

# Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики

современное  
состояние  
и история  
развития

Ответственные редакторы:  
д-р геол.-минерал. наук Х. Кассенс,  
академик РАН А.П. Лисицын,  
академик РАН Й. Тиде,  
д-р геогр. наук Е.И. Полякова,  
д-р физ.-мат. наук Л.А.Тимохов,  
д-р геогр. наук И.Е. Фролов



---

Издательство  
Московского университета  
2009

<b>Предисловие</b> .....	9
<b>Введение</b> .....	11
0.1. Система моря Лаптевых, успехи 15-летних российско-германских исследований (И. Тиде, А.П. Лисицын, Х. Кассенс) .....	11
0.2. Российско-германское сотрудничество в сфере образования: магистерская программа «Прикладные полярные и морские исследования» (ПОМОР) (Н.М. Кахро, Х. Кассенс, В.Н. Троян, Н.В. Каледин, В.В. Дмитриев) .....	26
0.3. Российско-германская Лаборатория морских и полярных исследований им. О.Ю. Шмидта: 10 лет научной деятельности (Х. Кассенс, Л.А. Тимохов, С.М. Прямыков, И. Тиде, И.В. Федорова, И.Е. Фролов, Й. Хёлеманн) .....	31
0.4. Синтез результатов российско-германских исследований моря Лаптевых и прилегающей Сибирской Арктики (Л.А. Тимохов, Х. Кассенс, Д.Ю. Большианов, И.А. Дмитренко, С.М. Прямыков, И. Тиде, И.Е. Фролов, Й. Хёлеманн, Х.-В. Хуббертен) .....	36
<b>Глава 1. Процессы современной седиментации в арктических морях</b> .....	71
1.1. Биофильтры Северного Ледовитого океана и осадочный процесс (А.П. Лисицын) .....	71
1.2. Изотопная геохимия органического вещества и проблема радиоактивности Карского моря (Л.А. Кодина, О.В. Степанец, Э.М. Галимов) .....	122
1.3. Органическое вещество донных отложений восточной части Евразийской Арктики – распределение, генезис, источники (В.И. Петрова, Г.И. Батова, А.В. Куршева, И.В. Литвиненко) .....	137
1.4. Атмосферные аэрозоли как источник осадочного вещества и загрязнений в Северном Ледовитом океане (В.П. Шевченко, А.А. Виноградова, А.П. Лисицын, А.Н. Новигатский, Н.В. Горюнова) .....	150
<b>Глава 2. Современные гидрологические, ледовые и гидробиологические процессы</b> .....	173
2.1. Климатическая изменчивость термохалинной структуры вод морей сибирского шельфа и ее причины (С.А. Кириллов, М.С. Махотин, И.А. Дмитренко) .....	173
2.2. Сезонная и многолетняя изменчивость характеристик ледового режима морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (В.П. Карклин, И.Д. Карелин) .....	187
2.3. Микроэлементы в воде, взвеси и донных осадках Обской губы, Енисейского залива и дельты Лены и прилегающих областей Карского моря и моря Лаптевых (В.В. Гордеев) .....	202
2.4. Распределение пресных вод и процессы опреснения на шельфах арктических морей по результатам изучения стабильных изотопов кислорода воды (Д. Баух, Х. Эрленкойзер, Н. Андерсен, Е.Е. Талденкова) .....	225
2.5. Водно- и седиментационно-балансовые исследования озера Эльгыгытгын, Чукотка (Г.Б. Федоров, Д.Ю. Большианов, Г. Швамборн).....	237
2.6. Планктонные сообщества евразийского сектора Арктического бассейна: видовая структура и количественное распределение зоопланктона в середине 1990-х гг. (К.Н. Кособокова) .....	245
2.7. Организация зоопланктонных сообществ полигональных озер южной части дельты р. Лены (И.И. Вишнякова, Е.Н. Абрамова) .....	265
2.8. Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены (И.В. Федорова, Д.Ю. Большианов, А.С. Макаров, М.В. Третьяков, А.А. Четверова) .....	278

<b>Глава 3. История формирования многолетнемерзлых пород</b> .....	292
3.1. Эволюция и современное состояние мерзлых толщ и зоны стабильности гидратов газов в рифтах шельфа Восточной Арктики ( <i>Н.Н. Романовский, А.А. Елисеева, А.В. Гаврилов, Г.С. Типенко, Х.-В. Хуббертен</i> ) .....	292
3.2. Отложения ледового комплекса – архив данных для реконструкции климата и экологии на побережье моря Лаптевых в позднем плейстоцене ( <i>К. Зигерт, В.В. Куницкий, Л. Ширмейстер</i> ) .....	320
3.3. Распространение и особенности залегания субаквальной криолитозоны в районе банок Семеновская и Васильевская (море Лаптевых) по данным сейсмоакустического профилирования ( <i>П.В. Рекант, В.Е. Тумской, Е.А. Гусев, Т. Швенк, Ф. Шнисс, Г.А. Черкашев, Х. Кассенс</i> ) .....	332
3.4. Колебания уровня моря и формирование ледового комплекса пород на побережье моря Лаптевых в позднем плейстоцене ( <i>Д.Ю. Большаинов, М.Н. Григорьев, В. Шнайдер, А.С. Макаров, Е.А. Гусев</i> ) .....	349
3.5. Четвертичные отложения, подземные льды и динамика берегов Западного Таймыра ( <i>И.Д. Стрелецкая, А.А. Васильев, Е.А. Гусев, М.З. Каневский, М.А. Медведева, Б.Г. Ванштейн, Г.А. Черкашев, Д.Ю. Большаинов</i> ) .....	357
<b>Глава 4. История развития палеосреды морей и прилегающей суши</b> .....	373
4.1. Процессы природных трансформаций на североевразийском шельфе со времени последнего оледенения ( <i>Х.А. Баух, Х. Кассенс, Й. Тиде</i> ) .....	373
4.2. Изменения палеосреды шельфов морей Лаптевых и Карского в ходе послеледниковой трансгрессии (по ископаемым остракодам и фораминиферам) ( <i>Е.Е. Талденкова, Х.А. Баух, А.Ю. Степанова, И.А. Погодина, Я.С. Овселян, Й. Зимстих</i> ) .....	384
4.3. Постгляциальные изменения речного стока и седиментационных обстановок в южной части Карского моря ( <i>Р. Штайн, К. Фаль, Е.И. Полякова, К. Диттмерс</i> ) .....	410
4.4. Диатомеи сибирских морей Арктики как индикаторы постгляциальных изменений речного стока, ледово-гидрологического режима и седиментационных обстановок на шельфе ( <i>Е.И. Полякова, Х. Кассенс, Р. Штайн, Х. Баух</i> ) .....	427
4.5. Водные палиноморфы в осадках арктических морей Евразии и их значение для палеоокеанологических реконструкций позднего плейстоцена и голоцена (на примере морей Белое и Лаптевых) ( <i>Т.С. Ключиткина, Е.А. Новичкова, Е.И. Полякова, Й. Маттиессен</i> ) .....	448
4.6. Динамика тепловодной адвекции в высокие широты Северной Атлантики во время наиболее теплых позднечетвертичных межледниковых эпох ( <i>Е.С. Кандиано, Х.А. Баух, А. Городинский</i> ) .....	466
4.7. Мамонты и история геологического изучения побережья моря Лаптевых и Новосибирских островов ( <i>Т.В. Кузнецова, И.А. Стародубцева</i> ) .....	481
4.8. Палеоклиматические данные озера Эльгыгытгын: результаты и перспективы исследований ( <i>П.С. Минюк, М. Меллес, Дж. Бригхам-Гретте</i> ) .....	501
<b>Заключение</b> .....	512
5.1. Современные и прошлые природные обстановки моря Лаптевых и прилегающих континентальных и океанических территорий: предварительные результаты 20 лет российско-германских исследований одного из самых высокоширотных районов планеты ( <i>Й. Тиде, Х. Кассенс, А.П. Лисицын, Е.И. Полякова, Л.А. Тимохов</i> ) .....	512
5.2. «AURORA BOREALIS» – новый европейский научно-исследовательский ледокол с возможностью бурения ( <i>Н. Бибоу, Л. Лембке-Йене, М. Куниц-Пиррунг, П. Эгертон, Й. Тиде</i> ) .....	519
5.3. Подготовка молодых специалистов ( <i>Л.В. Королева, Н.М. Кахро, Е.И. Полякова, С.А. Костыгов</i> ) .....	523
<b>Литература</b> .....	529
<b>Аннотации</b> .....	587
<b>Abstracts</b> .....	597

### **3.2. Отложения ледового комплекса — архив данных для реконструкции климата и экологии на побережье моря Лаптевых в позднем плейстоцене**

**К. Зигерт<sup>1</sup>, В.В. Куницкий<sup>2</sup>, Л. Ширмейстер<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (AWI), Потсдам, Германия. <sup>2</sup> Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН), Якутск, Россия

#### **Введение**

Территория побережья моря Лаптевых была не охвачена покровным оледенением в позднем плейстоцене (Svendsen et al., 2004; Hubberten et al., 2004). Удаленность от источников влаги и глубокая регрессия полярного бассейна обусловили здесь усиление суровости климата, привели к многолетнему промерзанию экспонированного шельфа (Фартышев, 1993; Романовский и др., 1997а), а также к формированию специфических мерзлотных ландшафтов и к широкому распространению осадочных толщ, насыщенных мощными повторно-жильными льдами. Эти полигенетические толщи называются, по П.А. Соловьеву (1959), ледовым комплексом (ЛК). Объем едомной свиты, выделенной в плейстоцене Якутии (Шер и др., 1987), близок, хотя и не тождественен объему отложений ЛК.

Отложения ЛК переходили в мерзлое состояние синхронно с их накоплением в субэкральной обстановке. Это обеспечило сохранность их криогенного строения, а также литологических и геохимических особенностей, отражающих ландшафтные условия времени аккумуляции ЛК (Катасонов, 1954). Отложения ЛК включают большое количество хорошо сохранившихся органических остатков. Их находки позволяют судить о климате и экологии мерзлотных ландшафтов позднего плейстоцена. Нами толщи ЛК изучались в рамках российско-германского научного проекта «Система моря Лаптевых». Главные задачи нашей работы сводились к следующему: 1) получить при помощи современных методов определения абсолютного возраста представление о геохронологическом развитии толщ ЛК; 2) восстановить путем изучения изотопно-геохимического состава ископаемого льда и различных биоиндикаторов палеогеографические условия времени формирования ЛК; 3) на основе данных полевых и лабораторных исследований выяснить генезис отложений ЛК. Творческая кооперация российских и немецких исследователей разного профиля — участников проекта позволила решить поставленные задачи с помощью широкого набора методов геокриологии, геохронологии, литологии, минералогии, геохимии и палеонтологии. При этом методы палеонтологии включали в себя спорово-пыльцевой анализ мерзлых пород, определение найденных в них семян и других макроостатков растений, исследование ископаемых костей млекопитающих, а также определение ископаемых насекомых, остракод и ризопод. Для характеристики современных и древних процессов рельефообразования в ареалах распространения ЛК были широко использованы методы дистанционных исследований с применением ГИС. Начиная с 1998 г. нам удалось изучить естественные разрезы ЛК (рис. 3.2.1, цв.) на 15 ключевых участках приморской равнины Якутии (рис. 3.2.2, цв.). Цель этой работы —

обобщить приведенные в научных журналах частные итоги нашего проекта и представить его главные результаты.

## Особенности распространения и геохронология отложений ЛК

Ключевые участки исследования отложений ЛК в прибрежно-шельфовой зоне Якутии отличаются по своей геоструктурной позиции. Это выражено в залегании ЛК на разных по составу четвертичных и более древних породах, а также отражается в возрастном диапазоне отложений ЛК. Западная и средняя части побережья моря Лаптевых относятся к мезозойскому складчатому поясу Евразийской плиты (Drachev et al., 1998). Как показывают дистанционные исследования (Grosse et al., 2005, 2006, 2007; Kunitsky et al., 2002), ареал ЛК здесь четко приурочен к предгорьям кряжей Прончищева и Чекановского и хр. Хараулах. Во всех разрезах этой территории ЛК перекрывает песчаные толщи, носящие черты перигляциального аллювия (Schirtmeister et al., 2003b; Куницкий, 2007). Полученные методом IR-OSL (стимулированная инфракрасным светом люминесценция) датировки показали возраст песчаных отложений между 100 и 50 тыс. лет назад (л.н.) (Krbetschek et al., 2002). По радиоуглеродным датам, полученным главным образом AMS-методом (радиоуглеродное датирование ускорительной масс-спектроскопией), накопление отложений ЛК на исследуемых участках охватывало разные интервалы времени (рис. 3.2.3). Так, по разрезам, изученным в районе мыса Мамонтов Клык, накопление отложений ЛК охватывало время между 27 и 14 тыс. л.н. Аналогичные отложения в западной части дельты Лены, по данным одного разреза, аккумуляровались между 50 и 33 тыс. л.н., по другому разрезу они в этом районе накопились между 50 и 17 тыс. л.н.

Из надводной части разреза Мамонтовый–Хайата, опробованной на Быковском п-ове, накопление отложений ЛК происходило в интервале радиоуглеродного времени между 55 и 13 тыс. л.н. Однако отложения ЛК в районе Быковского п-ова начались, вероятно, раньше 55 тыс. л.н., так как здесь, по данным бурения, подошва этих отложений находится на глубине 9 м ниже уровня моря (Куницкий, 1989; Слагода, 2004). Возрастная модель, основанная на более чем 70 радиоуглеродных датах, позволяет предполагать, что накопление толщ ЛК на исследуемой территории происходило непрерывно и началось не позже 70 тыс. л.н., когда в западной части дельты Лены и в районе мыса Мамонтов Клык еще аккумуляровался песчаный аллювий (рис. 3.2.3, б). Вероятно, тектоническая ситуация Быковского п-ова, определяющаяся его местом на краю Усть-Ленского рифта, способствовала непрерывному накоплению особенно мощной толщи ЛК.

Восточная часть побережья моря Лаптевых охватывает край Северо-Американской литосферной плиты и характеризуется тем, что ареалы ЛК на ней примыкают к куполовидным выходам гранитоидов и базальтов и к горстам мезозойской складчатой области. По данным разреза, расположенного на южном берегу о. Большого Ляховского, верхнеплейстоценовые отложения ЛК перекрывают две толщи: 1) толщу древнего торфа, сформировавшуюся около 200 тыс. л.н., содержащую сингенетические повторно-жильные льды (Schirtmeister et al., 2002a); 2) песчаную толщу, которую мы рассматриваем как перигляциальный аллювий. Полученные для песчаной толщи IR-OSL датировки свидетельствуют об ее накоплении от 100 до 60 тыс. л.н. Более позднее формирование отложений ЛК происходило здесь между 55 и 27 тыс. л.н. (рис. 3.2.3). Подобный возрастной интервал был оменован накоплением отложений ЛК, которые нами изучались по разрезам о. Новая

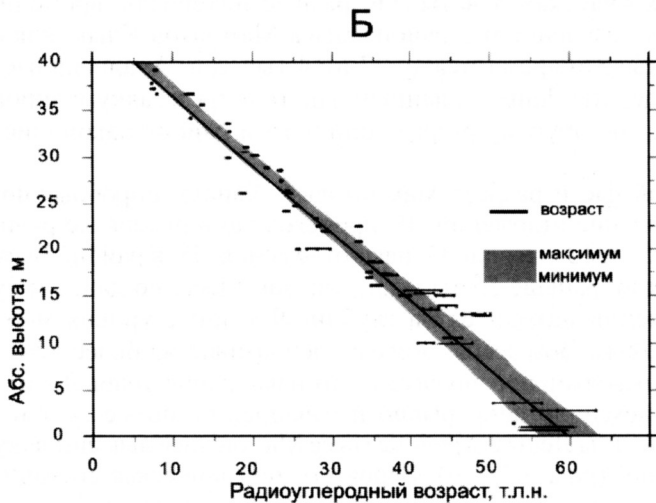
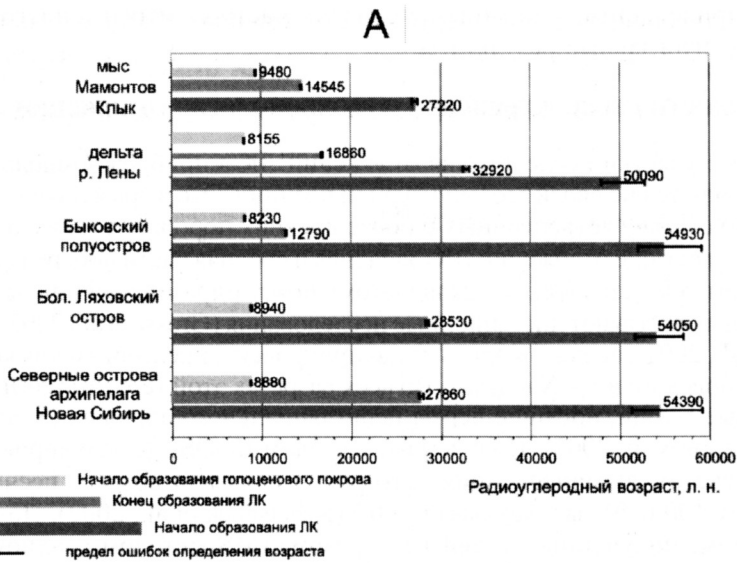


Рис. 3.2.3. А – геохронологический диапазон отложений ЛК по данным отдельных разрезов; Б – график изменения радиоуглеродного возраста отложений ЛК с высотой по разрезу Мамонтовый–Хаята Быковского полуострова (Schirrmeister et al., 2002b)

Сибирь и других островов архипелага Анжу (Schirrmeister et al., 2003a). Отсутствие отложений ЛК сартанского криохрона (МИС-2) на этих островах пока не удастся объяснить (Andreev et al., 2008). Возможно, это следует связывать с неотектоникой, которая в МИС-2 обеспечивала здесь иное, нежели в западных районах береговой зоны моря Лаптевых, проявление рельефообразующих процессов. Возможно, накопленные в МИС-2 отложения ЛК сохранились в водораздельной части о. Котельный и на его плакорах, разрезы которых нами не изучались. Вместе с тем мы не исключаем, что район архипелага Анжу был ареной развития многолетних фирновых полей (эмбриональных ледников), которые препятствовали здесь накоплению отложений ЛК в МИС-2. На это указывают находки ископае-

мых масс глетчерного льда в четвертичных отложениях о. Новая Сибирь (Анисимов, Тумской, 2003). Правда, накопление такого льда здесь, по палеонтологическим данным, относится к концу среднего неоплейстоцена (Басилян, Никольский, 2007) или к МИС-5. Таким образом, проблема развития эмбриональных ледников на территории о. Новая Сибирь в МИС-2 требует дальнейших исследований.

## Состав и строение отложений ЛК

**Криогенное строение ЛК** весьма сходно во всех изученных разрезах. Мощные ледяные жилы шириной 2–4 м и неодинаковой (10–40 м) протяженностью по вертикали чередуются с колоннами льдистых пород лёссовидного и супесчаного состава, включающими ледяные пояски (см. рис. 3.2.1). Вогнутые и почти горизонтальные сгущения мелких линз сегрегационного льда, толщиной 10 см и называемые поясками, часто сменяются прослоями мелкозема с сетчатыми и линзовидными криогенными текстурами в разрезе этих колонн. Весовая льдистость пород ЛК составляет 60–120%, а в торфянистых слоях она превышает 200%. Все это и другие признаки строения ЛК показывают, что эти осадки накапливались и промерзали в условиях криогенных ландшафтов с преимущественно влажным деятельным слоем.

**Содержание органического углерода.** Слои отложений ЛК, которые формировались в МИС-3, содержат ископаемые криотурбированные торфянистые почвы и отдельные торфяники. В разрезе Мамонтовый–Хаята такие почвы вскрыты между слоями-маркерами, из которых нижний накопился 45 тыс. л.н., а верхний слой – 28 тыс. л.н. Содержание органического углерода в этих почвах 10–20%. Ископаемые почвы, образованные в МИС-2, содержат меньше органического углерода (2–3%). Данные изотопного состава углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) указывают на более аэрированные почвы в этот период и более интенсивное разложение органики (Schirmeister et al., 2002b). Увеличение содержания углерода, связанное с накоплением торфа, отмечается опять в период перехода от МИС-2 к голоцену – около 12 тыс. л.н. Древние отложения ЛК с возрастом более 50 тыс. л.н., изученные в разрезе Мамонтовый–Хаята, отличаются низким содержанием органического углерода.

**Гранулометрический состав.** Типичные кривые распределения гранулометрического состава отложений ЛК по некоторым разрезам представлены на рис. 3.2.4, цв. Как показано, эти отложения имеют свою специфику в каждом разрезе, причем большинство из них характеризуется растянутыми полимодальными кривыми распределения и слабой сортировкой кластического материала. Особенно выделяются по составу отложения ЛК в разрезе Быковского п-ова и разрезе о. Курунгнах (см. рис. 3.2.2). Наряду со слабой сортировкой они отличаются высоким содержанием песчаного материала. В разрезе Мамонтовый–Хаята отмечается увеличение содержания песчаных фракций вверх по разрезу (Siegert et al., 2002; Слагода, 2004), что, вероятно, обусловлено молодыми восходящими движениями хр. Хараулах, установленными в возрастном диапазоне поздний плейстоцен–голоцен (Имаева и др., 2007). Сходный гранулометрический состав имеют отложения ЛК в разрезе о. Харданг, где они содержат прослои хорошо сортированных мелких песков. Их присутствие здесь может свидетельствовать об участии ветрового переноса песка в накоплении ЛК. Более однородный состав и лучшую сортировку имеют отложения ЛК, вскрытые в разрезе Мамонтов Клык (Schirmeister et al., 2008a). Во многих слоях этой толщи доминируют осадки с высокой долей частиц лёссовой фракции (0,01–0,063 мм).

Лёссовидный состав при малом содержании песчаных частиц характеризует отложения ЛК в разрезе Ойогос Яра и разрезах южного берега о. Большого Ляховского.

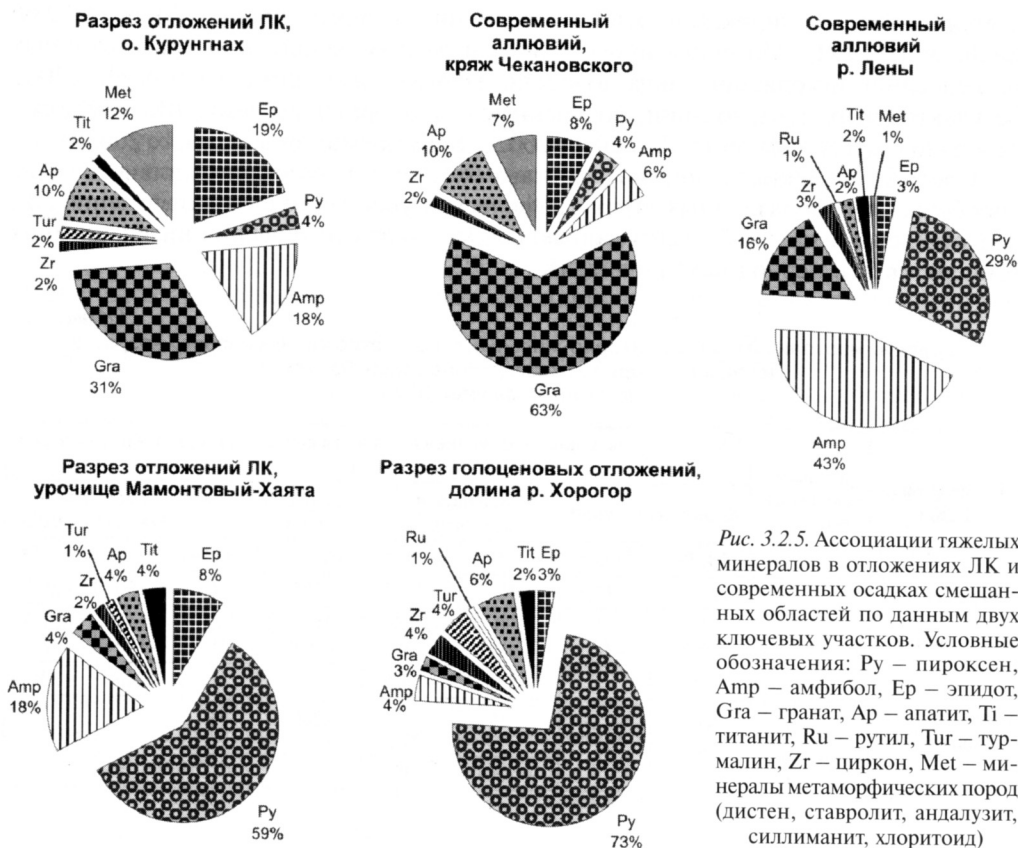
В целом приведенные данные могут свидетельствовать о том, что различные (эоловые, нивальные, аллювиальные, пролювиальные и другие склоновые) процессы принимали участие в транспортировке и накоплении осадочного материала, слагающего ЛК в отдельных разрезах (Schirrmeister et al., 2008b). Можно предполагать, что участие каждого из этих процессов было неодинаковым в разных местах и в разные эпохи формирования ЛК. Хотя лёссовый материал в значительном количестве присутствует во многих слоях ЛК, их установленные параметры не позволяют рассматривать все толщи ЛК в качестве лёсса, как это делают некоторые авторы (Томирдиаро, Черненький, 1987; Walker, 2007). Скорее всего, многократно переработанный лёссовый материал преобладает в разрезах отложений ЛК. Вероятно, большое значение для формирования их гранулометрического состава имели различия геологического строения и неотектоники областей денудации, из которых поступал обломочный материал этих отложений.

**Состав тяжелых минералов.** Все изученные нами разрезы отложений ЛК отличаются низким содержанием тяжелых минералов. Однако их ассоциации являются важным индикатором областей сноса. На рис. 3.2.5 показаны ассоциации тяжелых минералов из двух разрезов отложений ЛК и осадочных пород смежной территории. Четко видно сходство состава тяжелых минералов отложений ЛК и других пород каждой территории. В разрезе Мамонтовый–Хаята пироксены и сопутствующие им амфиболы доминируют среди тяжелой фракции отложений ЛК. Ильменит, лейкоксен и эпидот также содержатся в ней в значительном количестве. Меньше содержание граната, апатита и сфена. Весьма сходная ассоциация тяжелых минералов характеризует грубопесчаные отложения на водосборе р. Хорогора (Siegert et al., 2002; Слагода, 2004). Возможно, в позднем плейстоцене пра-Хорогор дренировал территорию Быковского п-ова (Grosse et al., 2007), а Приморский кряж был главной областью сноса зерен, из которых формировалась обломочная часть отложений ЛК. Другая часть их обломочного материала приносилась сюда, вероятно, из Ленской области денудации или из подстилающих песков, состав которых в минералогическом отношении подобен составу аллювия Лены.

Иные ассоциации тяжелых минералов характеризуют отложения ЛК в западной части дельты Лены (Schwamborn et al., 2002). Эти ассоциации отличаются низким содержанием пироксена при высоком содержании граната и апатита. Сравнение ассоциаций тяжелых минералов отложений ЛК, вскрытых на о. Курунгнах, и осадков из русла малой реки, стекающей с кряжа Чекановского, четко показывает их сходство (Schirrmeister et al., 2003b). Повышенное содержание амфиболов в осадках ЛК по отношению к обломочному материалу из кряжа Чекановского указывает, скорее всего, на привнесение в эти осадки некоторого количества эоловой пыли из песков Ленских террас, а также из песчаной толщи, подстилающей здесь отложения ЛК (см. рис. 3.2.5).

Состав ассоциаций тяжелых минералов отложений ЛК в разрезе Мамонтов Клык имеет также свои отличительные черты. Среди них преобладают амфиболы, пироксены и эпидот и постоянно присутствуют минералы, являющиеся типичными компонентами метаморфических пород: дистен, ставролит, андалусит, хлоритоид, силлиманит (Schirrmeister et al., 2008a). Такой состав указывает на влияние пород Анабарского щита на петрографические особенности этой территории исследования.





Отложения ЛК, по данным разных разрезов и проб, имеют сходные микроморфологические особенности. К ним относится: высокое содержание обломков пород и продуктов эрозии почв в массе обломочных зерен, совместное присутствие в ней окатанных и остроугольных частиц, наличие признаков их криогенного выветривания (Siegert et al., 2002; Слагода, 2004). Все это может указывать на участие различных процессов в формировании ЛК, а также свидетельствовать о близости источников сноса значительной части обломочного материала, из которого слагаются исследуемые отложения.

## Результаты палеоклиматических и палеоэкологических исследований

**Изотопный состав повторно-жильного льда.** Ископаемые тела повторно-жильного льда – неотъемлемая часть отложений ЛК. Образуюсь в субэдральной обстановке за счет проникновения талых вод в морозобойные трещины, возникающие в мерзлой почве и льдистых породах (Романовский, 1977), состав стабильных изотопов кислорода и водорода повторно-жильного льда сохраняет информацию о зимней температуре. Поэтому изотопный состав повторно-жильного льда, который формировался синхронно с накоплением вмещающих слоев, рассматри-

вается в качестве индикатора климата времени его аккумуляции (Vaikmäe, 1989; Васильчук, 1992). Методика проведенных в рамках нашего проекта изотопных исследований ископаемого льда подробно изложена в печати (Meyer et al., 2000). Результаты этих исследований, полученные для опорных разрезов ЛК, приводятся в ряде статей (Meyer et al., 2002b, 2002c; Schirrmeister et al., 2002b, 2003b).

Средние значения изотопного состава ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ ) повторно-жильного льда, опробованного на различных стратиграфических уровнях разрезов отложений ЛК, представлены в табл. 3.2.1. Эти данные свидетельствуют о весьма низких зимних температурах в период накопления ЛК.

**Таблица 3.2.1**

**Средний изотопный состав повторно-жильных льдов в отложениях разного возраста из разрезов прибрежных районов моря Лаптевых (по данным Magens, 2005)**

Исследуемые ПЖЛ	Возраст отложений, тыс. л.н.	Место разреза и данные о среднем изотопном составе повторно-жильного льда (ПЖЛ)							
		о. Бол. Ляховский		Быковский полуостров		Западная часть дельты Лены		Район мыса Мамонтов Клык	
		$\delta\text{D}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta\text{D}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta\text{D}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta\text{D}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰
Современные		-158	-20,4	-185	-25,5	-195	-26	-155	-20,5
Голоценовые	<10	-180...	-23...	-190...	-25,5...	-169...	-23...	-165...	-21,5
		-205	-27,5	-195	-28	-195	-25	-190	-25
Плейстоценовые (ЛК)	14–25			-230	-29,5			-240	-30,5
	25–50	-220...	-28,5...	-230...	-29...	-228...	-29...		
				-245	-31,5				
50–60	-250	-31,5	-250	-32					

Наиболее детальное изучение состава стабильных изотопов повторно-жильного льда проводилось по разрезу ЛК в урочище Мамонтовый–Хаята (Meyer et al., 2002c). Результаты этих исследований показывают, что в течение всего периода накопления осадков ЛК зимние температуры здесь были постоянно ниже, чем в настоящее время. Вместе с тем результаты изотопных исследований ископаемого льда позволяют выделить в этом разрезе три горизонта отложений ЛК (см. табл. 3.2.1). Один охватывает слои, накопленные 60–55 тыс. л.н., промерзавшие в условиях весьма холодных зим. Другие два горизонта представлены слоями, промерзавшими в обстановке суровых зим. Однако свойственные одному из этих горизонтов значения  $d_{\text{exc}}$  заметно меняются в слоях, накопленных позже 17 тыс. л.н. Вероятно, это можно объяснить тем, что в течение МИС-2 сменился источник атмосферной влаги, которая поступала в район Быковского п-ова и питала растущие там клинья повторно-жильного льда.

Аналогичные выводы были сделаны по данным изучения изотопного состава тел повторно-жильного льда, опробованных в разрезах ЛК западной части дельты Лены и в районе мыса Мамонтов Клык (Schirrmeister et al., 2003b; Magens, 2005). Заметное утяжеление изотопного состава переходных слоев повторно-жильного льда, аккумуляция которых происходила на рубеже голоцена и позднего плейстоцена, свидетельствует о существенном потеплении климата и об уменьшении перепадов температуры от лета к зиме на исследуемой территории в это время.

## Палеоэкология

В отличие от информации о температуре зим, получаемой путем изучения изотопного состава ископаемого льда, данные палеонтологии позволяют судить о температуре вегетационного периода. Детальная палеонтологическая характеристика имеется для слоев ЛК, которые накопились в период от 60 до 12 тыс. л.н. и были опробованы палеонтологами в разрезе Мамонтовый–Хаята. Результаты этих исследований приведены в ряде статей (Andreev et al., 2002; Бобров и др., 2003; Bobrov et al., 2004; Kienast et al., 2005; Kuznetsova et al., 2003; Sher et al., 2005; Wetterich et al., 2005). Другие разрезы ЛК лишь частично обеспечены палеонтологическими данными (Schirrmeister et al., 2003b, 2008a; Grosse et al., 2007; Андреев и др., 2007; Wetterich et al., 2008). Однако все палеонтологические данные, полученные при осуществлении нашего проекта, позволяют составить достаточно полное представление об экологических условиях на исследуемой территории во время накопления отложений ЛК.

**Результаты спорово-пыльцевого анализа** отражают существование растительности тундрово-степного типа в период аккумуляции ЛК. Во всех спектрах преобладает пыльца злаковых и осоковых с участием полыни и сложноцветных. Доля пыльцы древесно-кустарниковых растений очень мала. Почти всегда они представлены тундровыми кустарниками (преимущественно ивы). Некоторое увеличение содержания пыльцы древесных видов отмечается лишь в благоприятные этапы МИС-3. Низкая концентрация пыльцы при повышенном содержании перетолженной пыльцы характеризует палиноспектры накопленных в МИС-2 отложений ЛК. Установленная высокая концентрация спор *Selaginelle ruprestris* в пробах, датированных между 25 и 12 тыс. л.н., свидетельствует об эродированных почвах, что характерно для холодного и сухого климата (Andreev et al., 2002; Андреев и др., 2007; Schirrmeister et al., 2003b).

Обращает на себя внимание наличие значительного количества остатков пресноводных зеленых водорослей (*Pediastrum* и *Botioccocus*) в большинстве палиноспектров (Андреев и др., 2007), которыми характеризуются отложения ЛК. Это указывает на их накопление в мелководных условиях, скорее всего, в обстановке широкого развития промерзающих луж и болот, имеющей место и в современных полигональных, частично обводненных мерзлотных ландшафтах.

**Изучение ископаемых семян и других макроостатков растений**, найденных среди отложений ЛК, позволяет судить о характере термического и влажностного режима вегетационного периода во время их накопления (Kienast, 2003; Kienast et al., 2005; Andreev et al., 2008; Wetterich et al., 2008; Schirrmeister et al., 2008a). Установлены следующие особенности: 1) постоянное наличие значительного количества макроостатков ксерофильных видов растений, включая типично степные виды; 2) совместное нахождение макроостатков арктических, водных, литоральных, луговых и степных сообществ в тех же слоях (рис. 3.2.6). Пионерный характер найденных остатков водных и литоральных растений указывает на резкие колебания обводнения местности, что, очевидно, было обусловлено аридным характером климата, недостатком влаги летом, интенсивным испарением поверхностных и почвенных вод. С этим согласуется присутствие значительного количества семян, принадлежащих к растениям, толерантным к повышенному содержанию почвенных солей, и к типичным галофитам, таким, как *Puccinellia tenuiflora*. Подобные растительные сообщества наблюдаются и в современных мерзлотных ландшафтах Центральной Якутии (Еловская и др., 1966). Наличие ископаемых

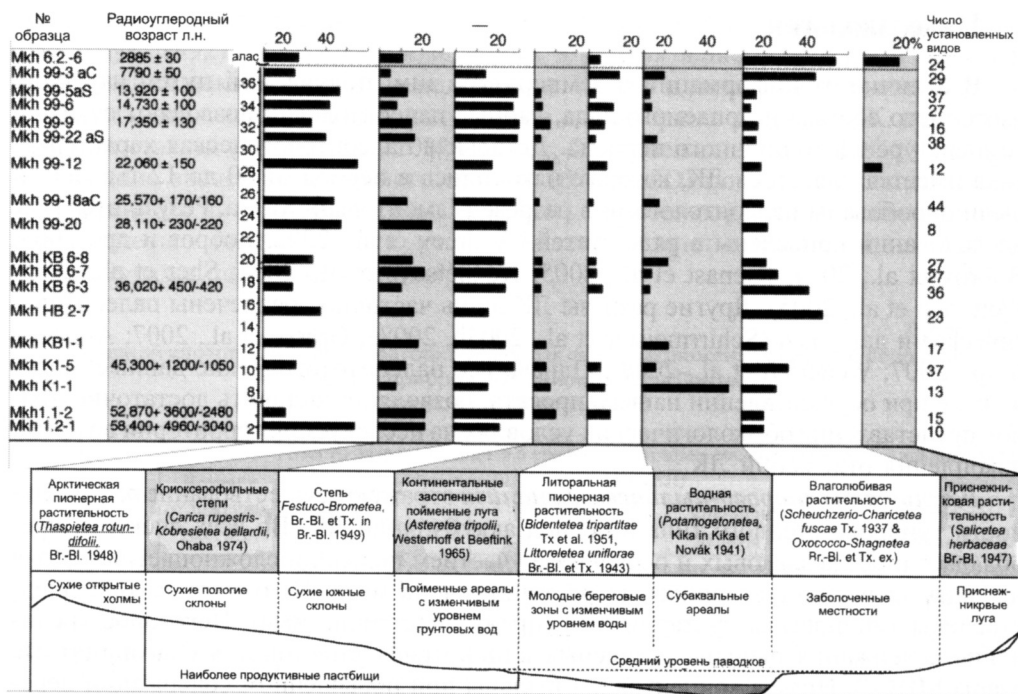


Рис. 3.2.6. Экологическая интерпретация ископаемых макроостатков растений, найденных среди отложений ЛК в разрезе Мамонтовый–Хаята, на основе современной экологии и географического распределения установленных видов (Kienast et al., 2005)

остатков степных видов наряду с остатками сухолюбивых арктических видов среди отложений ЛК свидетельствует о высокой аридности и суровости климата времени их накопления.

Присутствие остатков некоторых видов водных растений в отложениях ЛК позволяет судить о летней температуре времени их накопления. В отличие от теплолюбивых наземных растений (которые могут расти на хорошо прогреваемых склонах) водные виды являются индикаторами зонального термического режима. Находки их макроостатков позволяют судить о средних летних температурах среды осадконакопления (Iversen, 1954). Принимая во внимание современные границы ареала *Potamogeton vaginatus* в Восточной Сибири (Флора Сибири, 1988) и учитывая находки макроостатков данного вида в отложениях ЛК, Ф. Кинаст с соавторами (2005) заключили, что средняя июльская температура в интерстадиальном периоде (МИС-3) на исследуемой территории была не ниже 12°C. Находка макроостатков степного вида *Thesium* среди отложений ЛК, датированных 48 тыс. л.н., может свидетельствовать, что в эту эпоху средняя июльская температура достигала 15 °C на изученной территории (Kienast et al., 2005).

**Фауны ризопод (раковинные амебы) и пресноводных остракод (ракушняковые рачки).** Температурный и влажностный режим, благоприятный для жизнеобеспечения ризопод и остракод, устанавливается по разрезам отложений ЛК в период МИС-3 (Бобров и др., 2003; Bobrov et al., 2004; Müller et al., 2008; Wetterich et al., 2005, 2008). Эти данные, в отличие от приведенных выше палеоботанических, отражают локальные условия осадконакопления и почвообразования времени образования ЛК на исследуемой территории. Особенности видового состава фаун свиде-

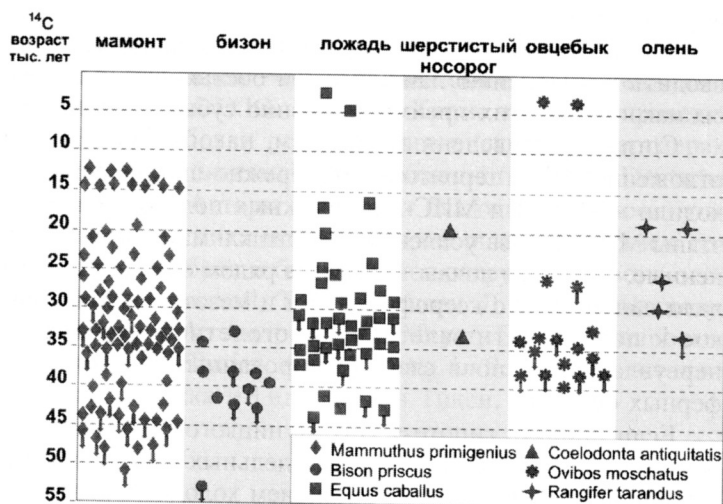
тельствуют о господстве в интерстадиале МИС-3 полигональных ландшафтов с выраженными сезонными колебаниями температуры и влажности среды обитания.

По данным большинства проб, представленных отложениями ЛК, датированными между 25 и 12 тыс. л.н., раковины амёб отмечены в минимальном количестве или не были найдены в этих пробах (Бобров и др., 2003; Bobrov et al., 2004). Накопленные в указанное время отложения ЛК не содержат и раковин остракод (Wetterich et al., 2005). Все это свидетельствует о сухом и холодном климате, при котором в МИС-2 происходило накопление и промерзание отложений ЛК.

**Ископаемые насекомые.** Убедительные доказательства динамики палеогеографической обстановки на территории накопления и промерзания исследуемых отложений ЛК были получены при изучении найденных в них ископаемых насекомых (Кузмина, 2001; Sher et al., 2005; Wetterich et al., 2008). Состав и соотношение выделенных экологических групп насекомых свидетельствуют о сухом континентальном климате с летними температурами выше, чем сегодня, на исследованной территории во время всего позднеплейстоценового интерстадиала, соответствующего МИС-3 (рис. 3.2.7, цв.). Наибольшее количество термофильных ксерофильных насекомых было установлено в отложениях ЛК, формировавшихся в период между >46 и 34 тыс. л.н. Хотя между 34 и 24 тыс. л.н. по сообществам ископаемых насекомых отмечается некоторое похолодание, летние температуры в этот период остались выше, чем сегодня. Лишь слои отложений ЛК, накопленные около 25 и 18 тыс. л.н., характеризуются коллекцией насекомых, состав которой указывает на их обитание при летней температуре менее высокой, чем в настоящее время (см. рис. 3.2.7).

**Фауна млекопитающих (Мамонтовая фауна).** Существование крупных млекопитающих сопутствовало накоплению отложений ЛК на исследуемой территории. Более 2000 костных остатков этой фауны собрали участники российско-германских экспедиций здесь при изучении разрезов отложений ЛК. Значительная часть собранной коллекции костей была обеспечена их радиоуглеродными датами (Kuznetsova et al., 2003; Sher et al., 2005). Эти даты и характеризующие ими костные остатки показывают, что наиболее благоприятные условия для проживания крупных млекопитающих на исследуемой территории были в период 50–30 тыс. л.н. (рис. 3.2.8). В последнем криохроне (после 25 тыс. л.н.) некоторые виды отсутствуют или встречаются значительно реже. В конце позднего плейстоцена, около 15 тыс. л.н., популяция мамонтов кратковременно увеличилась, а позже она полностью исчезла в границах исследуемого региона.

Рис. 3.2.8. Развитие популяции крупных млекопитающих во время накопления отложений ЛК на территории побережья моря Лаптевых (Kuznetsova et al., 2006) (вниз указывающие “хвосты” на знаках, обозначающие возрастные даты выделенных животных, отражают пределы ошибок)



## О генезисе отложений ледового комплекса

Все вышеизложенное показывает, что распространенные на территории прибрежно-шельфовой зоны моря Лаптевых отложения ЛК представляют собой своеобразную формацию континентальных осадков. Их главная особенность усматривается в том, что эти отложения более чем наполовину своего объема представлены ископаемыми телами повторно-жильного льда. Механизм и физические условия формирования таких тел характеризуются в ряде книг и статей, полный список которых может занять не одну страницу. Не приводя такого списка, отметим следующие обстоятельства: 1) повторно-жильный лед – особый осадок, отличающийся от вмещающей породы своей почти вертикальной слоистостью (Шумский, 1952); 2) образование морозобойных трещин с повторно-жильным льдом происходит в разных ландшафтах (Шумский, 1952, 1955); 3) морозобойные трещины – элементы строения различных геокриологических фаций (Катасонов, 1954, 1964). Эти обстоятельства существенно затрудняют решение проблемы генезиса отложений ЛК.

Трудно спорить с тезисом о полигенетическом характере отложений ЛК. Ясно, что механизм образования их части, представленной повторно-жильным льдом, существенно отличается от механизма накопления слоев, вмещающих такой лед. Поэтому отложения ЛК в целом следует рассматривать как гетерогенную (или) полигенетическую толщу. Что касается масс обломочного и органогенного материала, которые принимают участие в строении отложений ЛК, то тезис о полигенетическом характере этих масс также не вызывает возражений. Тем более что этот тезис доказывается приведенными данными детального изучения разрезов отложений ЛК.

Полигенетический характер в вышеуказанном смысле имеют не только отложения ЛК. Аллювиальные, болотные и пролювиальные отложения, а также осадки некоторых других генетических типов континентальных четвертичных отложений с повторно-жильным льдом являются гетерогенными образованиями в области вечной мерзлоты.

Можно привести примеры участия склоновых отложений в строении толщи аллювия, а также примеры наличия в ней эоловых осадков. Однако при этом мы не вправе переименовывать аллювий, относить его к эоловым или к склоновым образованиям.

Следовательно, вопрос о генезисе отложений ледового комплекса необходимо сводить к выяснению ландшафтной обстановки, в которой происходили процессы накопления этих преимущественно субэаральных осадков.

Согласно приведенным данным, накопление и промерзание большей части отложений ЛК на территории прибрежно-шельфовой зоны моря Лаптевых происходили в МИС-3 и МИС-2 во влажных полигональных ландшафтах. В холодные этапы МИС-2 из-за усиления сухости климата здесь господствовали менее увлажненные, аэробные почвы. Но всегда рядом с водными и заболоченными существовали ландшафты с ксерофильными и мезотрофными биоценозами. Правда, близкое к поверхности залегание многолетней мерзлоты создавало условия для переувлажнения почв слабодренированных ареалов даже при дефиците атмосферных осадков.

Если принять гипотезу В.В. Куницкого (2007) о том, что движущими факторами осадконакопления на водораздельных равнинах севера Якутии были нивальные процессы, связанные с развитием холодных навейных снежников, то можно

легко понять литологические особенности отложений ЛК и объяснить их залегание на разных породах по склонам исследуемой территории.

Известно, что навейные снежники играют значительную роль в рельефообразовании на севере Якутии (Galabala, 1997; Kunitsky et al., 2002). Особенности климата позднего плейстоцена в прибрежно-шельфовой зоне моря Лаптевых позволяют предположить, что здесь в МИС-3 и МИС-2 арена проявления нивальных процессов была намного шире, чем в настоящее время. Распространение навейных снежников, вероятно, обеспечивало активизацию не только нивальных процессов, но и активное проявление делювиальных и пролювиальных процессов, которые, по данным ряда авторов (Гравис, 1969; Катасонова, Зигерт, 1981; Зигерт, Слагода, 1991; Слагода, 2004), принимали участие в формировании отложений ЛК.

Навейные снежники являются нивально-эоловыми образованиями. Вместе со снегом в них аккумулируется значительное количество кластического и органогенного материала, который с тальми водами поступает в полигональные аккумулятивные ландшафты (Куницкий, 2007). Мы считаем, что именно таким образом проявлялась роль эоловых процессов в формировании отложений ЛК. Принятая нами гипотеза позволяет понять механизм совместной аккумуляции больших масс ископаемого льда и лёссового материала в толщах ледового комплекса.

Датировки четвертичных отложений, полученные для смежной территории Якутии (Stauch et al., 2007; Popp et al., 2006, 2007), показывают, что МИС-4 здесь является последним отрезком времени, когда обширные ледники существовали в долинах Верхоянского хребта. Горные ледники в МИС-2 покрывали ограниченные площади на горной территории. Около 48 тыс. л.н. началось формирование отложений ЛК на подножии Северного Верхоянья, а около 17 тыс. л.н. осадконакопление в его горных долинах происходило уже в перигляциальной обстановке (Зигерт и др., 2007; Сергеенко и др., 2007).

Все это свидетельствует о крайне сухом климате исследуемой территории в последнюю ледниковую эпоху. Вероятно, этот аридный холодный климат определял специфику гидрологических условий на континенте, ограничивал развитие глетчеров в горах и способствовал накоплению больших масс повторно-жильного льда среди субаральных отложений на аккумулятивных равнинах прибрежно-шельфовой зоны моря Лаптевых.

Исследования, итоги которых обобщаются в настоящей статье, выполнялись в рамках совместного российско-германского научного проекта «Система моря Лаптевых». Дополнительно эти работы получили финансовую поддержку многочисленными грантами национальных фондов РФФИ и ДФГ (DFG) и стипендиями российско-германской Лаборатории им. О.Ю. Шмидта. Кроме того, для проведения совместных исследований и обработки результатов в институтах-партнерах были использованы гранты Немецкого академического обменного фонда (Deutsche Akademischer Austauschdienst) и ДФГ. Авторы выражают благодарность всем коллегам, участвовавшим в разное время в полевых и лабораторных работах и в совместной обработке результатов, за доброе и благотворное сотрудничество, в особенности А.Ю. Деревягину, С.А. Кузминой, Т.В. Кузнецову, Д.Ю. Большианову, М.Н. Григорьеву, В.Е. Тумскому, А.А. Андрееву, Н. Meyer, G. Schwammborn, G. Grosse, F. Kienast, W. Schneider, U. Bastian, A. Eulenburg, L. Schoenicke, а также сотрудникам Усть-Ленского заповедника и Гидробазы в Тикси.

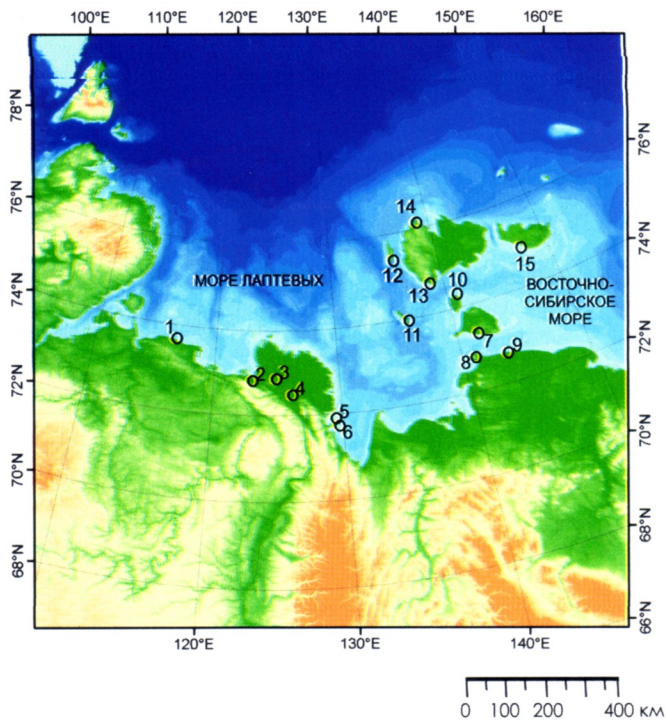


Рис. 3.2.2. Карта изученных разрезов и ключевых участков отложений ЛК:

- 1 — мыс Мамонтов Клык,
- 2 — о. Эбе Сиси,
- 3 — о. Харданг,
- 4 — о. Курунгнах,
- 5 — Быковский полуостров,
- 6 — о. Муостах,
- 7 — о. Б. Ляховский,
- 8 — мыс Святой Нос,
- 9 — берег Ойгос Яр,
- 10 — о. М. Ляховский,
- 11 — о. Столбовой,
- 12 — о. Бельковский,
- 13 — о. Котельный,
- 14 — мыс Аниси,
- 15 — о. Новая Сибирь

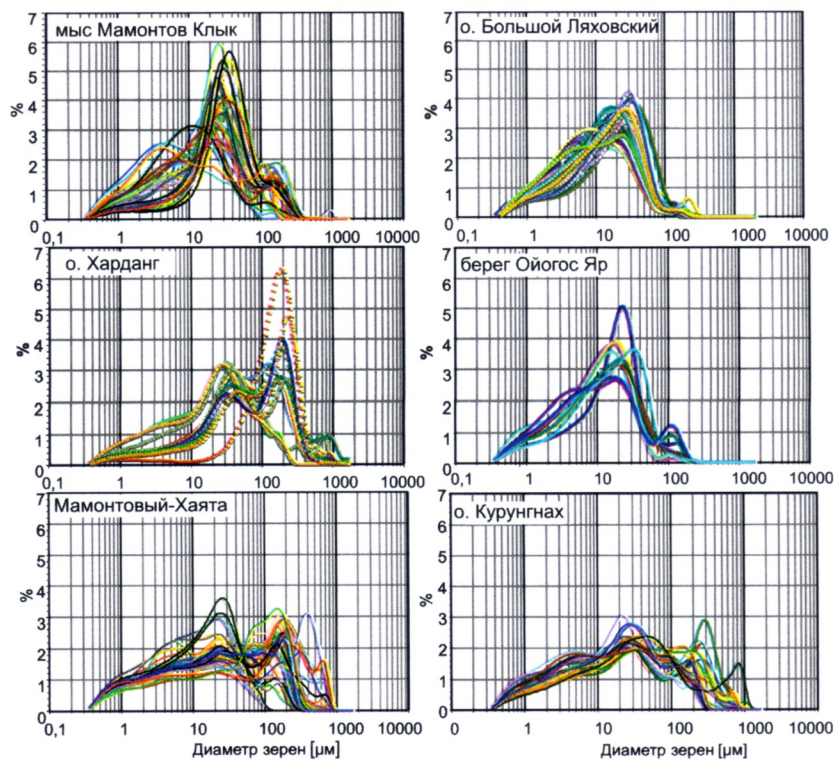
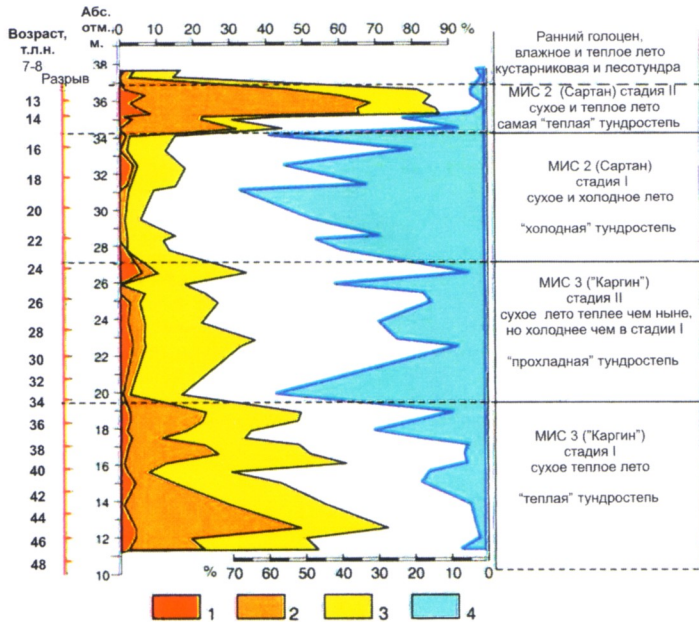


Рис. 3.2.4. Типичные кривые гранулометрического состава отложений ЛК по данным отдельных разрезов





**Рис. 3.2.7.** Распределение экологических групп ископаемых насекомых, установленных среди отложений ЛК в разрезе Мамонтовый-Хаята и изменения климата в позднем плейстоцене по данным фауны ископаемых насекомых (Sher et al., 2005). Экологические группы насекомых. Настоящие или «южные» ксерофилы: 1 — степные виды, 2 — другие ксерофильные виды (исключая тундровых). Насекомые, распространенные в современной тундре: 3 — обитатели сухой тундры (предпочитают наиболее теплые местности), 4 — обитатели арктической тундры (их содержание нанесено справа)