

4. Для создания постоянных препаратов были использованы предметные стекла 75x25x1,1 мм, покровные стекла 20x20 мм, среда Эляшева с показателем преломления ($n=1,67-1,68$).

5.3.2 Микроскопирование

Изучение структуры створок и панцирей диатомей для их дальнейшего видового определения осуществлялось на световом микроскопе МИКМЕД-3 при увеличении 1500 раз с использованием масляной иммерсии. Определение таксонов почти всегда проводилось до вида, реже до рода с помощью атласов и определителей (Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988; Куликовский и др, 2016). Количественный подсчет створок производился до 300 штук.

Для создания микрофотографий (прил. 2) была использована цифровая камера микроскопа МИКМЕД-5. Микрофотографии использовались для таксономического анализа, с их помощью производилось изучение морфометрических и морфологических характеристик створок диатомовых водорослей.

Также для одного из доминантов были получены микрофотографии с помощью электронного микроскопа на базе биологического факультета МГУ им. Ломоносова.

5.3.3 Оформление результатов

После окончания аналитической работы был произведен синтез полученных данных. Результаты подсчета и определения диатомей объединялись в общий список, который является самым главным элементом, и на основе которого строились все исследования и выводы работы.

После окончания лабораторной обработки все образцы были просмотрены на наличие створок диатомовых водорослей и были выделены интервалы в колонке с их отсутствием или наличием, также велся подсчет их относительного содержания в образце на основе количества штук в просмотренном ряду. Все эти результаты были оформлены в отдельной таблице, в которой, помимо прочего, указывались дополнительные характеристики: оценка инсцитности материала, наличие переотложенных створок и спикул губок и др.

Наиболее важные данные, полученные в результате определения диатомей в вертикальной серии образцов, иллюстрирует диатомовая диаграмма. Она показывает процентное содержание створок разных видов диатомовых водорослей в каждой пробе. В состав этой диаграммы были включены 12 таксонов — это доминанты и наиболее представленные в количественном соотношении виды. Кроме того, в каждом образце указывалось наличие переотложенного материала и содержание диатомей по приуроченности к местообитанию: планктон, бентос, перифитон, планктон-бентос.

Также была составлена экологическая таблица диатомовых водорослей (прил. 1). В ней указывались следующие экологические характеристики: приуроченность к местообитанию, географическая приуроченность, отношение к рН среды.

Глава 6. Позднечетвертичные обстановки осадконакопления озера Таймыр по данным диатомового анализа

6.1 Результаты по данным литолого-фациального анализа

По опубликованным данным коллег, участвующих в российско-германском проекте «ПЛЮТ», керны колонок донных озерных отложений Co1407 и Co1408 были разделены на четыре литологические зоны (ЛЗ) от самой древней ЛТ-I до самой молодой – ЛТ-IV (рис. 12). Выделенные литостратиграфические подразделения в Co1407 и Co1408 почти не имеют различий.

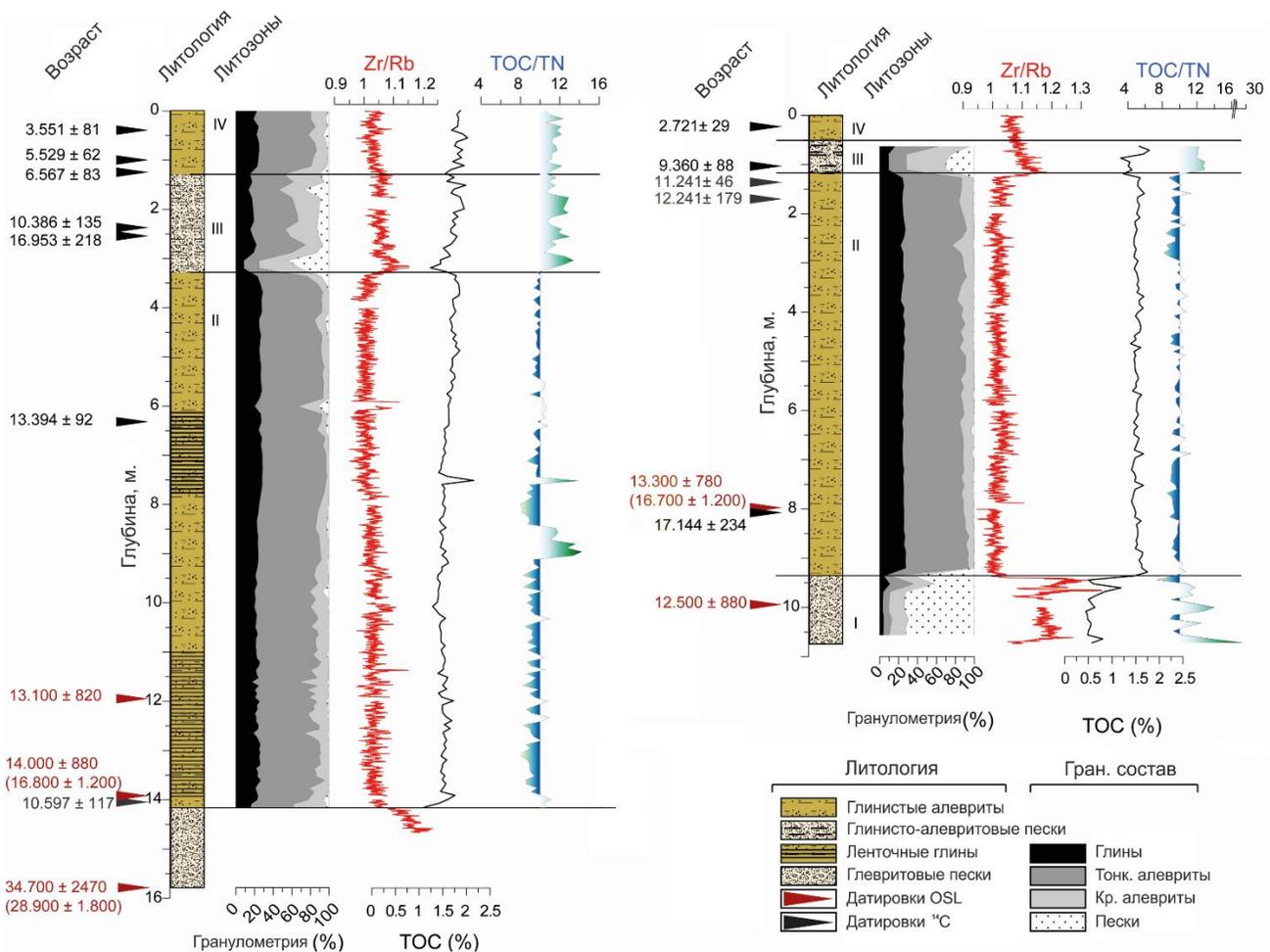


Рис. 12 Литологический состав, данные геохимических анализов датирования Co1408 (слева) и Co1407 (справа) (Groming et al, 2021).

Литозона-I (ЛЗ-I)

Выделяется в нижних частях Co1407 и Co1408 на интервалах 10,8-9,4 м и 15,7-14,3 м соответственно. Данное подразделение представлено хорошо отсортированным мелкозернистым и среднезернистым песком с незначительным содержанием алевритовой и глинистой фракции. Высокие значения соотношения Zr/Rb (выше 1) также отражают преимущественно крупнозернистый состав, так как повышенные содержание Zr свойственно мелкозернистому песку и крупным алевритам, а Rb глинистым фракциям. Среди всех литозон ЛЗ-I обладает самым высоким значением ТОС/TN (общий органический углерод/общий азот), что отражает высокий принос биогенного материала с суши и низкую органическую продуктивность самого бассейна. Такая картина может наблюдаться в условиях падения уровня озера и поступлению осадочного материала с суши посредством водотоков. Гранулометрический состав данной литозоны также указывает на формирование осадка в динамичной водной среде. Датировки, полученные по данным OSL датирования, в этом подразделении имеют значительные расхождения. Это может быть обусловлено прерывистым и неоднородным отложением осадка, что свойственно для водной динамичной среды (Groming et al, 2021). Таким образом, возраст 16,1 лет рассматривается как минимальный для формирования литозоны-I.

Литозона-II (ЛЗ-II)

Литозона-II выделяется в Co1407 и Co1408 на интервалах 9,4-1,3 и 14,3-3,3 м соответственно. Данное подразделение представлено относительно высоким содержанием глинистых частиц и максимальным содержанием алевритовой фракции, их процентное соотношение незначительно изменяется в данной литозон. Соотношение Zr/Rb менее 1, что также отражает преобладание мелкой фракции. Значение ТОС/TN вдоль всей мощности ЛТ-II практически не изменяется и составляет менее 10, что свидетельствует о преобладании органического материала, образованного в бассейне, над принесенным с суши. По данным радиоуглеродного

и OSL датирования формирование литозоны-II началось в промежутке 16,0-14,0 тыс. лет назад и закончилось в начале раннего голоцена после некоторого времени от 11,7 тыс. лет назад. Здесь также полученные радиоуглеродные датировки имеют некоторые расхождения. Вероятно, это вызвано недостаточной массой органических остатков, а также примесью переотложенного материала. Кроме того, граница плейстоцена и голоцена может быть установлена по данным спорово-пыльцевого анализа на отметке 6,1 м в Co1408, по увеличению пыльцы *Betula sect. nanae* и *Alnus fruticosa*.

Литозона-III (ЛЗ-III)

Эта литозона выделяется в Co1407 и Co1408 в интервалах 1,3-0,7 и 3,3-1,2 м соответственно. Литологический состав представлен глинистыми алевритами с примесью песчаной фракции от 30-40 % у основания толщи с последующим ее понижением до менее 10 % у ее кровли. Такая же последовательность прослеживается и по значению Zr/Rb , которое достигает своих максимальных показателей в подошве и постепенно снижается вверх по колонке. Соотношение ТОС/ТН по всей мощности постоянно находится выше 10, но здесь также имеется тренд к снижению от подошвы к кровле. Радиоуглеродные датировки в литозоне-III противоречивы, скорее всего органический материал переотложен, на что указывают высокие показатели ТОС/ТН. Учитывая границу плейстоцена и голоцена в ЛЗ-II, данная толща вероятно была сформирована в раннем голоцене.

Литозона-IV(ЛЗ-IV)

Литозона образует верхние 0,7 м в Co1407 и 1,2 м в Co1408. Литологический состав представлен массивными глинистыми алевритами с незначительной примесью песчаной фракции, что также фиксируется показателем Zr/Rb . Значение ТОС/ТН здесь немного выше 10, но ниже, чем в литозоне-III. Четыре радиоуглеродные датировки из Co1408 имеют правильный хронологический

порядок. Начало формирования данной литозоны можно вести с возраста 6,6 тыс. лет назад.

6.2 Результаты диатомового анализа

Как было упомянуто раньше, диатомовый анализ был выполнен автором совместно и под руководством к. г.-м. н. З. В. Пушиной. Диатомовые комплексы были обнаружены только в колонке донных озерных отложений Со1408. В колонке из скв. Со1407 в некоторых пробах были обнаружены только единичные створки диатомей, количество которых недостаточно для проведения анализа, в большинстве образцов они отсутствовали.

Диатомовые водоросли были изучены в 57 пробах донных озерных отложений из скв. Со1408, всего было найдено и определено 103 таксона. Обнаруженные диатомеи являются типичными обитателями пресноводных водоемов. Их обилие (часто встречаются колонии) велико, а сохранность достаточно хорошая, это указывает на то, что материал *in situ*. Почти во всех пробах преобладают планктонные диатомовые водоросли, причем их доля в комплексах достигает 90% и более. Бентосные виды обладают меньшим обилием, чем планктонные, но они представлены более высоким таксономическим разнообразием. Также во всех образцах присутствуют обломки створок морских диатомей (очень редко целые створки) и спикулы губок, в основном они встречаются фрагментами, что также указывает на их переотложение. Морские диатомовые водоросли были определены палеогеновыми видами: *Coscinodiscus payerii*, *Grunowiella gemmata*, *Paralia crenulata*, *P. grunowii*, и неогеновый вид: *Aulacoseira praegranulata*.

Доминирующий таксон *Aulacoseira islandica* чаще всего встречается в высокоширотных или высокогорных олиготрофных и мезотрофных больших

водоемах (Stoermer et al., 1985, Genkal and Popovskaya, 1991), в том числе в крупных, мелководных и эвтрофных постледниковых озерах, таких как озеро Виннипег (Siver and Kling, 1997; Serieyssol et al., 2009). В североамериканских Великих озерах *A. islandica* наблюдалась наиболее обильно в озерах Мичиган и Верхнее (Reavie and Kireta, 2015). Недавнее, массовое зимнее и весеннее цветение *A. islandica* также отмечено в озере Эри (Lashaway and Carrick, 2010; Twiss et al., 2012).

По наличию створок диатомовых водорослей и по их таксономическому составу было выделено 5 экозон (рис. 13, 14). В диатомовую диаграмму включены 12 наиболее часто встречающихся видов.

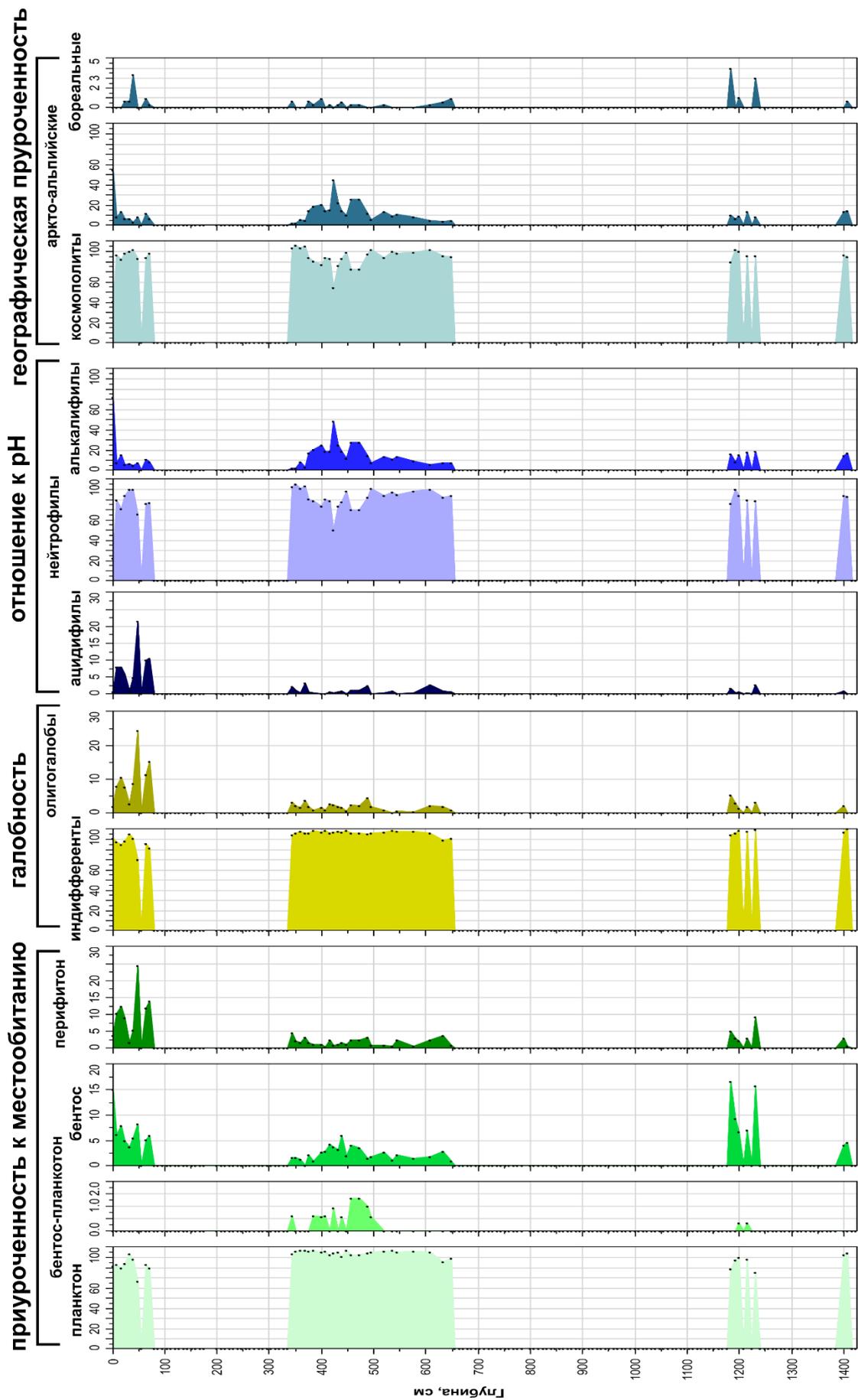


Рис. 14 Экологические характеристики диатомовых комплексов в колонке донных

Экозона-I интервал 14,08-11,84 м.

Впервые створки диатомовых водорослей были обнаружены на глубине 1408 см, практически у самого основания ЛЗ-II. В данной экозоне имеются интервалы с отсутствием створок диатомовых водорослей. Диатомовые комплексы характеризуются малой концентрацией и таксономическим разнообразием (10-20 видов). Основу диатомовых комплексов составляют планктонные виды (75-94 %), среди которых ярко выделяется монодоминантный вид *Aulacoseira islandica*, пресноводный вид, обитающий в олиготрофных водоемах с нейтральной средой, доля в ассоциации которого составляет 65-80 %. Доля бентоса невелика и составляет 9-25 % и характеризуются большим таксономическим разнообразием. Они представлены видами *Placoneis gastrum* (до 4 %) *Cymbopleura cuspidata* (до 3%), *Neidium bisulcatum* (до 3 %), *Psammothidium obliquum* (до 3%), *Sellaphora bacillum* (до 2,5 %) и др. В экозоне прослеживается динамика увеличения доли бентоса вверх по разрезу.

Экозона-II интервал 11,84-6,56 м.

В образцах данной зоны створки диатомовых водорослей единичны. либо отсутствуют. Также крайне мало встречаются фрагменты створок переотложенных морских диатомей и спикулы губок.

Экозона-III интервал 6,56-3,44 м.

В этой зоне доминировали многочисленные пресноводные виды диатомей (всего 56 видов диатомовых водорослей). В диатомовых комплексах преобладал вид *Aulacoseira islandica* (вплоть до 93% от всего комплекса) с сопутствующими видами: *A. subarctica* (до 10%), *Cyclotella schumanii* (до 2%), *Cumatopleura solea* (до 1%), *Encyonema* spp. (3 вида) (до 2%), *Eunotia praerupta* (до 1%), *Stephanodiscus rotula* (до 2%), *Tabellaria flocculosa* (до 2%) и др. Также для этой зоны характерно обилие переотложенных морских диатомовых водорослей и спикул губок,

особенно в нижней части в интервале 655,9-649,9 см. Экозона-III отличается от всех остальных максимальной долей планктона 86-97%, диатомовые комплексы представлены видами обитающими в водоемах с нейтральной средой.

Экозона-IV интервал 3,44 -0,75 м.

Так же, как и в экозоне-II створки диатомовых водорослей единичны, либо отсутствуют. Встречаются единичные переотложенные обломки створок дочетвертичных диатомовых водорослей и спикулы губок.

Экозона-V интервал 0,72-0,0 м.

Данная зона имеет сходство с экозоной-I и экозоной-III, но здесь доля бентоса несколько возрастает, вплоть до 33 %. Доминантом является *Aulacoseira islandica* (до 87%), ему сопутствуют: *A. subarctica* (до 53%), *Staurosirella pinnata* (до 53%), *Caloneis silicula* (до 3%), *Eunotia* spp. (5 видов) (до 24%), *Tabellaria flocculosa* (до 5%), *Pinnularia borealis* (до 2%), и др.

В приповерхностной части колонки в интервале 0-2 см. прослеживается высокое обилие планктонных видов *Aulacoseira subarctica* (53%), *A. islandica* (17 %), *Asterionella formosa* (10%), *Hippodonta* sp., *Navicula* spp. и др.

Результаты диатомового анализа позволяют дать следующую таксономическую и экологическую характеристику ископаемой диатомовой флоры оз. Таймыр.

1. В диатомовых сообществах преобладали планктонные диатомовые водоросли. Планктонные диатомовые водоросли в комплексах достигали максимально 97 % и всегда составляли более 60% от общего количества диатомовых водорослей.

2. Разнообразие таксонов диатомовых водорослей высокое. Структура комплексов диатомовых водорослей была монодоминантной, количественно

преобладал вид *Aulacoseira islandica*, бентосные виды представляли большое разнообразие, чем планктонные, но их обилие было очень низким.

3. В большей части исследованных образцов установлены морские переотложенные диатомовые водоросли, чаще всего представленные фрагментами и очень редко полными створками, спикулы губок также были представлены единичными фрагментами.

4. Развитие диатомовой флоры происходило в холодных пресноводных условиях в глубоком озере с преимущественно нейтральной средой, реже слабощелочной.

6.3 Обстановки осадконакопления

Результаты диатомового анализа хорошо согласуются с выводами, которые сделаны на основе литолого-фациального, спорово-пыльцевого анализа и полученными результатами датирования. Благодаря обобщению всех полученных результатов можно выделить следующие этапы развития оз. Таймыр в позднем плейстоцене-голоцене.

Среднее и позднее зырянское время. Этап высыхания озера.

Данная стадия выделяется в интервале 10,8-9,4 м и 15,7-14,3 м скв. Со1407 и Со1408 соответственно. В этих промежутках створки диатомовых водорослей обнаружены не были. Этап характеризуется сильным уменьшением уровня оз. Таймыр, вплоть до его полного высыхания, осадконакопление происходит в аллювиальных обстановках. Причиной падения уровня озера является чрезвычайно сухой и холодный климат, что соответствует условиям полярной пустыни. Из-за противоречивых датировок возрастная привязка данного события недостаточно точная, но ее можно ограничить временным интервалом $34,7 \pm 2,5$ тыс. лет и примерно 16-14 тыс. лет назад.

Период позднеледниковья. Этап подпрудного водоема с глубиной близкой к современной.

К этому периоду относится экозона-I охватывающему интервал 14,3-11,84 м колонки Со1408. По данным литолого-фациального анализа заполнение водой котловины оз. Таймыр фиксируется по колонке Со1408 с глубины 14,3 м, по результатам диатомового анализа с отметки 14,08 м доказано существование пресноводного водоема с глубиной близкой к современной и с нейтральной средой. Палеоэкологические характеристики диатомовых комплексов из ЭЗ-1 свойственны приледниковым бассейнам с низкой минерализацией. Важно отметить, что в данной экозоне имеются интервалы с отсутствием или крайне низким содержанием створок диатомей, что типично для отложений перигляциальных водоемов. Этап ограничен временным интервалом от 14 до 13 тыс. лет. Повышение уровня воды в озере не было вызвано изменением климата. По данным исследования наземных разрезов по побережью озера и в долине р. Нижняя Таймыра в конце позднего плейстоцена долина этой реки была подпружена ледниковым щитом, что привело к формированию подпрудного озера (Alexanderson et al., 2001, Moller et al., 2015). Тектурные признаки такие как интервалы в колонке Со1408 на отметках 13,8-11,0 м и 7,8-6,2 м с ленточным характером слоистости отложений полностью подтверждает эти выводы. Осадконакопление в позднеледниковье происходило в относительно глубоководных условиях приледникового водоема, на что указывает широкое развитие планктонного таксона диатомовых водорослей *Aulacoseira islandica*, обитающий в водоемах с нейтральной средой и низкой минерализацией. Это также подтверждается литологическим составом отложений – глинистыми алевролитами с ленточной текстурой.

Конец позднего зырянского времени – начало раннего голоцена Этап подпрудного водоема с максимальной глубиной.

Данному этапу соответствуют в экозона-II и экозона-III и к нему относят интервал 11,84-3,44 м колонки Со1408. В промежутке 11,84-6,56 м колонки Со1408 створки диатомовых водорослей встречаются крайне редко, либо отсутствуют. Скорее всего это связано с суровыми условиями перигляциального водоема: низкая минерализация талых ледниковых вод и дефицит кремнезема, который необходим для построения панциря диатомей; высокие скорости осадконакопления и поступление тонкозернистого материала снижают прозрачность воды, уменьшая фотическую зону, что негативно сказывается на вегетации диатомей; поверхность озера может быть покрыта льдом в течение всего года, что также неблагоприятно для развития диатомовых водорослей (Лудикова и Кузнецов, 2018).

Далее на интервале 6,56-3,44 м выделена экозона-III. Она характеризуется самой большой долей планктона среди всех комплексов, что отвечает условиям существования глубокого приледникового водоема с уровнем воды выше современной на 17 м, который был установлен по продатированной озерной террасе (Moller et al, 2015). Начало ЭЗ-III примерно совпадает с границей плейстоцена-голоцена, установленной по данным спорово-пыльцевого анализа. В интервале 4,72-3,75 м отмечается плавное увеличение, а затем уменьшение планктонного вида *Aulacoseira subarctica*, его максимальная доля в комплексе выделяется на глубине 4,24 м и составляет 44%. Данный таксон развивается в небольших озерах, либо в относительно мелководных заливах крупных озер высоких широт, ограниченных от зоны большой воды, в слабощелочных условиях (Gibson et al, 2003). Такая динамика может связана с кратковременным похолоданием в раннем голоцене и, следовательно, незначительным уменьшением уровня водоема.

В конце позднеледниковья и раннем голоцене осадконакопление, как и на предыдущем этапе происходило в условиях приледникового озера, но более

глубоководного, происходит накопление глинистых алевритов. В раннем голоцене отмечается кратковременное похолодание, которое фиксируется по увеличению доли в диатомовых комплексах видов высоких широт. Данное похолодание вызвало небольшое понижение уровня озера, обстановки осадконакопления происходили в более мелководных условиях, что подтверждается в гранулометрическом составе отложений небольшим увеличением доли песчаной фракции.

Ранний-средний голоцен. Понижение уровня озера.

Данному этапу соответствует экозона-IV, выделенная на интервале 3,44-0,72 м. Створки диатомовых водорослей отсутствуют, либо встречаются в виде единичных фрагментов. Данный этап отражает спуск приледникового водоема из-за деградации ледниковой дамбы в долине р. Нижняя Таймыра. Осадконакопление происходило в условиях мелководного озера с постепенным повышением уровня и переходу к более глубоководным фациям. В раннем-среднем голоцене происходило накопление песчано-глинистых алевритов.

Средний-поздний голоцен. Повышение уровня озера.

Данному этапу соответствует экозона-V, выделенная на интервале 0,72-0,0 м. В данном интервале также доминируют планктонные виды диатомовых водорослей, но по сравнению с прошлыми экозонами здесь увеличивается доля перифитонных и бентосных таксонов, особенно сильно на интервале 72-50 см, где они достигали 25% и 8% от общего состава комплекса соответственно, и несколько меньше в интервале 32-8 см с показателями 12% и 8%. Данная экозона развивается во временном промежутке 5,529 тыс. лет назад до современности. Осадконакопление происходило от мелководных прибрежных озерных обстановок до относительно глубоководных.

Выводы

1. Всего на диатомовый анализ было обработано 297 проб из колонок донных озерных отложений оз. Таймыр Со1407 и Со1408. В 57 препаратах были обнаружены комплексы диатомовых водорослей.

2. В ходе данной работы был установлен таксономический состав и экологическая структура диатомовых комплексов в донных озерных отложениях Со1408 из оз. Таймыр. Всего установлено 103 таксона диатомей. Сообщества диатомовых водорослей были монодоминантными, наиболее распространен вид *Aulacoseira islandica*.

Были выделены следующие отличительные экологические характеристики диатомовой флоры в донных отложениях оз. Таймыр: а) высокая доля в диатомовых комплексах планктонных видов, бентосные таксоны отличались более богатым видовым разнообразием, но их доля в сообществах была очень низкой; б) рН воды в озере был преимущественно нейтральный и слабощелочной; в) таксономический состав диатомей соответствует пресноводным, олиготрофным, холодноводным условиям большого озера.

3 По видовому составу и экологическим характеристикам диатомей установлены особенности формирования диатомовых комплексов, на основании которых выделены 5 экозон.

4. По результатам диатомового анализа и обобщению литолого-фациального анализа удалось получить сведения об истории развития оз. Таймыр и обстановкам осадконакопления в конце позднего плейстоцена и в голоцене. Во время последнего ледникового периода произошло полное или почти полное осушение котловины оз. Таймыр, осадконакопление происходило в аллювиальных условиях. В позднеледниковье начиная с примерно 16-14 тыс. лет назад отмечается существование глубокого приледникового озера с уровнем воды на 17 м выше

современного, вызванного ледниковой дамбой в долине р. Нижняя Таймыра. Осадконакопление происходило в условиях глубокого приледникового озера с незначительными колебаниями уровня воды. В раннем-среднем голоцене произошел спуск озера в связи с деградацией ледника, обстановки осадконакопления соответствуют мелководному озеру и прибрежным озерным фациям. В позднем-среднем голоцене оз. Таймыр принимает конфигурацию близкую к современной, осадконакопление происходило в прибрежных мелководных условиях на начальных этапах до относительно глубоководных.

Заключение

В этой работе впервые проведен диатомовый анализ толщи отложений одного из крупнейших арктических озер - оз. Таймыр, характеризующей его историю осадконакопления начиная с позднеледниковья. Он показывает, что оз. Таймыр имеет сложную историю развития и осадконакопления. Выделенные этапы обладают высокой степенью достоверности, подтвержденные различными анализами. Результаты исследования включены в итоговую обобщающую работу российско-германского проекта "ПЛЮТ-Палеолимнологический трансект" и опубликованы в Journal of Quaternary Science (Groming et al, 2021).

В заключении хотелось бы поблагодарить всех участников и организаторов российско-германской экспедиции на оз. Таймыр в рамках проекта "ПЛЮТ", без усилий которых данная работа была бы невозможной.

Особую благодарность автор выражает Григорию Борисовичу Федорову и Зинаиде Викторовне Пушиной за курирование и руководство данной работы.

Список литературы

1. Антропоген Таймыра. М.: Наука, 1982, 184 с.
2. Атлас Арктики. М., 1985. 205 с.
3. Большаинов Д.Ю. Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды. СПб.: ААНИИ, 2006. – 296 с.
4. Волкова В. С., Бабушкин А.Е. Унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины // СНИИГГиМС – Новосибирск – 2000. – 64 с.
5. Воскресенский С.С., Леонтьев О.К., Спиридонов А.И., Лукьянова С.А., Ульянова Н.С., Ананьев Г.С., Андреева Т.С., Варущенко С.И., Спасская И.И. Геоморфологическое районирование СССР. М.: Высшая школа, 1980. - 343 с.
6. География озер Таймыра. – Л.: Наука, 1985. – 222 с.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 Лист S-47 (оз. Таймыр) объяснительная записка. Комитет по геологии и использованию недр Российской Федерации. Талнах, 2015, 92с.
8. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л: Наука. Ленингр. отделение 1974. - Т. 1. — 403 с.
9. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л: Наука. Ленингр. отделение 1988. - Т. 11. – вып. 1— 116 с.
10. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). СПб: Наука. 1992. - Т. 11. – вып. 2— 125 с.
11. Зимичев В.П., Панасенкова О.И. Оценка гидрологических характеристик слабоизученных водосборных бассейнов полуострова Таймыр //Тез. докл. Итоговой сессии Уч. Совета ААНИИ по результатам работ 1996-1998 г.г. СПб: ААНИИ, 1999, с. 74-76.
12. Куликовский М.С., Глущенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. Российская академия наук, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. Ярославль, 2017, 803 с.
13. Лосева Э. И. Прекрасные невидимки. УрО РАН. Екатеринбург, 2002, 145 с.
14. Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д. Изменения уровня Онежского озера в поздне-последлединиковое время по данным изучения разреза озерно-болотных отложений острова Большого Клименецкого // Труды КарНЦ РАН. – 2018. – № 9. Сер. Лимнология. Океанология. – 103-114.
15. Матвеева Н. В. Зональность в растительном покрове Арктики. СПб, 1998. 219 с.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР, Т. 16, Ангаро-Енисейский район, выпуск 1, Енисей, Л.: Гидрометеиздат, 1973, 722 с.
17. Шилова О. С. Голоценовые диатомеи болот Кольского полуострова и северо-востока Карелии. Московский государственный университет. Москва, 2011, 178 с.

18. Федоров Г.Б. Эволюция озерных геосистем полуострова Таймыр (Российская Арктика) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, СПб, 2003.
19. Alexanderson H., Hjort C., Möller P., Antonov O., Pavlov M. The North Taymyr ice-marginal zone, Arctic Siberia - a preliminary overview and dating. Swedish Polar Research Secretariat. 2001, p. 427-445.
20. Astakhov, V.I. Pleistocene glaciations of northern Russia – a modern view. В: Boreas. 2013; Том 42. стр. 1-24
21. Cremer H. Diatoms in the Laptev Sea (Arctic Ocean): Taxonomy and biogeographic distribution. Ber. Polarforsch. 260 (1998)
22. Duf K. E, Laing T. E. Limnological characteristics of lakes located across arctic treeline in northern Russia. Hydrobiologia 391: 205–222, 1999
23. Fedorov, G., Savelieva, L., Kostromina N. Late Pleistocene and Holocene paleohydrology and environmental history as inferred from Lake Taymyr terraces studies (Taymyr peninsula, Russian arctic)(2018) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 18 (1.5), pp. 331-336.
24. Gibson C. E., Anderson N. J. & Haworth E. Y. Aulacoseirasubarctica: taxonomy, physiology, ecology and palaeoecology, European Journal of Phycology, 2003, 38:2, 83-101,
25. Groming R., Lebas E., Savelieva L., Pushina Z., Fedorov G., Brill D., Lenz M. M., Krastel S., Wagner B., Kostromina N., Mustafin M. and Melles M. Sedimentation history of Lake Taymyr, Central Russian Arctic, since the Last Glacial Maximum. Journal of Quaternary Science, 2021 1-17.
26. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae //Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. -1986. – Band 2 /1. – P.
27. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 2 Teil: Naviculaceae //Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. - 1988– Band 2 /2. – P.
28. Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae //Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. - 1988– Band 3 /4. – 576 P.
29. Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae //Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. - 1988– Band 2 /2. – 596 P.
30. Laing, T.E. and J.P. Smol. Late Holocene environmental changes inferred from diatoms in a lake on the western Taimyr Peninsula, northern Russia. Journal of Paleolimnology. 2003, 231-247.
31. Moller P., Alexanderson H., Funder S., Hjort C. The Taimyr Peninsula and the Severnaya Zemlya archipelago, Arctic Russia: a synthesis of glacial history and palaeo-environmental change during the Last Glacial cycle (MIS 5e-2). Quaternary Science Reviews, 107, 2015, 149–181.
32. Moller P., Benediktsson I. O., Anjar J., Bennike O., Bernhardson M., Funder S., Hakansson L. M., Lemdahl G., Licciardi J. M., Murray Andrew S., Seidenkrantz Marit-Solveig. / Glacial history and palaeo-environmental change of southern Taimyr Peninsula, Arctic Russia, during the Middle and Late Pleistocene. I: Earth-Science Reviews. 2019 ; Bind 196.

33. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms. Biology and morphology of the genera. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 747 P.
34. Tamsin E. Laing, Reinhard Pienitz and John P. Smol. Freshwater diatom assemblages from 23 lakes located near Norilsk, Siberia: a comparison with assemblages from other circumpolar treeline regions. *Diatom Research*, 1999, 285-305
35. 116. Zimitchev V. Hydrological observations at the Upper Taymyra and Logata rivers – Reports on Polar Research. 1996, № 96, p.p. 96-108.
36. California academy of sciences diatom collection (Electronic resource). – Columbia, 2007. Mode of access: <http://researcharchive.cal.academy.org/research/diatoms/index.htm#collection>. – Date of access: 16.02.2022.
37. Canadian Diatom Database. On the web at Geological Survey of Canada (Electronic resource). - Mode of access: http://gsc.nrcan.gc.ca/paleo/diatoms/index_e.php. – Canada, 2008. -Date of access: 16.02.2022
38. Diatoms and other Algae: The ANSP Algae Image Database (Electronic resource). – Mode of access: <http://diatom.acnatsci.org/algaeimage/>. – Philadelphia, 1998. -Date of access: 15.02.2022
39. European Diatom Database. On the web at Newcastle University (Electronic resource). – Newcastle, 2010. -Mode of access: <http://craticuls.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/index.jsp>. –Date of access: 18.02.2022

Приложение 1 Экологические характеристики диатомовых водорослей из донных отложений оз. Таймыр.

Экологические группы:

- приуроченность к местообитанию: п - планктон, б - бентос;
- галобность: олиг - олигогалоб, инд – олигогалоб-индифферент;
- по рН: ац. – ацидифил, инд. – индифферент (нейтрофил), алк. – алькалифил;
- геогр. приуроченность: к - космополит, б - бореальный, а – арктический-альпийский.

№	Вид	Экологические группы			
		приуроченность к местообитанию (1)	Галобность (2)	отношение к рН (3)	геогр. приуроченность (4)
1	<i>Achnanthes coaricata</i>	б	инд		
2	<i>Amphora ovalis</i>	б	инд	алк	к
3	<i>Asterionella formosa</i>	п	инд	алк	к
4	<i>Aulacoseira distans</i>	п	инд		к
5	<i>Aulacoseira islandica</i>	п	инд	инд	к
6	<i>Aulacoseira subarctica</i>	п	инд	инд	а
7	<i>Boreozonacola hustedtii</i>	б	инд	инд	а
8	<i>Caloneis silicula</i>	б	инд	инд	к
9	<i>Cavinula cocconeiformis</i>	б	инд	инд	а
10	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	п	инд	алк	к
11	<i>Cyclotella schumannii</i>	п	олиг	инд	к
12	<i>Cymatopleura solea</i>	б	инд	алк	к
13	<i>Cymbella arctica</i>	б	инд	алк	к
14	<i>Cymbella neocistula</i>	б	инд	алк	к
15	<i>Cymbella sinuata</i>	б	инд	инд	к
16	<i>Cymbella subarctica</i>	б	инд	инд	а
17	<i>Cymbella tumida</i>	б	инд	алк	б
18	<i>Cymbopleura apiculata</i>	б	инд		а
19	<i>Cymbopleura cuspidata</i>	б	инд	инд	к
20	<i>Cymbopleura tynnii</i>	б	олиг		а
21	<i>Diatoma mesodon</i>	б	олиг	алк	к
22	<i>Diatoma rostratum</i>	б	инд	ацид	а
23	<i>Diatoma tenuis</i>	б	олиг	инд	к
24	<i>Didymosphenia geminata</i>	б	инд	инд	а
25	<i>Diploneis elliptica</i>	б	инд	алк	к
26	<i>Diploneis ovalis</i>	б	инд	алк	б
27	<i>Diploneis parva</i>	б	инд		а
28	<i>Diploneis stroemii</i>	б			
29	<i>Encyonema caespitosum</i>	б	олиг	алк	к

№	Вид	1	2	3	4
30	<i>Encyonema hilliardii</i>	б	инд		а
31	<i>Encyonema latens</i>	б	инд	инд	к
32	<i>Encyonema lunatum</i>	б	инд	инд	а
33	<i>Encyonema minutum</i>	б	инд	инд	к
34	<i>Encyonema obscurum</i>	б	инд	инд	а
35	<i>Encyonema prostratum</i>	б	инд	инд	к
36	<i>Encyonema silesiacum</i>	б	инд	инд	к
37	<i>Eunotia faba</i>	б	инд	ацид	к
38	<i>Eunotia monodon</i>	б	олиг	ацид	к
39	<i>Eunotia praerupta</i>	б	олиг	ацид	а
40	<i>Eunotia sarek</i>	б	инд	ацид	а
41	<i>Eunotia scandiorussica</i>	б	олиг	ацид	а
42	<i>Eunotia triodon</i>	б	олиг	ацид	а
43	<i>Gomphonema parvulum</i>	б	инд	инд	к
44	<i>Gomphonema pseudoacuminatum</i>	б	инд	инд	к
45	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	б	инд	алк	к
46	<i>Handmania comta</i>	п	олиг	алк	к
47	<i>Hannaea arcus</i>	б	инд	алк	а
48	<i>Hantzschia amphioxys</i>	б	инд	инд	к
49	<i>Hippodonta sp.</i>	б	олиг	алк	к
50	<i>Navicula cryptocephala</i>	б	инд	алк	к
51	<i>Navicula gastrum</i>	б			
52	<i>Navicula praeterita</i>	б	инд	инд	к
53	<i>Navicula reinhardtii</i>	б	инд	алк	к
54	<i>Navicula salinarum</i>	б			к
55	<i>Navicula trivialis</i>	б			к
56	<i>Navicula upsaliens</i>	б			а
57	<i>Navicula vulpina</i>	б	инд	алк	б
58	<i>Neidium ampliatum</i>	б	олиг	инд	к
59	<i>Neidium bisulcatum</i>	б	олиг	инд	б
60	<i>Neidium dubium</i>	б	инд	алк	к
61	<i>Neidium pseudodensestriatum</i>	б	инд	инд	к
62	<i>Nitzschia palea</i>	б	инд	инд	к
63	<i>Nitzschia pura</i>	б	инд	алк	к
64	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	б	инд	алк	к
65	<i>Pinnularia borealis</i>	б	инд	инд	к
66	<i>Pinnularia brebissonii</i>	б	инд		к
67	<i>Pinnularia divergens</i>	б	инд	инд	а
68	<i>Pinnularia ilkaschoenfelderae</i>	б			
69	<i>Pinnularia jungii</i>	б	инд	инд	а

№	Вид	1	2	3	4
70	<i>Pinnularia microstauron</i>	б	инд	инд	к
71	<i>Pinnularia semicrucata</i>	б	инд	инд	а
72	<i>Pinnularia spitsbergensis</i>	б	инд	инд	а
73	<i>Pinnularia subrostrata</i>	б	инд	инд	а
74	<i>Pinnularia viridiformis</i>	б	инд	инд	к
75	<i>Placoneis amphibola</i>	б	инд	инд	а
76	<i>Placoneis clementis</i>	б	инд	инд	к
77	<i>Placoneis constans</i>	б	инд	инд	к
78	<i>Placoneis gastrum</i>	б	инд	алк	к
79	<i>Placoneis lucinensis</i>	б	инд	инд	а
80	<i>Planothidium lanceolatum</i>	б	инд	алк	к
81	<i>Psammothidium obliquum</i>	б			а
82	<i>Sellaphora bacillum</i>	б	инд	алк	к
83	<i>Sellaphora laevissima</i>	б	инд	инд	к
84	<i>Sellaphora pseudopupula</i>	б	олиг		к
85	<i>Skabitschewskia oestrupii</i>	б	инд	алк	б
86	<i>Stauroneis anceps</i>	б	инд	инд	к
87	<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	б	инд	инд	к
88	<i>Stauroneis siberica</i>	б	инд	алк	к
89	<i>Staurosirella pinnata</i>	б	инд	инд	к
90	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	п	инд	алк	к
91	<i>Stephanodiscus minutulus</i>	п	инд	алк	к
92	<i>Stephanodiscus rotula</i>	п	инд	алк	к
93	<i>Surirella angusta</i>	б	инд	алк	к
94	<i>Surirella bifrons</i>	б			б
95	<i>Surirella elegans</i>	б	инд	алк	к
96	<i>Surirella pinnigera</i>	б			
97	<i>Tabellaria fenestrata</i>	п-б	олиг	инд	к
98	<i>Tabellaria flocculosa</i>	б	олиг	ацид	а
99	<i>Tetracyclus emarginatus</i>	б	инд	ацид	а
100	<i>Ulnaria ulna</i>	б	инд	алк	к

Приложение 2 Фототаблицы диатомовых водорослей.

Фототаблица I

1-2 – *Cyclotella schumannii* (Grunow) Hakansson, 3 – *Pantocsekiella ocellata* Kiss and Acs, 4-6 – *Stephanodiscus hantzschii* Grunow in Cleve and Grunow, 7 – *Stephanocostis chantaicus* Genkal et Kuzmina.

Фототаблица II

1-11 – *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen, 12-15 – *Aulacoseira subarctica* (Müller) Haworth.

Фототаблица III

1-2 – *Asterionella formosa* Hassall, 3 – *Hannaea arcus* (Ehrenberg) Patric, 4 – *Fragilaria* sp., 5-7 *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, 8 – *Stauroneis anceps* Ehrenberg, 9-10 – *Psammothidium obliquum* Potapova, 11 – *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing, 12-14 – *Eunotia praerupta* (Ehrenberg) Grunow.

Фототаблица IV

1 – *Diploneis* sp. *burgitensis* Cleve-Euler, 2-4 – *Diploneis ovalis* (Hilse) Cleve, 5 – *Sellaphora bacillum* (Ehrenberg) D.G. Mann, 6 – *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing, 7 – *Navicula salinarum* Grunow, 8-11 – *Navicula cryptocephala* Kützing, 12-13 *Navicula reinhardtii* Edlund, M. B. and Soninkhishig.

Фототаблица V

1 – *Navicula vulpina* Kützing, 2-4 – *Cymbella cistula* Krammer, 5 – *Pinnularia microstauron* (Ehrenberg) Cleve, 6 – *Pinnularia borealis* Ehrenberg, 7 – *Neidium ampliatum* (Ehrenberg) Krammer.

Фототаблица VI

1-2 – *Cymbopleura apiculata* Krammer, 3 – *Cymbopleura cuspidata* (Kützing) Krammer. 4 – *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing, 5-6 – *Caloneis bacillum* (Grunow) Cleve, 7-8 – *Encyonema minutum* (Hilse) Mann, 9 – *Placoneis gastrum* (Ehrenb) Mereschkowsky, 10 – *Placoneis constans* (Hustedt) Cox, 11 – *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt, 12 – *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow, 13 – *Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) Smith, 14 – *Nitzschia pura* Hustedt, 15 – *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst,

Фототаблица VII

1 – *Cymatopleura solea* (Brebisson) Smith, 2 – *Surirella bifrons* Jenner, 3 – *Surirella elegans* Ehrenberg, 4-5 – *Skabitschewskia peragalli* (Brun and Héribaud) Kulikovskiy and Lange- Bertalot in c, Lange- Bertalot and Kuznetsova, 6 – *Hippodonta* sp.

Таблица I

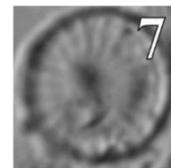
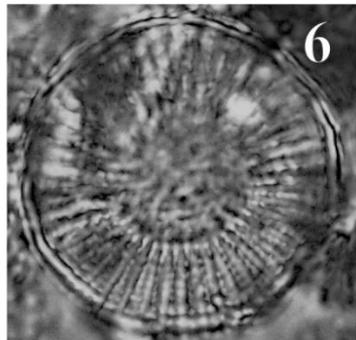
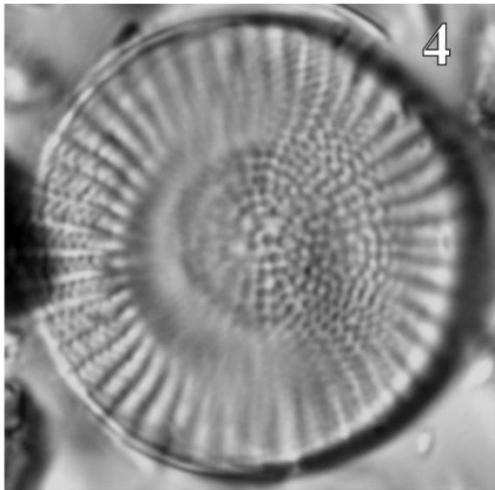
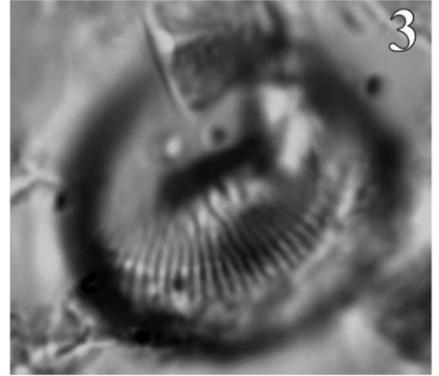
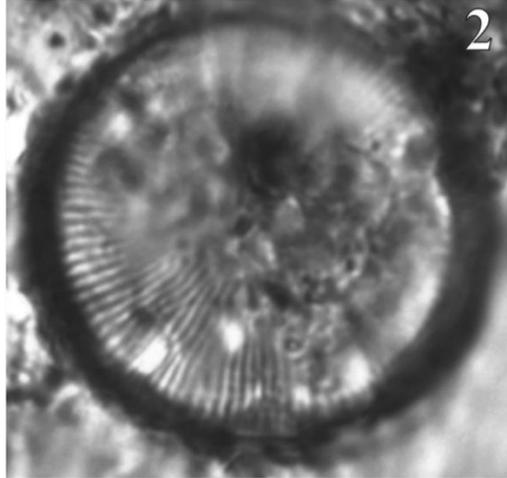
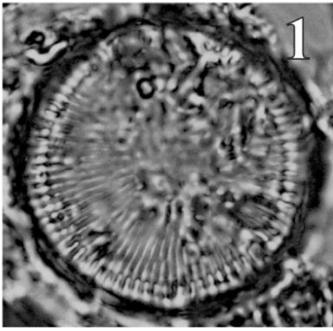


Таблица II

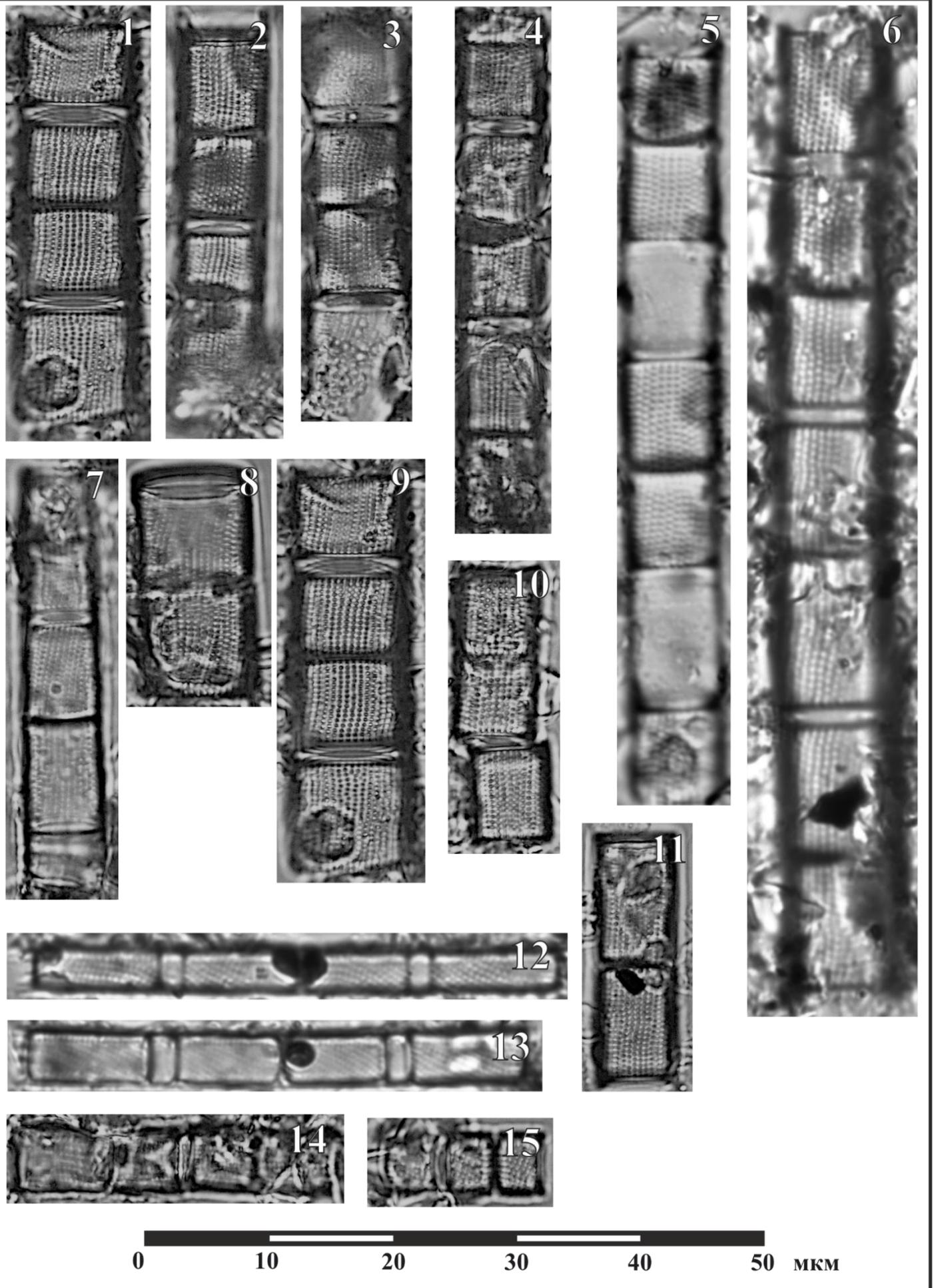


Таблица III

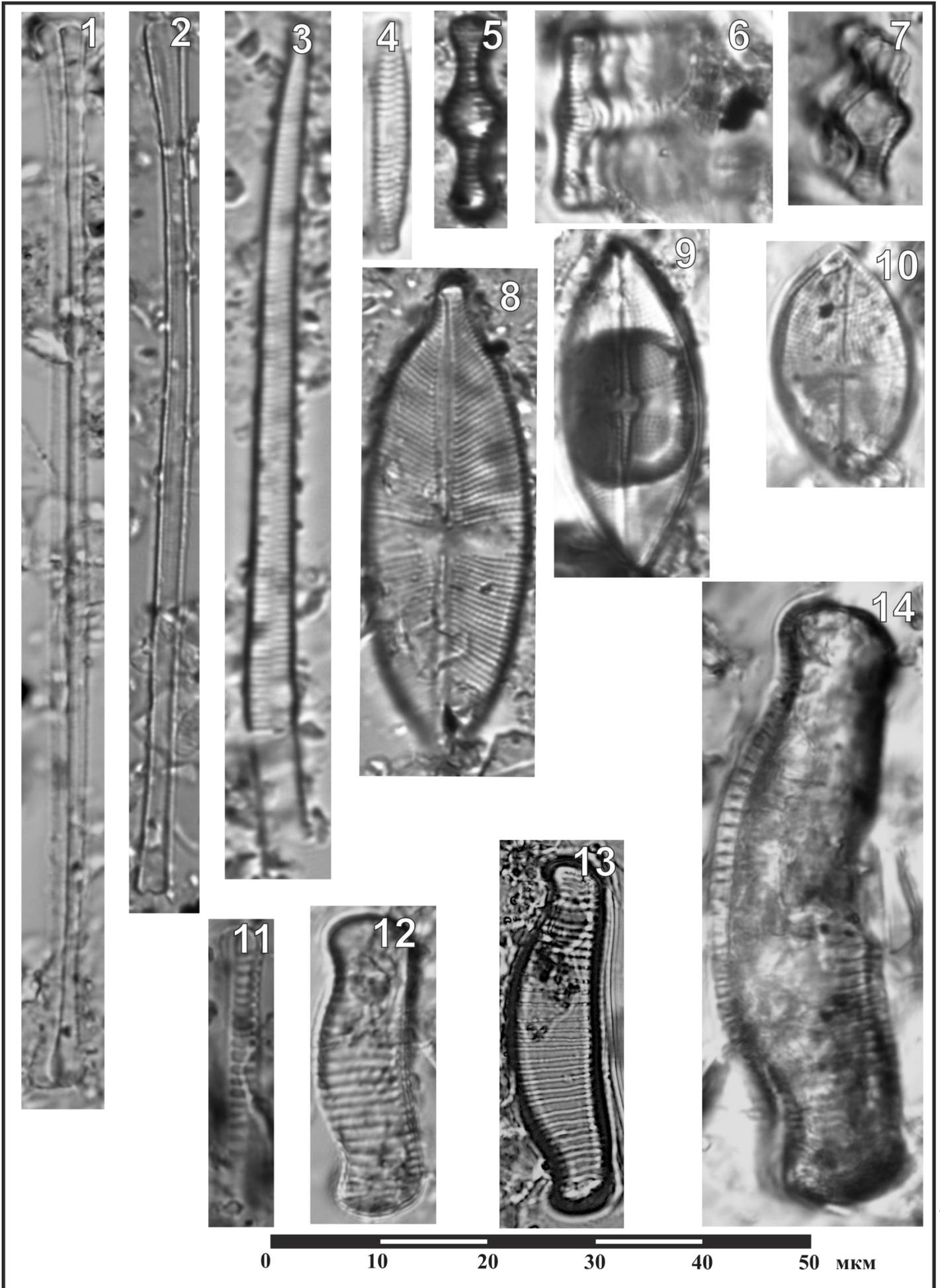
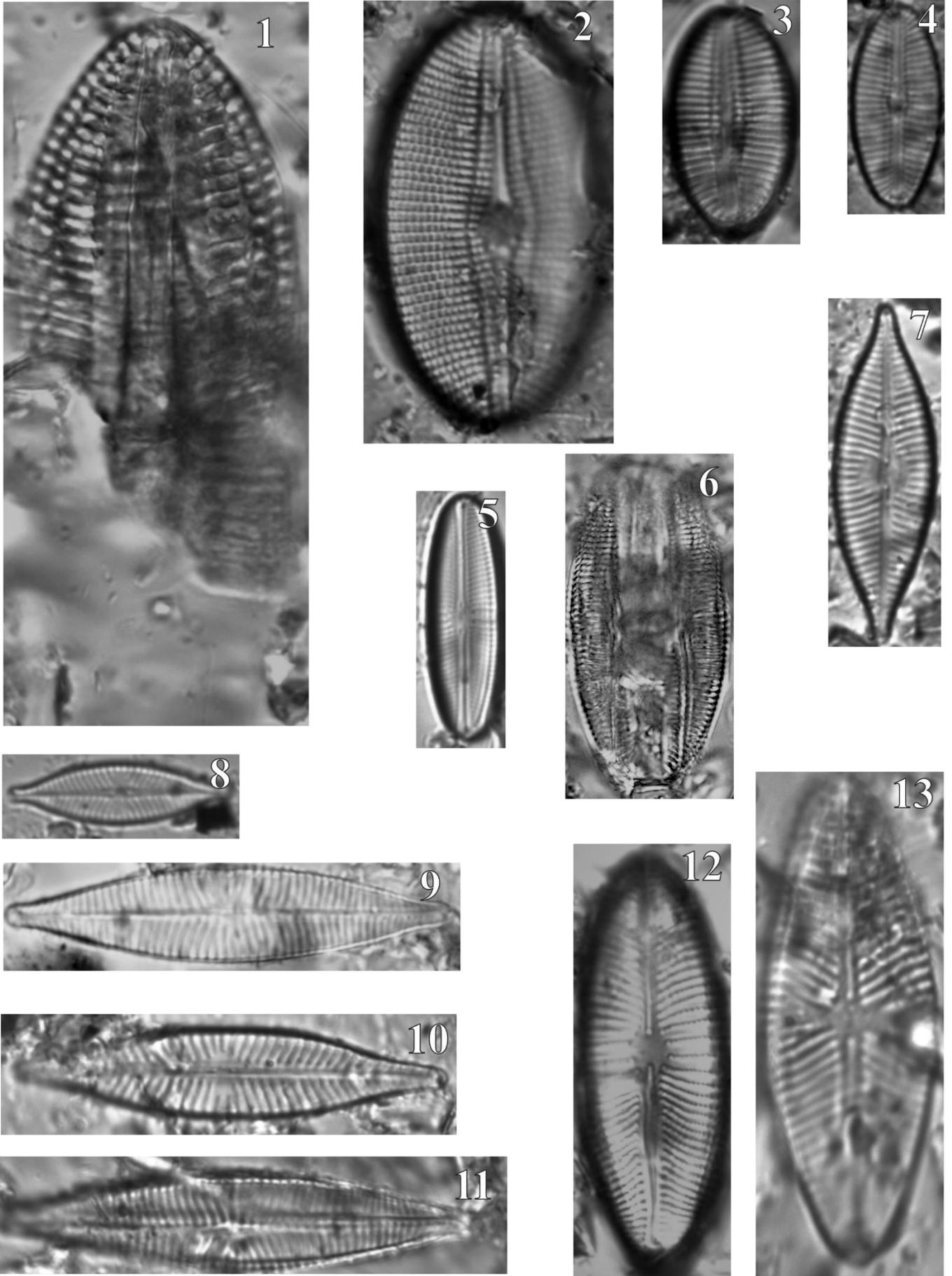


Таблица IV



0 10 20 30 40 50 МКМ

Таблица V

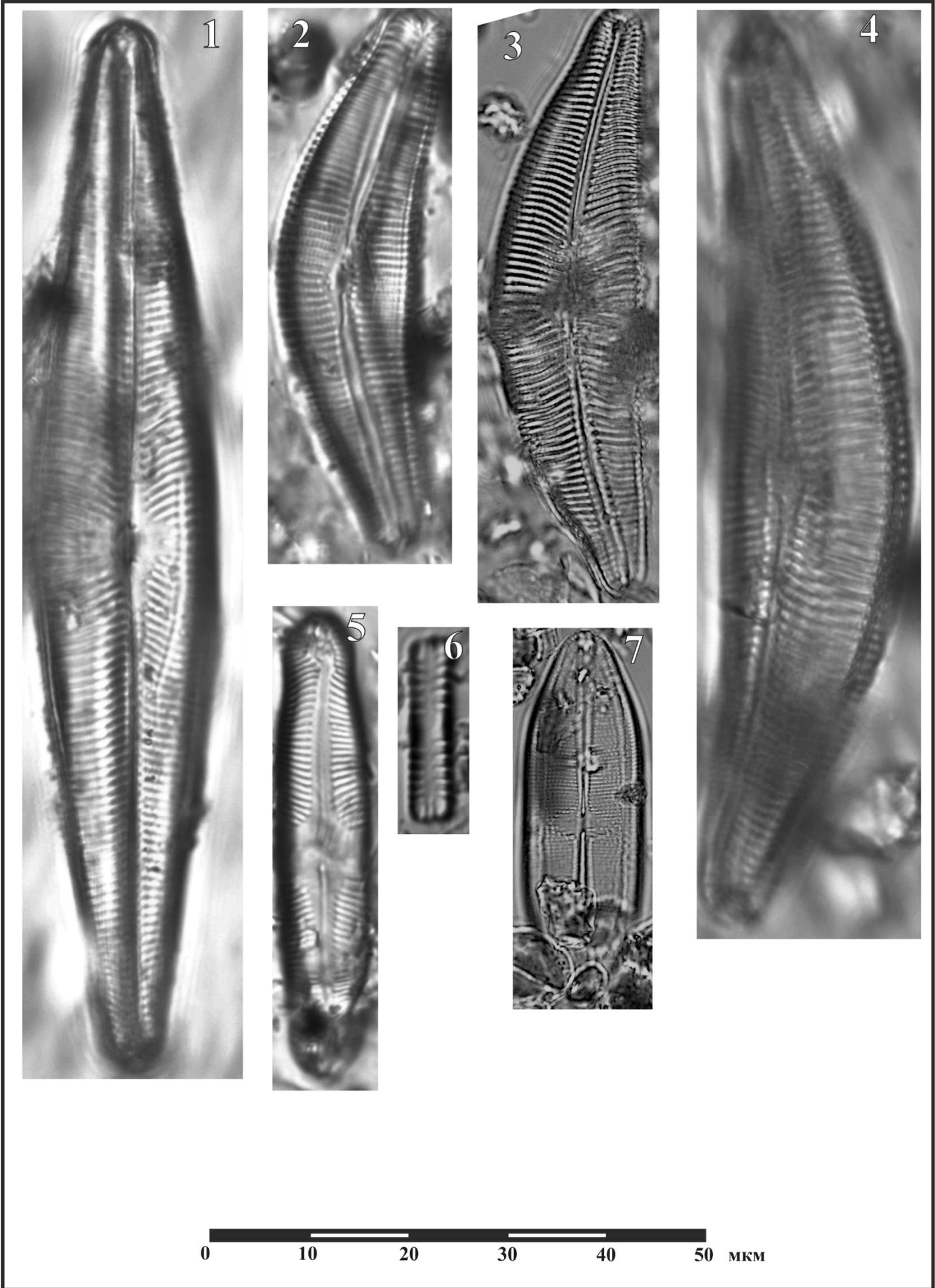


Таблица VI

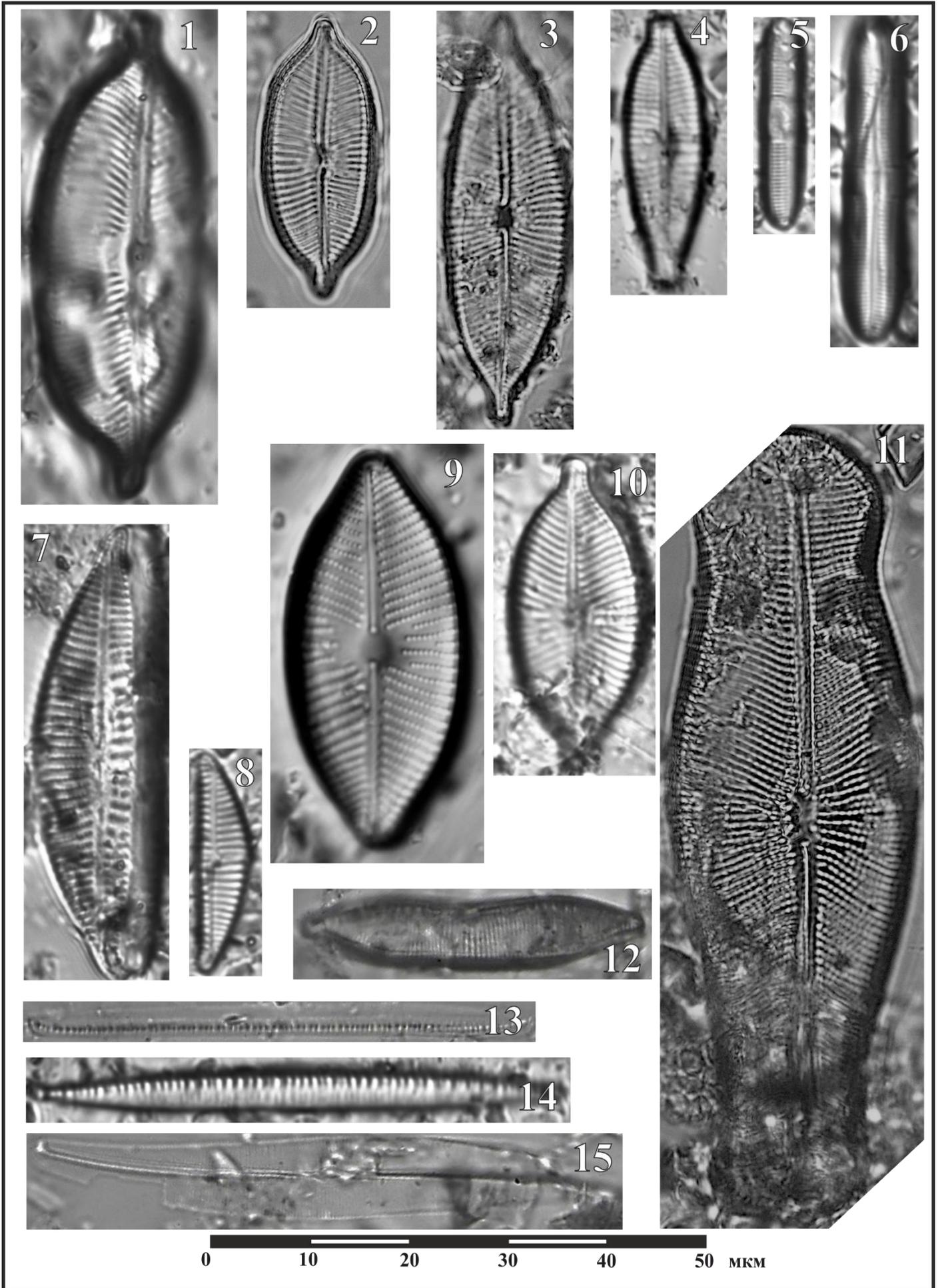
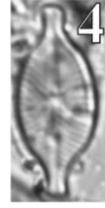
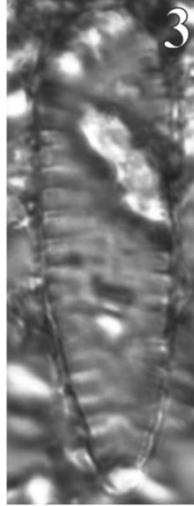
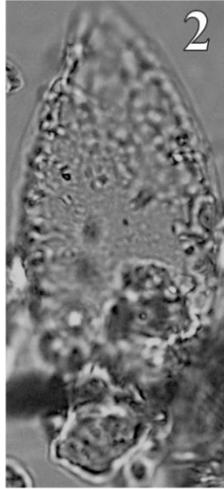
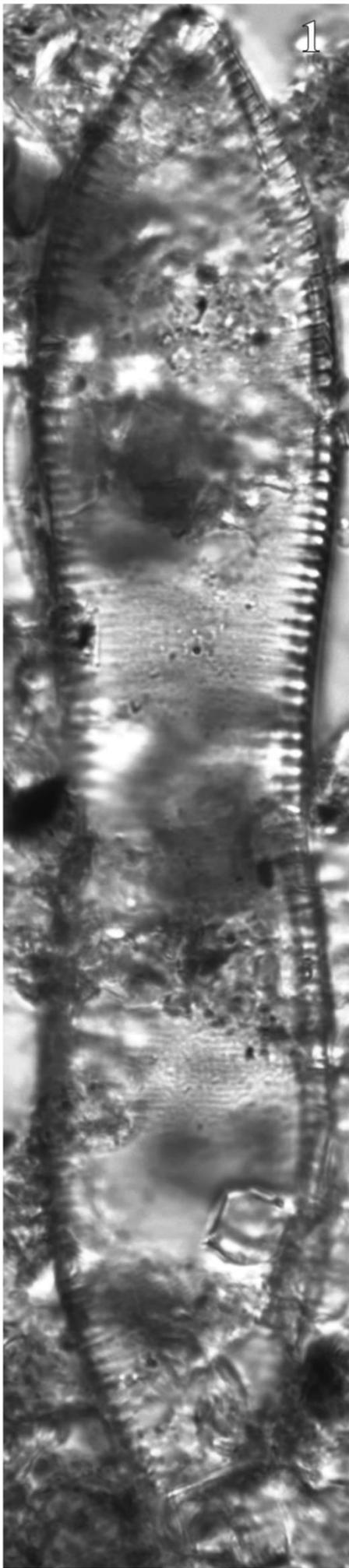


Таблица VII



0 10 20 30 40 50 МКМ