

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.345;551.71

ГЕНЕЗИС ДЕФОРМАЦИЙ В ГОЛОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
С ПЛАСТОВЫМИ ЛЬДАМИ НА ЮГОРСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

Е.А. Слагода, М.О. Лейбман, О.Л. Опокина

Учреждение Российской академии наук Институт криосферы Земли СО РАН,
625000, Тюмень, а/я 1230, Россия, eslagoda@ikz.ru

Многолетнемерзлые четвертичные породы со складками, трещинами и пластовыми льдами вскрыты современными термоцирками в районе пос. Амдерма Югорского полуострова. В разрезах изучена пространственная связь криогенного строения и деформаций пород над пластовым льдом с палеокриогенными образованиями – промерзшим подозерным таликом и заполненной осадками, промерзшей термоэрозивной ложбиной. Реконструирована последовательность палеокриогенных событий, повлиявших на морфологию пласта льда и изменивших первичную криогенную текстуру вмещающих пород. Изученные деформации верхнечетвертичных отложений Югорского полуострова и их криогенное строение объясняются палеокриогенной историей формирования древней термоденудационной поверхности предгорной равнины под действием криогенных склоновых, эрозивных и термокарстовых процессов.

Палеокриогенные процессы и образования, пластовый лед, криогенная текстура, складчатые и разрывные деформации, тучение, оползание

ORIGIN OF DEFORMATIONS IN HOLOCENE-QUATERNARY DEPOSITS
WITH TABULAR GROUND ICE ON YUGORSKY PENINSULA

E.A. Slagoda, M.O. Leibman, O.L. Opokina

Earth Cryosphere Institute, SB RAS, 625000, Tyumen, P/O box 1230, Russia, eslagoda@ikz.ru

Perennially frozen Quaternary deposits with cracks, folds and tabular ground ice are exposed by modern thermocirques near Amderma settlement on Yugorsky peninsula. The spatial connection of cryogenic structure and deformations of frozen deposits covering tabular ground ice with palaeocryogenic phenomena: refrozen lake talik and filled in and frozen thermoerosion trough are under study. The sequence of palaeocryogenic events which had affected the morphology of ice layer and changed primary cryogenic structure of enclosing deposits was reconstructed. The studied deformations of the Late Quaternary deposits on Yugorsky peninsula and their cryogenic construction are explained by palaeocryogenic history of formation of an ancient thermodenudation piedmont plain under the impact of cryogenic slope, erosive and thermokarst processes.

Palaeocryogenic processes and phenomena, tabular ground ice, cryogenic structure, folded and ruptural deformations, frost heave, landsliding

ВВЕДЕНИЕ

Складчатые деформации и трещины в рыхлых четвертичных отложениях, а также формы рельефа связывают с седиментационно-диагенетическими, неотектоническими, а в последнее время все чаще с гляциодинамическими процессами, сопровождающими развитие гипотетических ледников. Гляциальный генезис деформаций основывается, в том числе, на версиях о захоронении, движении и таянии шельфового или континентального ледников, реликтами которых считают залежи пластовых подземных льдов [Астахов, 1976, 2004; Каплянская, Тарноградский, 1976;

Авдалович, Биджиев, 1984; Гроссвальд и др., 1985; Гатауллин, 1990].

К гляциальным деформациям в разрезах относят флексуорообразные и опрокинутые мезо- и микроскладки, затухающие на глубине в мезо-кайнозойских породах, глины с сетчатыми, решетчатыми криогенными и посткриогенными текстурами, интерпретируемые как следы движения и напора ледника [Эпштейн, 2007]; оползшие по мерзлomu основанию блоки отложений сезонноталого слоя как фрагменты надвига и др. [Тарноградский, 1982; Астахов, 2004]. К признакам леднико-

вого происхождения залежей льда относят оплавленность их кровли, облекание ее неровностей перекрывающими отложениями, промерзание перекрывающих отложений снизу вверх от кровли льда, хаотично рассеянный каменный материал во вмещающих морских глинах и в покровных суглинках, интерпретируемых как морены [Соломатин, 1986; Астахов и др., 2007].

В то же время обоснованные данные о связи перечисленных признаков с криогенными процессами в рельефе и разрезах с различным криогенным строением не принимаются во внимание. В криолитозоне складчатость льда и отложений связывается с инъекционно-напорным и сегрегационным механизмами формирования пластовых подземных льдов [Данилова, Баулин, 1973; Втюрин, 1975], гравитационно-тектоническим развитием положительных структур [Баду и др., 1982; Дубиков, 1982]. Сложные смятия слоистых толщ и разрывы слоев вмещающих отложений возникают в ходе промерзания замкнутых систем при росте давления как в поверхностных условиях при образовании бугров пучения, так и на больших глубинах при формировании гидролакколитов и газогидратных залежей [Кришук, 2001; Van Vliet-Lanoe et al., 2004]. Пликативные складки и инволюции сложных форм характерны для протаявших и просевших на месте отложений – таберальных образований аласов (хасыреев) [Баулин, 1965; Камасонов, 1982; Иванов, 1984; Каплина, 1987].

Цель настоящей работы – восстановление последовательности формирования структур верхнечетвертичной толщи под действием сменяющих друг друга криогенных процессов в верхней части криолитозоны. Для определения происхождения складчатых и разрывных деформаций в мерзлых отложениях с пластовыми льдами использован анализ стратиграфической последовательности, пространственных взаимосвязей и особенностей геологических тел в разрезе, строения залежей льда и изменчивости морфологии текстурообразующих льдов с позиций криолитогенеза.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Характеристика ключевого участка

В 2007 г. в рамках программы Международного полярного года изучены разрезы четвертичных отложений на побережье Югорского п-ова (рис. 1, А). Был выбран ключевой участок “Первая Песчаная” в 7–10 км восточнее пос. Амдерма [Лейбман, Кизяков, 2007]. Строение четвертичных отложений на изученном участке определяется палеогеографической обстановкой в этом регионе. В позднечетвертичное и голоценовое время она определялась как климатическими колебаниями, так и неотектоническими изменениями уровня моря [Павлидис и др., 1998; Левитан и др., 2007]. С трансгрессией казанцевского палеобассейна

связано накопление морских глин, которые, по нашим наблюдениям, распространены на исследованном участке в береговых уступах до абсолютных высот 2–12 м и отмечены на удалении от побережья на высотах до 25 м. Они перекрыты дельтовыми отложениями (“ритмитами”), которые формировались в субаэральной обстановке каргинского времени. Континентальная обстановка на этом участке обусловлена неотектоническим блоковым поднятием, проявившимся в выходах коренных пород в основании разреза и на пляже (см. рис. 1, Б). О накоплении ритмитов в каргинское время свидетельствуют радиоуглеродные даты (40–44 тыс. лет), полученные в радиоуглеродной лаборатории Аризоны по торфу из верхней части ритмитов, отобранных в 36 км восточнее ключевого участка “Первая Песчаная” на ключевом участке “Шпиндлер” [Lokrantz et al., 2003]. По нашим представлениям, в ходе регрессии осушенные территории являлись ареной накопления гравийно-галечных и песчано-супесчаных континентальных (флювиальных, дельтовых) отложений и их эпигенетического промерзания с формированием залежи пластового льда на границе дельтовых и морских отложений [Стрелецкая, Лейбман, 2002; Leibman et al., 2003]. Дальнейшая история развития исследуемого участка определяется процессами денудации/термоденудации и аккумуляции в континентальных обстановках, локальными изменениями условий теплообмена, приводящими к активизации процессов термокарста и термоэрозии.

Ключевой участок расположен в пределах подгорной термоденудационной равнины высотой 25,0–36,5 м, в строении которой участвуют пластовые льды спорного генезиса. В древнюю термоденудационную поверхность врезаются современные термоцирки. Они вскрывают разрезы четвертичных отложений, вмещающих пластовые льды [Лейбман и др., 2000; Кизяков, 2005; Лейбман, Кизяков, 2007; Leibman et al., 2003].

Два сопряженных в плане термоцирка, разделенные останцом высокой поверхности, показаны на рис. 1, Б. Пологонаклонные днища термоцирков имеют разные высоты – 18–22 и 7–10 м над уровнем моря. Задняя стенка термоцирков, сложенная четвертичными отложениями, вмещающими пластовые льды мощностью 2–6 м, расположена в 50–200 м от береговой линии моря и не подвержена прямому волновому воздействию. Разрезы стенок термоцирков сложены современными, голоценовыми и верхнечетвертичными, различными по криогенному строению и генезису отложениями, которые залегают в понижениях кровли наклонных к морю коренных пород – складчатых, трещиноватых пермских песчаников и сланцев (см. рис. 1, В) [Юсударственная... карта РФ, 2000].

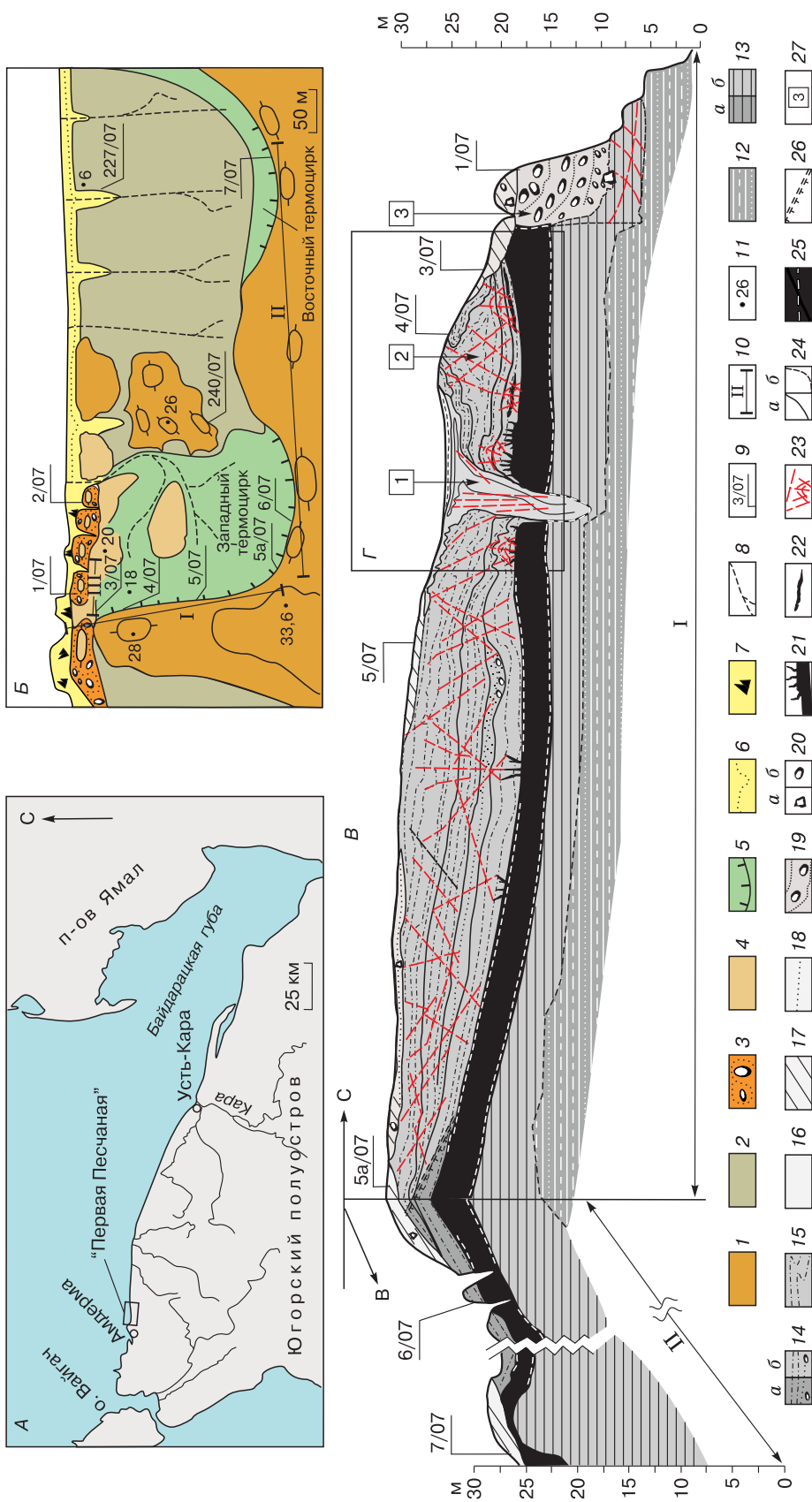


Рис. 1. Характеристика ключевого участка “Первая Песчаная”.

A – расположение участка на Югорском п-ове; B – план на 2007 г.; B – схема строения стенок термоцирка Первая Песчаная – Западный; Г – врезка (см. рис. 4). 1 – подгорная равнина, сложенная четвертичными отложениями с пластовыми льдами; 2 – древняя термодинамическая поверхность; 3 – морская терраса, сложенная галечниками с песчаным заполнителем; 4 – днище, склоны и останцы, сложенные оползевыми отложениями современных термоцирков; 5 – бровка и днище термоцирков по состоянию на 2007 г.; 6 – песчаный пляж; 7 – выходы коренных пород; 8 – временные водотоки; 9 – номер расчистки; 10 – профиль и его номер; 11 – абс. отметки поверхности, м; 12 – коренные породы сланцы, алевролиты, песчаники палеозоя, смятые в складки; 13 – глина, султунки морские с первичным криогенным строением (a), таберированные повторно промерзшие (б); 14 – ритмиты горизонтально и пологонаклонно-слоистые алевроиты, тонкие пески с линзами гравия, мелких галек с первичным криогенным строением (a), таберированные повторно промерзшие (б); 15 – ритмиты таберированные с деформированной складчатой слоистостью; 16 – супеси с деформированной слоистостью; 17 – покровные склоновые супеси; 18 – покровные эоловые супеси; 19 – слоистые галечники с песчаным заполнителем; 20 – неокатанные обломки коренных пород (a) и переотложенный окатаный моренный материал (б); 21 – залежи пластового льда; 22 – линзы льда; 23 – системы и направления криогенных трещин; 24 – границы слоев достоярней (a), предполагаемые (б); 25 – предполагаемые границы залежи льда; 26 – реликтовая граница протаивания предполагаемая; 27 – элементы строения разреза: 1 – клиновидная ложбина; 2 – куполовидная структура, ядро промерзшего таллика; 3 – морская терраса.

Характеристика геологического разреза

Основные работы проведены в Западном термоцирке, дополнительные – в Восточном термоцирке участка “Первая Песчаная” (см. рис. 1, Б). В сводном разрезе снизу вверх выделены (рис. 2):

1. Морская глина темно-серая, содержащая фауну хорошей сохранности. Криогенные текстуры слоистые, толстошлировые решетчатые и сетчатые. Над глиной фрагментарно сохранился пласт оплавленного или частично протаявшего льда (расчистки 1/07, 4/07, 6/07).

2. Ритмиты, объединяющие:

– флювиальные гравелиты и косослоистые или ритмично-слоистые пески с массивными криотекстурами, образующие нижнюю и верхнюю пачки или линзы в толще ритмитов (расчистки 4/07, 5/07, 5а/07) (см. рис. 1, Б; 2);

– субаэральные дельтовые (распластывающихся потоков) ритмично-слоистые мелкие пески, алевриты и суглинки с четкой ровной горизонтальной и пологонаклонной слоистостью. В нижней части разреза и к северу увеличивается количество и мощность темно-серых суглинистых прослоев. Ритмиты перекрывают неровную верхнюю границу пласта льда. Они пересечены вертикальными и наклонными шлирами льда, толщина которых уменьшается вверх по разрезу от пласта льда. Шлиры и линзы льда образуют неполносетчатую, “веерную” и “ветвящуюся” криогенные текстуры (см. рис. 1, Б; 2, А, Г).

На отдельных участках обнажения ритмиты смяты и деформированы, пересечены протяженными наклонными, вертикальными и субгоризонтальными плоскостями отдельности, скольжения и сомкнутыми трещинами. Их стенки пропитаны ярко-бурыми гидроокислами железа, образовавшимися при вытаивании шлиров льда. По наклонным в разных направлениях плоскостям блоки ритмитов смещены относительно друг друга на 1–10 см, что придает слоистости толщ мелкую волнистость.

3. Песчаные склоновые отложения, содержащие переотложенный моренный материал горных ледников Пай-Хоя (гранитоиды, метаморфические породы, песчаники с отпечатками флоры и фауны), а также обломки местных коренных пород (серые сланцы, алевролиты, песчаники с прожилками белого кварца, единичными гальками). Пески срезают кровлю ритмитов. Криотекстура в песках массивная. Кровля песков размыта и переработана дефляцией (расчистки 4/07, 5а/07) (см. рис. 1, Б; 2).

4. Прибрежно-морские, пляжевые (вложенная терраса) слоистые галечники с песчаным заполнителем, с массивными и корковыми криотекстурами (расчистка 1/07) (см. рис. 1, Б; 2).

5. Покровные склоновые супеси, эоловые пески, отложения грязевых потоков и оползней, почвы современные, талые и мерзлые с различными криотекстурами (расчистки 3/07, 5а/07, 227/07) (см. рис. 2, Б, В).

В прибрежной северной части обнажения ритмиты, глины и верхняя часть залежи льда срезаны старым термоцирком, днище которого на высоте 18–20 м перекрыто современными песчаными склоновыми отложениями и супесями грязевого потока, перекрывшими оплавленную поверхность пласта льда в 2001 г. (расчистки 3/07, 227/07, рис. 3) (см. рис. 1, Б; 2).

Пласт льда залегает наклонно к морю. Лед горизонтально и волнисто-слоистый за счет мелких пузырьков воздуха и расслоившейся при промерзании взвеси. В восточной стенке термоцирка пласт льда осложнен складками шириной до 15 м, высотой 3 м, подчеркнутыми внутренней слоистостью (расчистка 6/07). В западной стенке термоцирка в береговом уступе моря лед отсутствует, под галечниками вложенной террасы на коренных породах сохранились мерзлые морские глины со льдом-цементом, решетчатыми и косыми линзовидными палеокриогенными текстурами, подчеркнутыми скоплениями гидроокислов железа (расчистка 1/07) (см. рис. 1, В). Верхняя поверхность пласта льда неровная. В восточной стенке термоцирка пласт льда в виде антиклинальной складки оплавлен и перекрыт отложениями термокарстового понижения с наклонными линзовидными криотекстурами (расчистка 7/07). В западной стенке над субгоризонтальным пластом льда, в суглинистых породах прослеживается первичное криогенное строение – чередование решетчатых, сетчатых и линзовидных криотекстур (расчистка 6/07). В расчистках 3/07, 4/07, 5/07, над наклонной кровлей пласта льда наряду с линзовидными, параллельными кровле, выражены утончающиеся вверх вертикальные и косые шлиры льда. Они внедряются в перекрывающие ритмиты, образуя неполносетчатую “веерную” криотекстуру с расстоянием между шлирами до 1 м (см. рис. 1, В; 2, Г).

Для интерпретации строения мерзлых четвертичных пород использованы разрезы современных отложений термоцирка.

Современные отложения криогенных оползней, перекрывающие термоденудационный склон и днище старого термоцирка, включают угловатые треугольные и трапециевидные блоки (1,5 × 2,0 м) слоистых ритмитов, пространства между которыми заполнены супесью с комками дернины, гнездами песка (расчистка 3/07, рис. 4). Ориентировка и залегание блоков ритмитов меняются: в верхней части уступа они смещены вниз на 1–6 м по круто-наклонной поверхности с сохранением субгори-

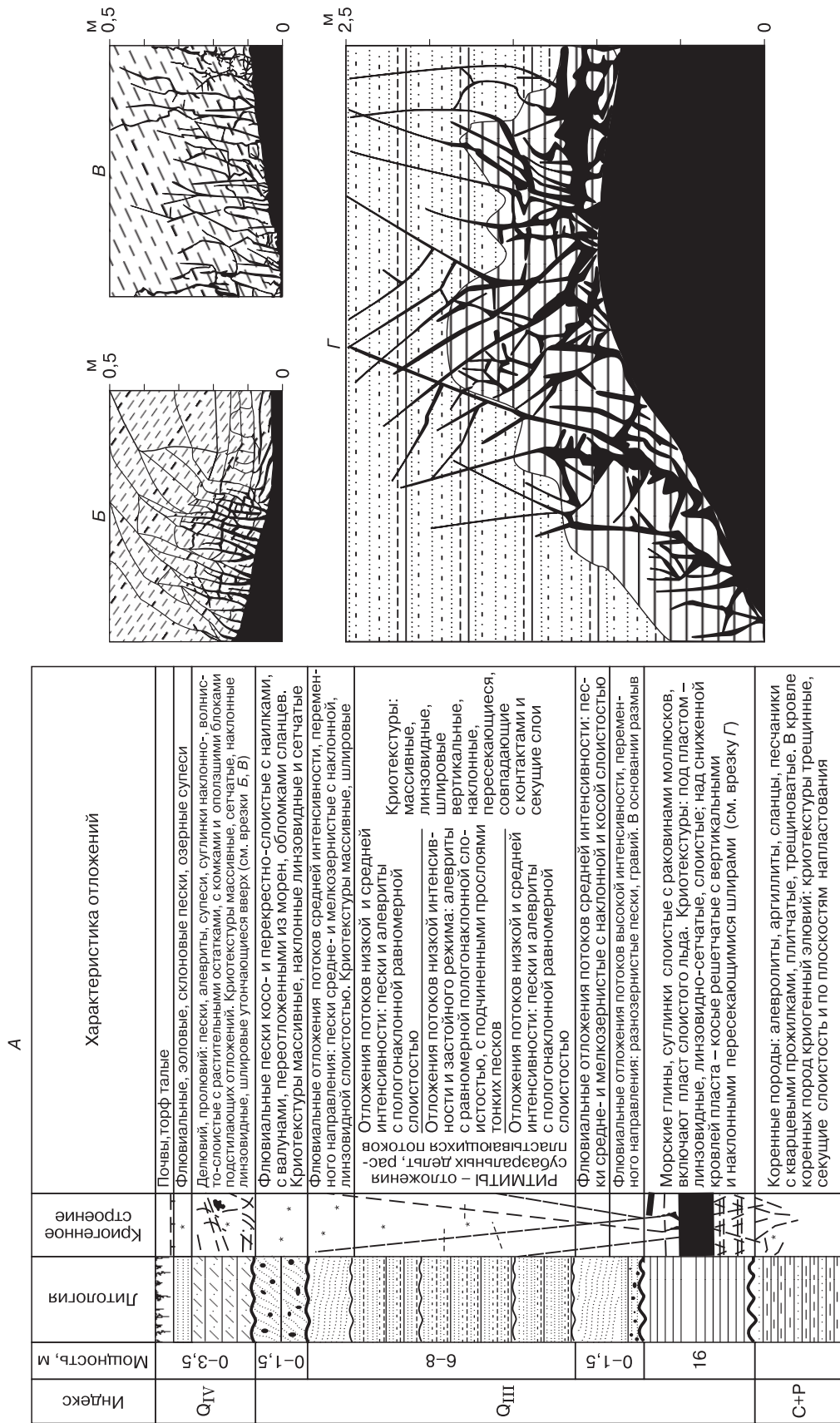


Рис. 2. Разрезы стенок термоцирков:

А – сводная криолитологическая колонка современных, голоцен-верхнечетвертичных и карбон-пермских пород; Б-Г – зарисовки криогенного строения отложений над пластом льда; Б – склоновых в расчистке 227/07; В – современных оползней скольжения в расчистке 3/07; Г – верхнечетвертичных отложений в расчистке 4/07. Пояснения см. в тексте.



Рис. 3. Криогенное строение современных склоновых отложений, промерзших снизу от залежи льда, в расчистке 227.

горизонтальной слоистости. На пологом участке склона они перевернуты. На перегибе склона и в днище термоцирка блоки ритмов захоронены в отложениях грязевого потока (супеси с комками глин, корнями кустарничков), некоторые запрокинуты назад. В промерзших снизу склоновых отложениях преобладают частые вертикальные, наклонные и изогнутые шпирьы льда протяженностью 15–30 см, утончающиеся вверх от наклонной оплавленной кровли пласта льда и мерзлых глин (см. рис. 2, Б). Над горизонтальным участком оплавленной кровли залежи вертикальные шпирьы выполаживаются, сменяются линзовидными криотекстурами, параллельными кровле пласта. Аналогичные шпирьы льда, образующие косые решетчатые, “ветвящиеся” криогенные текстуры, часто встречаются в современных и древних отложениях разного генезиса, перекрывших мерзлые льдистые глины и залежи пластового льда (см. рис. 2, В). Эти криотекстуры связаны с промерзанием снизу вверх от мерзлого льдистого субстрата и фиксируют положение границ протаивания.

Современные термоэрозионные ложбины V-образной формы, длиной 50–200 м, прорезают склоны и днище термоцирка. Их верховья приурочены к выходам залежей льда в вертикальном уступе термоцирка. Борта ложбин крутые, с превышением над днищем 3–10 м, сложены льдистыми глинами со слоисто-сетчатыми криотекстурами. Протаивающие глины и супеси оползают вниз, а по дну ложбины медленно движется водонасыщенный грязевой поток, в которой обрушиваются блоки мерзлых глин с бортов и крупные обломки коренных пород из покровных песков. Обрушившиеся блоки создают заторы, что способствует за-

полнению ложбины супесчаной суспензией до середины ее бортов. Такие грязевые ванны вызывают протаивание пород в бортах ложбины, образование термоденудационных ниш, нарушающих устойчивость вышележащих пород. Заполнение ложбины, расслоение суспензии на водонасыщенный осадок и воду препятствуют термоэрозии в верховьях ложбины. В холодный сезон осадки, заполнившие ложбины, промерзают сверху и с боков, со стороны мерзлого субстрата.

Палеокриогенные образования в разрезе

Куполовидная структура размером по горизонтали более 50 м выявлена в разрезе западной стенки термоцирка в интервале высот 19–30 м над уровнем моря. Она сложена прослоями суглинистых ритмов, лежащими непосредственно на кровле льда. Верхняя граница пласта залегаёт несогласно со слоистостью льда, что свидетельствует о его оплавлении. По простиранию в структуре выделены крылья с четкой слоистостью и центральная часть чечевицеобразной формы с нарушенной и утратившей слоистость текстурой ритмов (см. рис. 4, А). Мощность отложений увеличивается от крыльев к центру с 5 до 9 м. Нижние слои ритмов и глины образуют над понижением кровли ледяного пласта пологую синклиналиную складку шириной 50 м и амплитудой до 1 м. Верхние слои ритмов над ядром структуры слагают асимметричную антиклиналиную складку шириной 40 м и амплитудой до 2,5 м. На юге крыло складки осложнено мелкими флексурами: по перегибам фрагменты слоев длиной 1,0–1,5 м ступенчато подняты вверх на 0,5–1,5 м. В центре антиклиналиная складка ритмов разорвана наклонным внедрением супесей из ядра структуры. Размер внедрения по вертикали до 2 м, ширина 1,5–1,8 м. Давлением внедряющейся массы верхняя часть горизонта ритмов загнута вверх и образует лежащую складку шириной 2 м. Кроме того, сохранился фрагмент ритмов, смятый в остроугольную синклиналиную складку шириной 0,8 м (см. рис. 4, А, В). Верх купола размыт и перекрыт современными золовыми и склоновыми песками с крупными обломками коренных пород в понижениях. Северная часть структуры срезана старым термоцирком.

Суглинистые таберированные [Романовский, 1993] ритмы характеризуются пересекающимися вертикальными, наклонными и ломаными шпирьями, гнездами (см. рис. 2, Г) и крупными линзами льда толщиной 0,1–0,3 м, длиной 0,5–3,0 м, параллельными кровле ледяного пласта. Лед в крупных линзах прозрачный с крупными, хаотично расположенными пузырьками воздуха и угловатыми включениями суглинка размером 1–5 мм. Такое строение льда связано с сегрегационным льдовы-

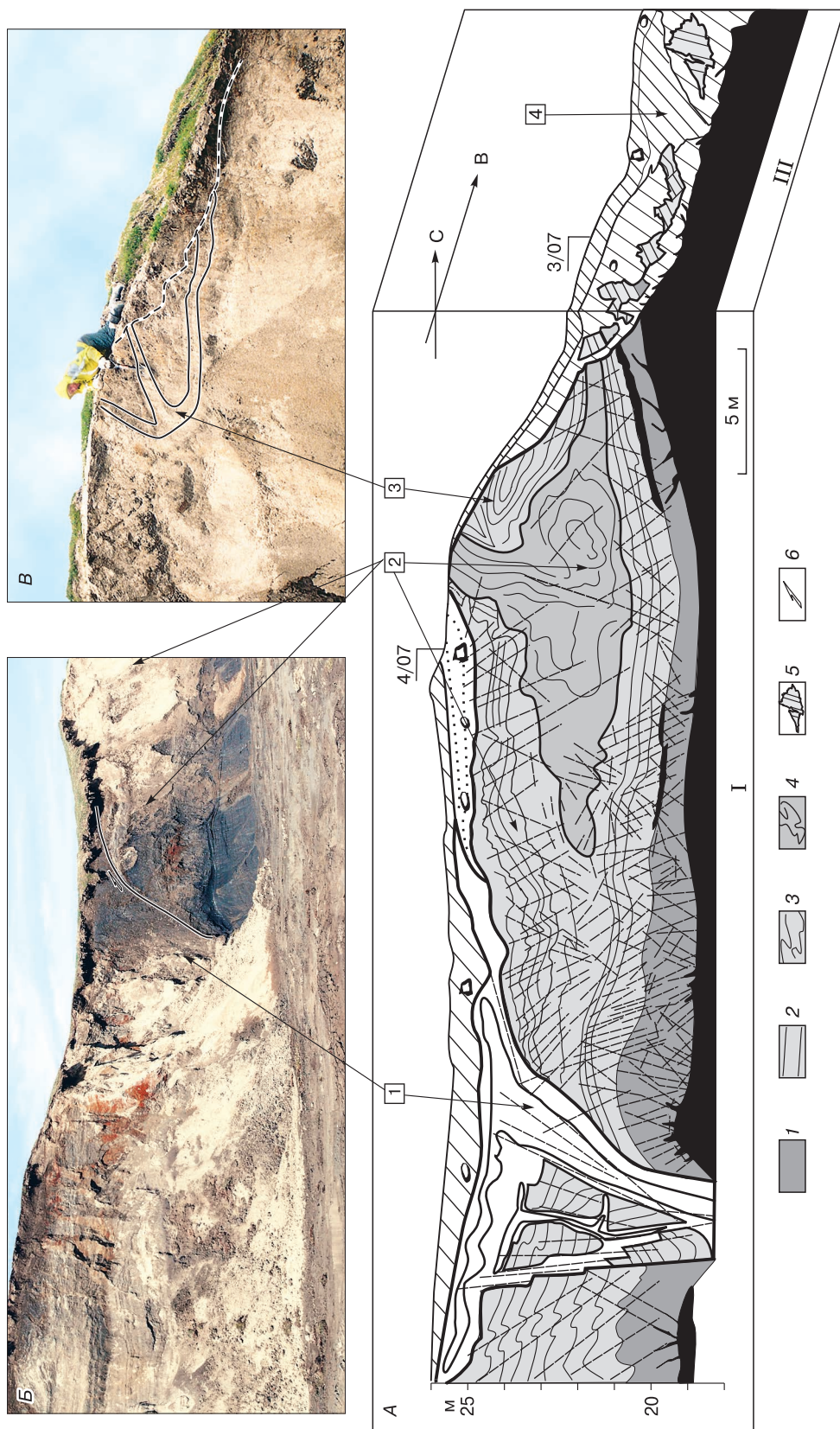


Рис. 4. Куполовидная и клиновидная структуры в разрезе западного борга термоцирка Первая Песчаная–Западный по состоянию на 2007 г.

А – схема; Б, В – фотографии; 1 – фотография; 2 – фотография; 3 – промерзший палеоталик; 4 – лежащая и клиновидная складки над ядром палеоталика; 5 – современная ложбина 2001 г., заполненная и промерзшая; 6 – ритмы таберированные: 1 – с преобладанием суглинистых прослоев, 2 – с преобладанием алевроитов, тонких песков, горизонтально и пологонаклонно-слоистые, 3 – с деформированной слоистостью; 4 – ядро палеоталика (перемешанные ритмы, утраченные слоистость); 5 – оползшие блоки; 6 – направление перемещения талых пород. Остальные обозн. см. на рис. 1.

делением [Вторин, 1975] при промерзании обводненных ритмитов снизу и с боков. Все деформированные слои ритмитов пересечены наклонными ломаными и вертикальными шлирами, продолжающимися от кровли льда. Неслоистые ритмиты в ядре структуры отличаются неправильно-сетчатой криотекстурой, которая образована частыми разнонаправленными пересекающимися линзами льда. На контактах со льдом породы окаймлены бурыми и рыжими гидроокислами железа.

В стенке термоцирка протаявшие с поверхности ритмиты пересечены плоскостями отдельности, покрытыми бурыми гидроокислами железа. Они продолжают вертикальные и наклонные шлиры льда, вскрытые при зачистке стенки обнажения.

Клиновидная структура расположена в 40–50 м от берега моря. Она прорезает всю толщу ритмитов на 8 м и пласт льда более чем на 2 м (см. рис. 4). Ширина структуры поверху составляет 15 м, на уровне верхней границы пласта льда около 7 м. Нижняя граница структуры и пласта льда не вскрыта. В клиновидной структуре треугольные и трапециевидные блоки ритмитов размером 1,0 × 1,5 м залегают в неслоистых коричневатосерых супесях с гнездами песка, комками и катышками морских глин. В супесях обнаружены остатки семян хвойных деревьев. Пропитанные гидроокислами железа супеси образуют два грибовидных внедрения между блоками ритмитов. Ширина этих внедрений в верхней части достигает 30 м. В центральной части клиновидной структуры, в блоках ритмитов и во вмещающих их супесях присутствуют частые (через 1–2 см) вертикальные плоскости отдельности, вблизи клиновидной структуры ожелезненные (см. рис. 4, Б). В супесях вдоль правой границы структуры отмечены сетчатые криотекстуры и наклонные плоскости отдельности, параллельные этой границе, подчеркнутые скоплениями гидроокислов железа. Супеси надвинуты на загнутые вниз слои антиклинальной складки ритмитов (см. рис. 4, В). Левая граница структуры осложнена ступенчато смещенными блоками ритмитов (см. рис. 4, Б).

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ

Рассмотрим криогенное строение разреза и соотношение между описанными структурами: куполовидной, вызванной термокарстом и промерзанием палеоталика, и клиновидной, являющейся результатом термоэрозии и последующего заполнения и промерзания палеоложины. Мы полагаем, что куполовидная структура образовалась раньше, чем клиновидная, на следующем основании. Слоистость, криогенное строение и

деформации, связанные с промерзанием талика и образованием куполовидной структуры, прослеживаются по обе стороны от нее, причем интенсивность деформаций постепенно снижается в направлении левой части обнажения. Клиновидная структура сечет и загибает вниз слои куполовидной структуры, в которых сохранилась линейная трещиноватость, возникшая при промерзании талика. Внутри клиновидной структуры присутствуют блоки ритмитов с аналогичной трещиноватостью.

Сопоставление морфологических особенностей структур, верхней границы пластового льда, криогенных текстур, а также наличие в разной степени деформированных ксенолитов пород позволяет реконструировать историю протаивания–промерзания исследуемой толщи. На рис. 5 представлены стадии формирования и развития палеокриогенных структур.

Мы предполагаем, что в период сарганской регрессии [Бирюков, Совершаев, 1998] в континентальных условиях на пологом склоне заозеренной предгорной равнины под термокарстовыми озерами разной глубины образовались несквозные талики (см. рис. 5, А, стадия I).

Когда талик под наиболее глубоким озером достиг пласта льда, произошло оплавление кровли, а вышележащие слои ритмитов просели и изогнулись с образованием синклинальной складки, параллельной нижней границе талика. Слоистые ритмиты над пластом льда протаивали и проседали на месте, т. е. представляют собой таберированные образования (см. рис. 5, А, стадия II).

В результате осушения озера талик стал промерзать сверху, поэтому строение верхних слоев ритмитов изменилось незначительно. После начала промерзания талика сверху подстилающие его многолетнемерзлые породы, верхняя часть которых представлена пластовым льдом, оказались основным источником холода. Влага мигрировала под действием градиента температуры и гравитации к верхней границе льда. Этим объясняется нарастание сегрегационного льда над выпуклыми участками оплавленной кровли пластового льда и рост субвертикальных шлиров льда от его кровли вверх, а также образование льда из линз воды на глинистом водоупоре на границе с ритмитами. Понижение оплавленной кровли и субвертикальные шлиры, отходящие вверх от пласта льда, указывают положение в разрезе нижней границы чаши протаивания. Ее видимые размеры – более 100 м в ширину. Именно форма чаши протаивания позволяет говорить о существовании озера, поскольку озерные отложения в разрезе отсутствуют. Они срезаны флювиальными отложениями, перекрывающими каргинские ритмиты (см. рис. 5, А, стадия III).

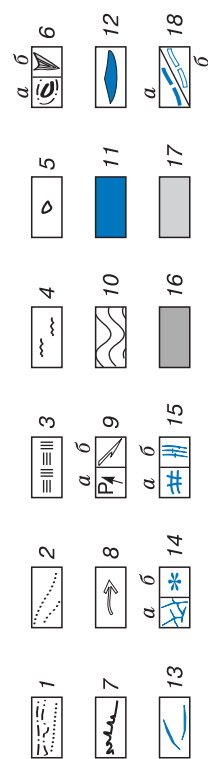
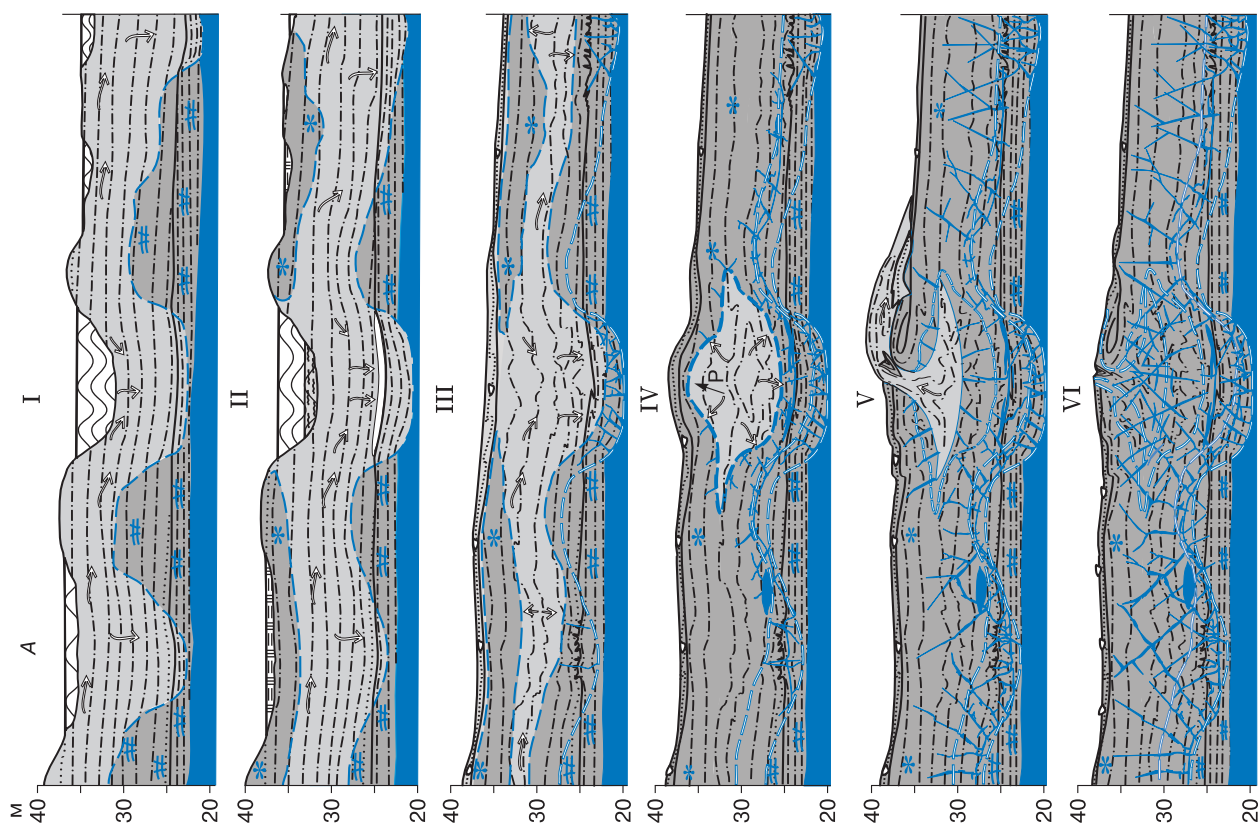
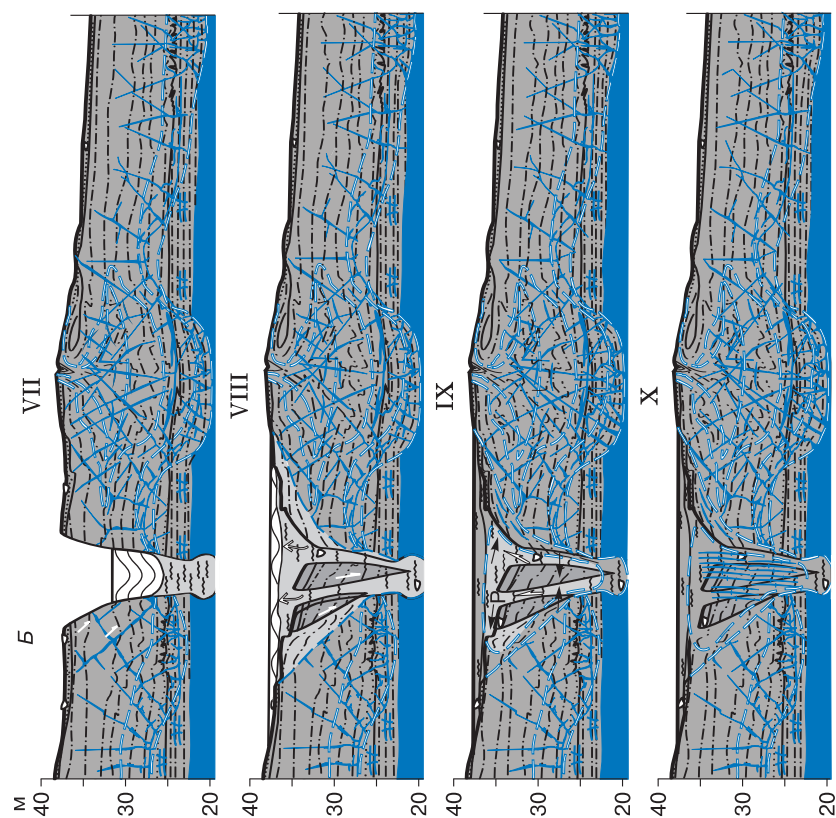


Рис. 5. Схема образования деформаций и криогенного строения отложений при промерзании:

А – талик под термокарстовой депрессией; Б – заполненная термоэрозийная ложбина. Стадии развития: I – формирование термокарстовых озер и протаивание мерзлых льдистых отложений над пластом льда; II – промерзание осушенных озерных котловин и глубокое протаивание слоев глины, ритмитов; III – размыв поверхности, промерзание заземленных талых толщ сверху и снизу, смятие талых слоев; IV – сквозное промерзание талых толщ, образование замкнутого обводненного талика, изгиб талых слоев ритмитов талика вверх; V – разрыв и смятие мерзлой толщи над таликом, выдавливание талых пород на поверхность; VI – промерзание ядра талика; VII – формирование термоэрозийной ложбины и локальное вытаивание пласта льда; VIII – обрушение мерзлых блоков со склонов в талые обводненные осадки и выбросы воды на поверхность, заполнение термоэрозийной ложбины; IX – промерзание заполненной ложбины, выдавливание талых пород вверх и на борта, образование мелких складок во вмещающих отложениях; X – полное промерзание отложений ложбины с образованием вертикальных шпиревых криотекстур бокового сжатия.

1 – ритмиты; 2 – пески; 3 – торф; 4 – осадки термоэрозийной ложбины; 5 – обломки, валуны; 6 – складки лежащие (а), клиновидные (б); 7 – неровная кровля суглинистых ритмитов со следами пучения; 8 – направление движения воды; 9 – направление движения льда; 10 – крупные линзы льда; 11 – залегающий пласт льда; 12 – крупные линзы льда; 13 – разнонаправленные тонкие линзы льда; 14 – шпирь льда, растущие снизу вверх (а), лед-цемент (б); 15 – криотекстуры шпиревые, косые сетчатые (а) и удлиненные по вертикали сетчатые (б); 16 – мерзлые породы; 17 – талые породы; 18 – границы мерзлых пород, существующие на данной стадии (а), реликтовые (б).

Дальнейшее промерзание привело к образованию замкнутого талика, к росту давления в талых влагонасыщенных породах, заземленных между промерзшими сверху и снизу слоями таберированных ритмитов. На границе преимущественно суглинистых ритмитов, залегающих в основании слоя, и вышележащих песчано-алевритовых ритмитов сформировались линзы сегрегационного льда, параллельные контуру чаши протаивания. На этой стадии в талом ядре талика, вероятно, образовался пльвун, и ритмиты утратили слоистость. Уменьшение объема таликовой зоны привело к росту давления и образованию в верхних промерзших слоях ритмитов антиклинальной складки и, возможно, к образованию бугра пучения на поверхности (см. рис. 5, А, стадия IV).

Дальнейшее увеличение давления в талике привело к выдавливанию влагонасыщенных пород из талой зоны, разрыву и отгибанию мерзлых слоев ритмитов с образованием лежащей складки над северным крылом куполовидной структуры. Тогда же в южном крыле антиклинальной складки образовались перегибы слоев, а в центре – остроугольная синклинальная складка (см. рис. 5, А, стадия V).

После падения давления центральная часть талика быстро промерзла, образовались неправильно-сетчатые криотекстуры в ядре и наклонные частослоистые в канале, по которому выводились на поверхность влагонасыщенные породы. Выдавленные породы были размыты, однако перемешанные фрагменты перекрывающих ритмитов флювиальных отложений вскрываются на северном склоне бугра, а клиновидная складка – в устье выводного канала, который также сохранился в разрезе. Секущие вертикальные и наклонные шпирь льда пронизывают всю толщу таберированных и повторно промерзших ритмитов. По-видимому, они продолжали расти снизу вверх от оплавленной кровли пласта льда под действием температурного градиента (см. рис. 5, А, стадия VI).

Таким образом, на исследуемой поверхности сформировалась флювиальная (возможно, флювиогляциальная) предгорная равнина. На ней, скорее всего в климатический оптимум голоцена, заложилась термоэрозийная ложбина, ориентированная с юго-запада на северо-восток. На начальной стадии она прорезала ритмиты и пласт льда и заполнялась водонасыщенными (за счет вытаивания пластового льда) супесчано-суглинистыми отложениями (см. рис. 5, Б, стадия VII).

С южного крутого борта термоэрозийной ложбины обваливались блоки ритмитов, вероятно, мерзлых, сохранивших слоистость. Это привело к выдавливанию осадков, находившихся в текучем состоянии, на ее северный борт с образованием “надвига”. Излившись на поверхность, эти осадки теряли воду, которая пропитывала ритмиты и перекрывающие их флювиальные отложения в пределах сезонного слоя гидроокислами железа. Обрушившиеся блоки также способствовали быстрому заполнению ложбины осадками (см. рис. 5, Б, стадия VIII).

Промерзание снизу, сверху и с боков (от мерзлых бортов) немерзлых относительно дренированных осадков, заполнивших ложбину, привело к формированию линзовидных криогенных текстур, ориентированных параллельно бортам палеоложины. По-видимому, именно промерзание в замкнутом объеме вызвало образование мелких напорных складок и “веерных” наклонных плоскостей отдельности со скоплениями гидроокислов железа, наблюдаемых в мерзлых ритмитах (см. рис. 5, Б, стадия IX).

Полное промерзание талика привело к заложению частых вертикальных плоскостей отделимости, связанных с боковым сжатием, как в заполнителе ложбины, так и в ритмитах. Такая возможность подтверждена моделированием [Гончаров, 1979] (см. рис. 5, Б, стадия Х).

ВЫВОДЫ

Выявлена связь деформаций мерзлых голоцен-верхнечетвертичных отложений и изменчивости их криогенного строения с формированием таликов и отложением немерзлых осадков под действием термокарста, термоэрозии, пучения и склоновых процессов, а также с последующим промерзанием талых и немерзлых пород.

Выделены две группы складчатых деформаций, образовавшихся на разных стадиях развития термоденудационной равнины. Первая группа связана с развитием термокарста: протаиванием, промерзанием, пучением и прорывом на поверхность замкнутого талика. Вторая группа обусловлена термоэрозией: заложением термоэрозионной ложбины, ее заполнением немерзлыми осадками и их промерзанием.

Установлено оплавление верхней поверхности пласта льда, связанное с протаиванием пород над ним. Образование субвертикальных шпиров льда, параллельных границам чаши протаивания и бортам палеоложбины, толщина которых уменьшается от пласта вверх, свидетельствует о преобразовании первичного криогенного строения морских глин и дельтовых ритмитов в позднем плейстоцене (палеоталик) и в голоцене (палеоложбина) и о повторном промерзании от пласта льда вверх по разрезу.

Складчатые и разрывные деформации, внедрения сложных грибовидных тел, надвиговые структуры, разнонаправленные системы плоскостей отдельности в верхнечетвертичных слоистых отложениях с пластовыми льдами, изученные на Югорском п-ове, полностью объясняются палеокриогенной историей преобразования мерзлых отложений под действием криогенных склоновых, эрозионных и термокарстовых процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ фундаментальных исследований ОНЗ РАН 16, 13, Президиума РАН 17.7, 17.6, в рамках МПГ 2007/2008 г.

Литература

- Авдалович С.А., Биджиев Р.А. Каргинские морские террасы на севере Западной Сибири и проблема сарганского оледенения // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1984, № 1, с. 89–100.
- Астахов В.И. Геологические доказательства центра плейстоценового оледенения на Карском шельфе // Докл. АН СССР, 1976, т. 231, № 5, с. 1178–1181.
- Астахов В.И. Фотогеология северного плейстоцена: успехи и проблемы // Регион. геология и металлогения, 2004, № 21, с. 27–44.
- Астахов В.И., Мангеруд Я., Свенсен Й.И. Трансуральская корреляция верхнего плейстоцена севера // Регион. геология и металлогения, 2007, № 30–31, с. 190–206.
- Бадю Ю.Б., Трофимов В.Т., Васильчук Ю.К. Основные закономерности распространения и типы пластовых залежей подмерзлого льда в северной части Западно-Сибирской плиты // Пластовые льды криолитозоны. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1982, с. 13–23.
- Баулин В.В. Вечная мерзлота и палеогеография Западной Сибири // Основные проблемы изучения четвертичного периода. М., Наука, 1965, с. 295–298.
- Бирюков В.Ю., Совершаев В.А. Геоморфология дна Карского моря // Динамика Арктических побережий России. М., МГУ, 1998, с. 102–115.
- Втюрин Б.И. Подземные льды СССР. М., Наука, 1975, 215 с.
- Гатауллин В.Н. Пластовые льды западного побережья п-ва Ямал: их строение, состав, происхождение // Гео-криологические исследования в арктических районах. Тюмень, ИПОС СО АН СССР, 1990, вып. 1, с. 3–11.
- Гончаров М.А. Инверсия плотности в земной коре и складкообразование. М., Недра, 1979, 246 с.
- Государственная геологическая карта РФ. М-б 1:1 000 000 (Н.С.). Лист R (40-42). Объясн. зап. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2000, 357 с.
- Гросвальд И.Г., Втюрин Б.И., Суходровский В.Л., Шишорина Ж.Г. Подземные льды Западной Сибири: происхождение и геоэкологическое значение // Материалы гляциол. исслед., 1985, № 54, с. 145–152.
- Данилова Н.С., Баулин В.В. Следы криогенных процессов и их использование при палеогеографических реконструкциях ландшафтов // Палеокриология в четвертичной стратиграфии и палеогеографии. М., Наука, 1973, с. 66–79.
- Дубиков Г.И. Парагенез пластовых льдов и мерзлых пород Западной Сибири // Пластовые льды криолитозоны. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1982, с. 24–42.
- Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск, Наука, 1984, 116 с.
- Каплина Т.Н. Закономерности развития криолитогенеза в позднем кайнозое на арктических равнинах Северо-Восточной Азии: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Якутск, 1987, 48 с.
- Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д. Реликтовые глетчерные льды на севере Западной Сибири и их роль в строении районов плейстоценового оледенения криолитозоны // Докл. АН СССР, 1976, т. 231, № 5, с. 1185–1187.
- Катасонов Е.М. Аласные отложения и таберальные образования Якутии // Геология кайнозоя Якутии. Якутск, Якут. фил. СО АН СССР, 1982, с. 110–121.
- Кизяков А.И. Динамика термоденудационных процессов в районах распространения залежей пластовых льдов: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2005, 26 с.
- Крицук Л.Н. Криогидротектоника и подземные льды Западной Сибири // Материалы Второй конф. геокриологов России. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, т. 3, с. 155–163.
- Левитан М.А., Лаврушин Ю.А., Штайн Р. Очерки истории седиментации в Северном Ледовитом океане и морях Субарктики в течение последних 130 тысяч лет. М., ГЕОС, 2007, 404 с.

- Лейбман М.О., Васильев А.А., Рогов В.В., Ингольфссон О.** Исследование пластового льда Югорского полуострова кристаллографическими методами // Криосфера Земли, 2000, т. IV, № 2, с. 31–40.
- Лейбман М.О., Кизяков А.И.** Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова. М., ИКЗ СО РАН, 2007, 206 с.
- Павлидис Ю.А., Ионин А.С., Щербаков Ф.А. и др.** Арктический шельф. Позднечетвертичная история как основа прогноза развития. М., ГЕОС, 1998, 187 с.
- Романовский Н.Н.** Основы криолитогенеза криосферы. М., Изд-во Моск. ун-та, 1993, 335 с.
- Соломатин В.И.** Петрогенез подземных льдов. Новосибирск, Наука, 1986, 215 с.
- Стрелецкая И.Д., Лейбман М.О.** Криогеохимическая взаимосвязь пластовых льдов, криопэггов и вмещающих их отложений Центрального Ямала // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 3, с. 15–24.
- Тарноградский В.Д.** О происхождении пластовых залежей подземных льдов на Карском побережье п-ова Ямал // Пластовые льды криолитозоны. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1982, с. 80–88.
- Эпштейн О.Г.** Гляциотектониты – базальная зона четвертичного покрова в юго-восточной части Баренцева моря // Фундаментальные проблемы квартера. М., ГЕОС, 2007, с. 477–480.
- Leibman M.O., Hubberten H.-W., Lein A.Yu. et al.** Tabular ground ice origin in the Arctic coastal zone: cryolithological and isotope-geochemical reconstruction of conditions for its formation: Permafrost // Proc. of the 8th Intern. Conf. (Zurich, 21–25 July, 2003). Lisse, Netherlands, A.A. Balkema Publ., 2003, vol. 1, p. 645–650.
- Lokrantz H., Ingolfsson O., Forman S.L.** Glaciotectonised Quaternary sediments at Cape Shpindler Yugorsky peninsula, Arctic Russia: implications for glacial history, ice movements and the Kara sea Ice Sheet configuration // J. Quatern. Sci., 2003, vol. 18(6), p. 527–543.
- Van Vliet-Lanoe B., Magyarib A., Meilliez F.** Distinguishing between tectonic and periglacial deformations of quaternary continental deposits in Europe // Global and Planet. Change, 2004, No. 43, p. 103–127.

*Поступила в редакцию
9 февраля 2010 г.*