

УДК 551.345

И.Д. Стрелецкая¹, А.А. Васильев², Е.А. Слагода³, О.Л. Опокина⁴, Г.Е. Облогов⁵ПОЛИГОНАЛЬНО-ЖИЛЬНЫЕ ЛЬДЫ НА ОСТРОВЕ СИБИРЯКОВА (КАРСКОЕ МОРЕ)⁶

Приведены новые данные о составе, криогенном строении и возрасте четвертичных отложений о-ва Сибирякова (Карское море). В подземных льдах определено содержание стабильных изотопов кислорода и водорода и химический состав. Установлены особенности формирования полигонально-жильных льдов и выполнена палеоклиматическая реконструкция условий накопления и промерзания отложений острова в конце позднего неоплейстоцена—голоцене. Полигонально-жильные льды формировались при эпигенетическом промерзании отложений в позднем голоцене в условиях значений зимней температуры, близких к современным. Замедление роста и частичная деградация льдов связаны с увеличением снежности зим.

Ключевые слова: четвертичные отложения, полигонально-жильные льды, изотопный и химический состав льда, палеоклиматические условия, криогенез.

Введение. Результаты изучения подземных льдов и вмещающих их отложений используются для региональных палеоклиматических реконструкций. Содержание стабильных изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) и водорода (δD), минерализация льда, состав ионов солей в подземных льдах меняются в зависимости от природной обстановки их формирования. Полигонально-жильные льды (ПЖЛ) — чуткий палеоклиматический индикатор значений зимней температуры, поскольку образуются преимущественно в результате замерзания талого снега в морозобойных трещинах. Избыток дейтерия (d_{exc}) и масштаб отклонения содержания стабильных изотопов в подземных льдах от глобальной линии метеорных вод (GMWL) позволяют определять источник замерзающей воды в породах [17].

Постановка проблемы. Исследованию ПЖЛ севера Енисея и п-ова Таймыр посвящена обширная научная литература [2, 5, 7, 9, 10, 12—14, 16, 18, 19]. ПЖЛ и байджераховый рельеф, образованный при оттаивании ПЖЛ, исследователи отмечали в береговых обрывах в Карском море на островах Белый, Визе, Уединения, Известий ЦИК, Свердруп, Арктического института, Сергея Кирова, Воронина, Русский. Опубликованы результаты определения возраста вмещающих ПЖЛ отложений, химического и изотопного состава подземных льдов [2, 7, 9, 10, 14], несмотря на это подземные льды арктических островов Карского моря остаются мало изученными.

В 2008—2009 г. сотрудники Института криосферы Земли СО РАН, географического факультета МГУ и ВНИИОкеангеологии впервые подробно изучили крио-

генное строение четвертичных отложений на западном и южном берегах о-ва Сибирякова (рис. 1). Цель исследований — выявление особенностей формирования ПЖЛ и палеоклиматическая реконструкция условий накопления и промерзания отложений на острове в конце позднего неоплейстоцена—голоцене.

Район исследований. Остров Сибирякова площадью около 800 км² расположен в Енисейском заливе в мелководной части Карского моря и входит в геоморфологическую подобласть Ямало-Гыданской отмели [3]. Максимальные отметки рельефа (33 м) находятся в центре острова. Выровненная поверхность острова высотой 6—25 м на западе и севере переходит в низкий аккумулятивный уровень высотой до 4 м. Остров окружен многочисленными мелководьями, отмелями, осушками. По расположению русел рек, балок и оврагов в центре острова по вытаявшим жильным льдам крупных полигонов хорошо прослеживается унаследованный термоэрозионный рельеф. Не затронутые эрозионными процессами поверхности заняты кочковатыми арктическими тундрами с мелкими полигонами. Берега острова высотой 3—6 м подвергаются активному разрушению под действием термоабразивных процессов в местах выхода ПЖЛ. Четвертичные отложения на острове на глубине 50—100 м подстилаются метаморфическими верхнемеловыми породами. В верхней части четвертичного разреза осадки включают сегрегационные, полигонально-жильные и линзовидные льды.

Остров находится в районе с типичным морским арктическим климатом. Среднегодовая температура

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, вед. науч. с., канд. геол.-минер. н., *e-mail:* irinastrelets@gmail.com

² Институт криосферы Земли СО РАН, вед. науч. с., докт. геол.-минер. н., *e-mail:* al.a.vasiliev@gmail.com

³ Институт криосферы Земли СО РАН, вед. науч. с., докт. геол.-минер. н., *e-mail:* eslagoga@ikz.ru

⁴ Институт криосферы Земли СО РАН, науч. с., канд. геол.-минер. н., *e-mail:* opokina@ikz.ru

⁵ Институт криосферы Земли СО РАН, инженер, *e-mail:* oblogov@mail.ru

⁶ Работа выполнена при финансовой поддержке Программы поддержки ведущих научных школ РФ НШ-1097. 2012.5; Программы Президиума РАН “Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология”: 232 “Криолитозона шельфа и континентального обрамления западного сектора Российской Арктики”; № 23.3 “Криолитозона и Арктический шельф в условиях меняющегося климата”; ОНЗ РАН № 20 “Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменения природной среды”, а также Корпорации “КонокоФиллипс Россия Инк.”.

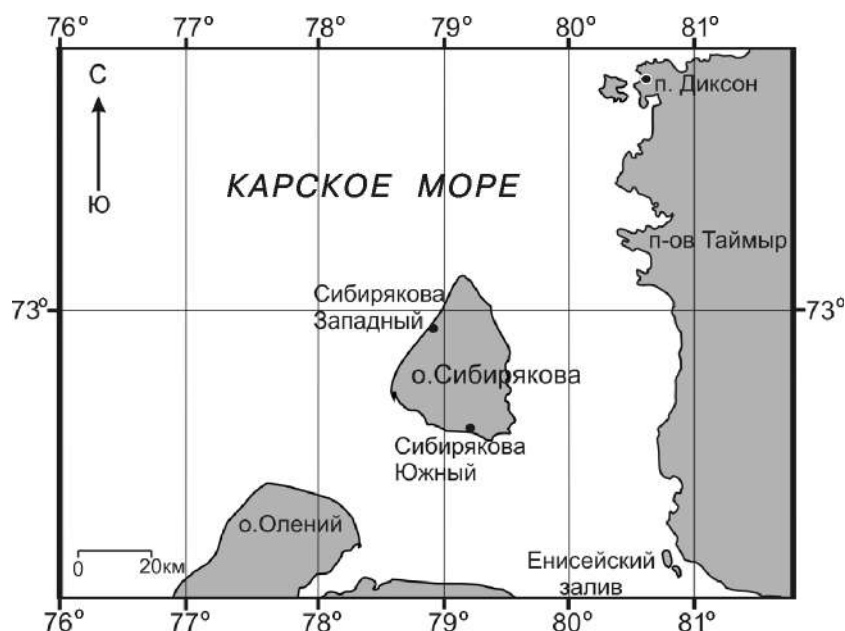


Рис. 1. Схема положения разрезов на о-ве Сибирякова

воздуха по данным ближайшей метеостанции в п. Диксон составляет $-11,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ [11]. Самый холодный месяц — январь, а самый теплый — август. Средняя многолетняя температура января составляет $-28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, августа $-7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, годовая амплитуда среднемесячных значений температуры воздуха — $35,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сумма осадков в регионе отличается крайне высокой межгодовой изменчивостью. Так, если в 1999—2003 гг. годовая сумма осадков (Диксон) составила 450 мм, то в 1953 и 1954 гг. она достигала 710 мм. Доля зимних осадков колеблется от 60 до 85%, а летних — от 15 до 40%. В понижениях рельефа и под береговыми обрывами формируются снежники-перелетки. Регион характеризуется сплошным распространением многолетнемерзлых пород мощностью более 50—100 м. Несквозные талики можно предполагать под руслами рек и в оврагах, где накапливается переваемый снег. Летом глубина оттаивания в песках составляет 60—100 см, торф и глинистые отложения оттаивают на меньшую глубину.

Материалы и методы. Криогенное строение четвертичных отложений острова исследовано в 17 расчистках береговых обрывов. Собрана коллекция образцов из подземных льдов и отложений, вмещающих льды. В лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск) для 7 образцов определен радиоуглеродный возраст пород. В изотопной лаборатории Института полярных и морских исследований имени Альфреда Вегенера (Потсдам) на масс-спектрометре “Finnigan MAT Delta-S” в 28 пробах определено содержание стабильных изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) и водорода (δD) из расплавов льда и снега. Значения $\delta^{18}\text{O}$ и δD измеряли в промилле по отношению к “венскому стандарту средней океанической воды” с погрешностью 0,1 и 0,8‰ соответственно. Использование специального бура диаметром

15 мм позволило отбирать точечные пробы объемом 60 мл по вертикальным и горизонтальным профилям ПЖЛ. В лаборатории литологии и геохимии ВНИИОкеангеологии (Санкт-Петербург) определен химический состав воды из расплавов подземных льдов в 9 пробах, проведены геохимические и литологические исследования отложений, вмещающих лед.

Результаты и их обсуждение. Береговой обрыв в южной части острова высотой от 2,0 до 4,5 м (рис. 2, А) с поверхности сложен слоем торфа с примесью песков, мощность 0,3—0,5 м. Радиоуглеродный возраст торфа в основании залежи составляет 3480 ± 45 лет (СОАН-7947). Ниже залегают железистые слоистые пески мощностью 1,2—2,0 м со следами деформаций. Пески незасоленные (содержание воднорастворимых солей (D_{sal}) в песках не превышает 0,06%), насыщены мелкой галькой, гравием, фрагментами растений, торфом. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в песках составляет 0,26%. Включения торфа в кровле песков имеют возраст $11\,435\pm 170$ лет (СОАН-7946), на подошве слоя — $27\,285\pm 350$ (СОАН-7944) и $27\,085\pm 320$ (СОАН-7945) лет. Пески с размывом залегают на слоистых светло- и темно-серых засоленных ($D_{\text{sal}} = 0,7\%$) пылеватых супесях морского генезиса. Содержание пылеватой фракции в супесях достигает 75%, а количество $C_{\text{орг}}$ возрастает до 1,0—1,3%. Из супесей получены zapредельные датировки — 46 500 (ЛУ-6405) и 47 860 (ЛУ-6415) [4].

Пески льдистые (влажность 21—30%), преимущественно с массивной криогенной текстурой. Льдистость нижележащих супесей существенно выше, суммарная влажность отложений составляет 41—68%. К более темным прослоям супеси приурочены горизонтальные шпирьы льда толщиной 1—5 мм, которые чередуются через 5—10 см, криогенные текстуры — горизонтальные, наклоннослоистые и концентрические (расчистка SB09-1).

Пески включают ПЖЛ и линзовидный лед (рис. 2, А). ПЖЛ имеют четкую клиновидную форму (ширина жил по верху 0,8—1,4 м, высота 1,5—2,0 м). Расстояние между жилами 5—7 м. Лед в жилах белый, с большим количеством пузырьков воздуха, чистый (без минеральных и органических включений). На четких ровных контактах жил с вмещающими песками наблюдается ожелезнение в виде каймы шириной до 1,0 м, повторяющей форму жил. Вблизи ледяных жил криогенные текстуры песков базальные с вертикальными жилками льда, секущими слоистость песков. В западной части разреза в песках залегают узкие длинные и деформированные жилы льда в верхней части шириной от 0,1—0,2 до 0,6—1,2 м и высотой более 2 м.

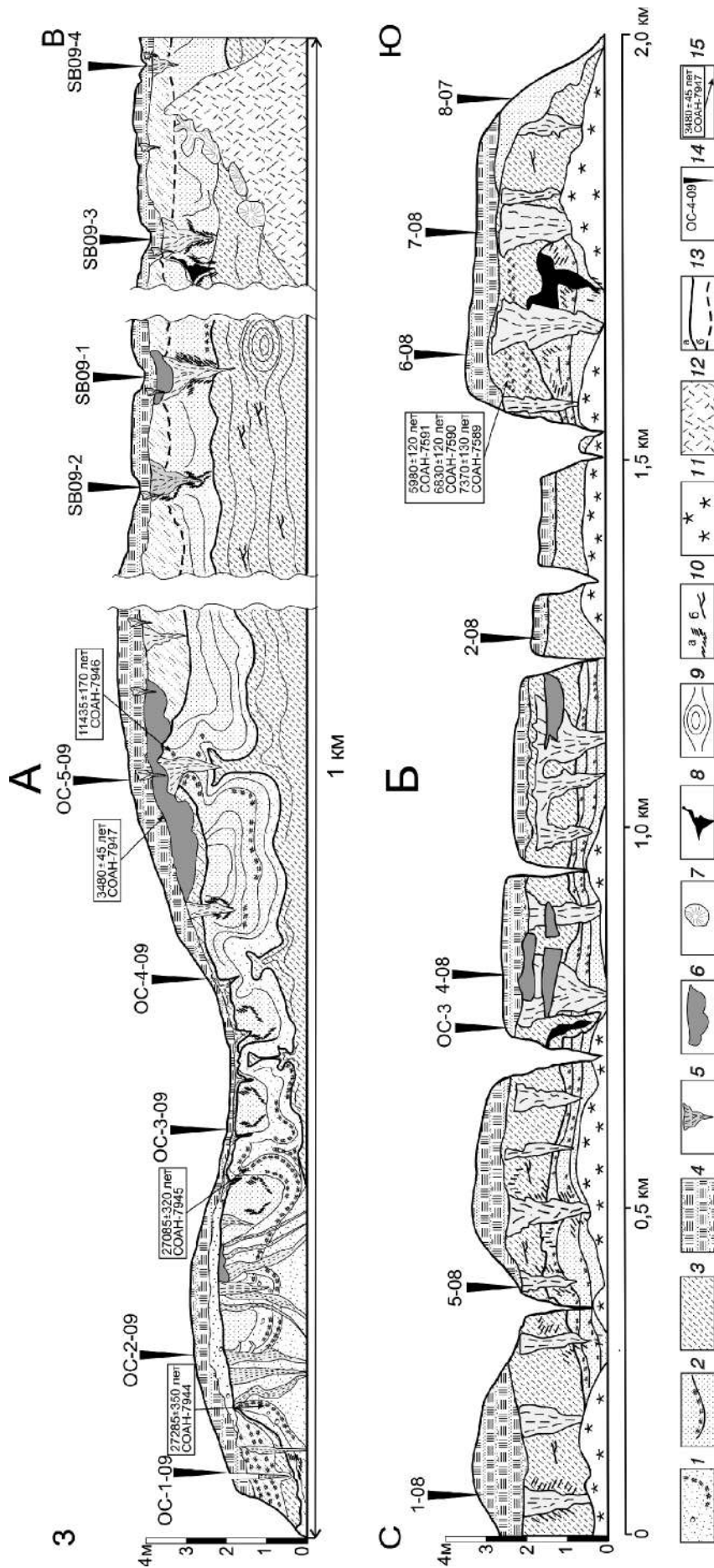


Рис. 2. Криогенное строение четвертичных отложений о-ва Сибирякова: А — разрез на южном берегу, Б — разрез на западном берегу; 1 — пески с торфом и галькой, слоистые; 2 — пески пылеватые, слоистые, с торфом; 3 — супеси пылеватые; 4 — торф с примесью песков; 5–7 — подземный лед (на разрезах показаны вне масштаба); 5 — полигонально-жильный, 6 — линзовидный, 7 — неясного генезиса; 8 — псевдоморфозы по жильным льдам; 9 — слоистость отложений; 10 — включения (а — пятна ожелезнения, б — растительный детрит); 11 — снежник; 12 — осыпь; 13 — границы размыва (а — установленные, б — предполагаемые); 14 — расчистка и ее номер; 15 — возраст органических включений и лабораторный номер образца

Верхние части жил оплавлены или замещаются линзовидным льдом мощностью до 1,0 м с включениями осоки и частиц ила. Образование горизонтальных линз прозрачного льда (расчистки SB09-1, OC-5-09) связано с промерзанием термокарстовых озерков.

В центральной части обрыва, где снежный покров маломощный, идет активное современное морозобойное растрескивание, в торфе под слоем оттаивания формируются современные узкие ледяные ростки шириной 0,1 и высотой 0,3 м, которые внедряются в жильный (расчистки OC-5-09, SB09-3, SB09-4) или линзовидный (расчистки SB09-1, OC-05-09) лед. В западной части обрыва на пониженном участке берега зимой накапливается снег и растрескивание не происходит (нет ростков жил).

Береговой обрыв в *западной части* острова с высотой до 3,5 м (рис. 2, Б) до глубины 0,5–1,5 м сложен автохтонным торфом с примесью желто-серых песков. Вниз по разрезу торф сменяется слоистыми серыми пылеватыми супесями (мощность 0,5–3,0 м) со следами ожелезнения, линзами песков, включениями торфа и древесины. Торфяные включения в супесях снизу вверх по разрезу имеют возраст 7370 ± 130 лет (СОАН-7589), 6830 ± 120 (СОАН-7590) и 5980 ± 120 лет (СОАН-7591). Для супесей того же разреза методом ИК-ОСЛ получена дата 8600 ± 700 лет (RLQG 1950-119) [4]. В стенках расчисток хорошо видны бурые и охристые клиновидные карманы, пятна и горизонтальные прослой ожелезненных песков и супесей, псевдоморфозы по ПЖЛ. Посткриогенная текстура похожа на оттаявшую поясковую, что свидетельствует о сингенетическом формировании и промерзании отложений. С глубиной следы ожелезнения исчезают, супеси сменяются пылевыми песками с включениями торфа, которые уходят под уровень моря. Супеси и пески в разной степени засолены, состав водорастворимых солей неизменно хлоридно-натриевый. Количество солей в отложениях с глубиной возрастает: степень засоления супесей ниже слоя сезонного оттаивания составляет 0,2%, на глубине 2,3 м — 0,9%, а в песках на глубине 2,5 м увеличивается до 1,3%.

Супеси малольдистые, с массивной криогенной текстурой (суммарная влажность менее 25%) и только на контактах с ПЖЛ наблюдается кайма шириной до 0,6 м сильнольдистых супесей (влажность 90%) с линзовидно-сетчатой криотекстурой (расчистка 1-08).

С глубины 2,5 м малольдистые супеси сменяются льдистыми и сильнольдистыми, а массивная криогенная текстура — на линзовидную, линзовидно-сетчатую и атакситовую (влажность 60–110%). Пески, подстилающие супеси, имеют массивную криотекстуру (суммарная влажность 30%).

В супесях через 3–7 м по простиранию встречаются ПЖЛ шириной 0,8–1,5 м по верху и высотой 1,5–2,0 м. Ледяные жилы имеют четкую клиновидную форму и ровные боковые контакты с вмещающими породами. Иногда желтая кайма ожелезненных песков шириной до 1,0 м (расчистки 1-08, 5-08) облекает ледяные клинья. Видно, что ледяные жилы занимают псевдоморфозы по ранее вытягившим жилам более крупных размеров. Головы ПЖЛ оплавлены, в верхних частях жильный лед замещается линзовидным прозрачным льдом с включениями болотных растений и частицами ила. Линзовидный лед толщиной 0,5 м на глубине 1,5–2,0 м от поверхности (расчистка 4-08) заполняет полости в жилах и вмещающих жилах породах. Протяженность линз достигает 10–20 м. Линзовидный лед в полостях ПЖЛ и вмещающих жилах отложениях вторичный, так как следов морозобойного растрескивания нет. Формирование линзовидного льда связано с локальными процессами термоэрозии, термокарста, образованием и заполнением небольших пещер, возникших при оттаивании в ледяных жилах и льдистых отложениях.

Подземные льды острова пресные, но их минерализация и ионный состав солей меняются в зависимости от генезиса льда. Минерализация ПЖЛ варьирует в диапазоне 30–110 мг/л, в 6 образцах льда содержание ионов хлора составляло 60–93 мг-экв%, а натрия и калия — 48–72 мг-экв%. Минерализация линзовидного льда выше и колеблется от 165 до 244 мг/л, в составе преобладают гидрокарбонат-ионы (52–61 мг-экв%).

В зависимости от генезиса подземного льда изотопный состав $\delta^{18}\text{O}$ и δD меняется в широком диапазоне (таблица). Количество стабильных изотопов в ПЖЛ составляет в среднем $-19,9\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ и $-149,9\text{‰}$ δD (по 22 определениям), а избыток дейтерия — $9,9\text{‰}$. Талая снеговая вода практически не испытывала фракционирования перед замерзанием в трещинах. В современном снежнике количество стабильных изотопов мало отличается от их содержания в ПЖЛ: $-22,2\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ и $-167,5\text{‰}$ δD , а избыток дейтерия (d_{exc}) —

Изотопные характеристики образцов полигонально-жильного льда (ПЖЛ), линзовидного льда и современного снежника на о-ве Сибирякова

Образцы	N	$\delta^{18}\text{O}$, ‰			δD , ‰			d_{exc} , ‰		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
ПЖЛ	22	-21,1	-19,9	-18,8	-157,9	-149,9	-141,4	7,0	9,9	12,2
Линзовидный лед	5	-17,1	-15,7	-14,4	-121,2	-120,0	-108,8	5,6	5,8	6,3
Снег	1		-22,2			-167,5			10,1	

Примечания. N — число определений; $\delta^{18}\text{O}$ — содержание изотопов кислорода; δD — содержание изотопов водорода; d_{exc} — избыток дейтерия: $d_{\text{exc}} = \delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O}$; 1 — минимальное значение; 2 — среднее; 3 — максимальное.

10,1‰. Изотопный состав линзовидного льда более тяжелый и в среднем составляет $-15,7‰$ $\delta^{18}\text{O}$ и $-120,0‰$ для δD . Избыток дейтерия в ледяных линзах не превышает 6,3‰.

Результаты и их обсуждение. Накопление и промерзание четвертичных отложений, слагающих южный и западный берега о-ва Сибирякова, представляются нам следующими. Из супесей в основании разреза на южном побережье острова получены запредельные радиоуглеродные датировки, отложения относятся к тазовскому горизонту (санчуговской свите) [4]. Супеси формировались в условиях морского мелководья, на что указывают хлоридно-натриевый тип засоления и большое количество $\text{C}_{\text{орг}}$ в осадочных отложениях. Накопление супесей происходило одновременно с промерзанием, формировались льдистые засоленные отложения с характерной горизонтально-слоистой криогенной текстурой.

В районе акватории Енисейского залива, там, где сейчас расположено южное побережье о-ва Сибирякова, 27 000 лет назад шло накопление торфа, что позволяет реконструировать континентальные и теплые условия. Такие же условия в это время существовали и в других районах Арктики [8].

Потепление сменилось похолоданием последнего криохрона позднего неоплейстоцена. На осушенном шельфе Карского моря и прилегающей суши происходило накопление и промерзание континентальных отложений, росли сингенетические ПЖЛ. Мы предполагаем, что ПЖЛ последнего криохрона сохранились в центре острова. Сведения о том, что позднеплейстоценовые ПЖЛ распространены на арктических островах, берегах Енисейского залива (п. Диксон, мыс Сопочная Карга) и на п-ове Таймыр известны [10, 12, 14, 16, 18, 19]. По легкому изотопному составу ПЖЛ реконструируются значения среднеянварской температуры воздуха на $12\text{--}15\text{ }^\circ\text{C}$ ниже современных [5, 10, 12—14, 16, 18, 19].

В условиях низкого уровня океана, континентального климата, высоких значений летней температуры в начале голоцена (12 000—9500 л.н.) торфонакопление происходило на островах Сибирякова, Свердруп [14], Новая Сибирь [8]. Термокарст и голоценовая трансгрессия [6] привели к оттаиванию льдистых дисперсных отложений и реликтовых ПЖЛ по берегам острова и частичному оттаиванию в его центральной части.

Быстрое повышение уровня моря обусловило установление климата морского типа. Снизились значения летней температуры, сократился вегетационный период, растительный покров приобрел облик арктических пустынь, возобновился рост ПЖЛ. В первую очередь разрушалась западная часть острова, сложенная пылеватыми отложениями, формировались отмели и осушки. Аккумулятивная поверхность I морской террасы высотой 2—4 м на западном берегу острова возникла 7000—6000 л.н. Одновременно с накоплением и промерзанием засоленных дисперсных отложений росли минерализованные сингенетические ПЖЛ,

формировались поясковые криогенные текстуры. Сингенетические жильные льды, минерализация которых составляет 400—500 мг/л, сохранились в голоценовых прибрежно-морских отложениях I террасы на о-ве Белый и п-ове Явай (Гыдан) [2, 15].

Поверхности высотой 4—6 м на южном берегу о-ва Сибирякова были затоплены во время кратковременной голоценовой трансгрессии [6], а осадконакопление шло в условиях периодически осушаемого мелководья. Торф, возраст которого больше 27 000 лет, перекрыт маломощными песками с галькой. В условиях ляды здесь также росли сингенетические минерализованные ПЖЛ, которые позже вытаяли. Увеличение льдистости и степени засоления отложений с глубиной, посткриогенная текстура, псевдоморфозы свидетельствуют об оттаивании отложений до глубины 2,5 м, деградации минерализованных ПЖЛ и повторном эпигенетическом промерзании отложений. Причиной глубокого сезонного оттаивания, термокарста и торфообразования 3500 л.н., возможно, стало увеличение количества зимних осадков.

На эпигенетический характер ПЖЛ, которые мы наблюдали в береговых обрывах острова, указывают пресный состав льда, четкие ровные контакты жил льда с рассоленными в разной степени вмещающими отложениями. Эпигенетические жилы льда наследуют псевдоморфозы по оттаявшим сингенетическим ПЖЛ. Изотопный состав ПЖЛ близок к таковому современного снега и изменяется в узком диапазоне. Такой же состав изотопов установлен для голоценовых эпи- и сингенетических ПЖЛ в районе Диксона и о-ва Свердруп [9, 14, 19]. Среднеянварские значения температуры воздуха во время формирования ПЖЛ, пересчитанные с помощью уравнения Ю.К. Васильчука [1], составили около $-30\pm 3\text{ }^\circ\text{C}$, что близко к современным значениям январской температуры [11]. Рост эпигенетических жил за последние 3000 лет происходил, когда летние значения температуры воздуха выше, а зимние такие же или немного ниже современных, но при этом осадков зимой выпало существенно меньше.

Колебания снежности зим влияют на рост или деградацию ПЖЛ. Увеличение мощности снега приводит к образованию мелких термокарстовых озер, частичному оттаиванию жил, формированию полостей во льду и вмещающих отложениях и заполнению их поверхностными водами. В малоснежные зимы рост жил возобновляется, а полости заполняются линзовидным льдом, минерализация которого в несколько раз выше, чем у ПЖЛ, а содержание ионов водорастворимых солей (хлор, гидрокарбонат-ион, сульфат-ион и кальций) характерно для пресноводных водоемов. Изотопный состав линзовидного льда более тяжелый, чем у ПЖЛ, а дейтериевый эксцесс отражает условия фракционирования воды в открытых водоемах (рис. 3).

В настоящее время небольшие растущие жилки проникают в более крупные жилы и линзовидный лед, их рост связан прежде всего с локальным умень-

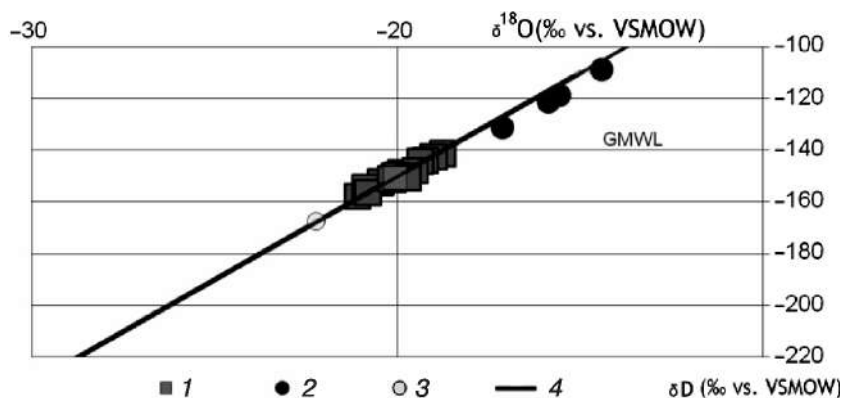


Рис. 3. Соотношение стабильных изотопов в подземных льдах и снеге на о-ве Сибирикова: 1 — полигонально-жильные льды; 2 — линзовидные льды; 3 — снежник на пляже о-ва Сибирикова; 4 — глобальная линия метеорных вод

шением мощности снега на возвышенных участках берега при сильных зимних ветрах.

Заключение. Остров Сибирикова — часть суши, которая существовала 30 000 л.н. на осушенном шельфе Карского моря и была затоплена морем только в голоцене. В пределах этой суши в субэаральных условиях последнего криохрона позднего неоплейстоцена формировались сингенетические ПЖЛ, которые сохранились на арктических островах, берегах Карского моря и п-ове Таймыр.

В голоцене берега о-ва Сибирикова активно разрушаются термоабразионными процессами и реликтовые ПЖЛ на побережье полностью деградируют. На низких аккумулятивных поверхностях растут, а позднее оттаивают сингенетические минерализованные ПЖЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций): В 2 т. М.: РИО Мособлупрополиграфиздат, 1992.
2. Васильчук Ю.К., Трофимов В.Т. О находках сильно-минерализованных повторно-жильных льдов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1984. № 8. С. 129—134.
3. Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей. М.: Высшая школа, 1980. 343 с.
4. Гусев Е.А., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е. и др. Новые геохронологические данные по неоплейстоцен-голоценовым отложениям низовьев Енисея // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 2 (88). С. 36—44.
5. Деревягин А.Ю., Чижов А.Б., Брезгунов В.С. и др. Изотопный состав полигонально-жильных льдов мыса Саблера (оз. Таймыр) // Криосфера Земли. 1999. Т. III, № 3. С. 41—49.
6. Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменение уровней морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1999. 299 с.
7. Опокина О.Л. Происхождение деформаций криолитогенных четвертичных отложений Карского региона: Автореф. канд. дисс. Тюмень, 2010. 19 с.
8. Павлова Е.Ю., Анисимова М.А., Дорожжина М.В., Питулько В.В. Следы древнего оледенения на острове Новая Сибирь (Новосибирские острова) и природные условия района в позднем неоплейстоцене // Лед и снег. 2010. № 2 (110). С. 85—92.
9. Романенко Ф.А. Строение и динамика рельефа островов Карского моря // Динамика арктических побережий России / Под ред. В.И. Соломатина, В.А. Совершаева, И.И. Мазура. М., 1998. С. 131—153.
10. Романенко Ф.А., Михалев Д.В., Николаев В.И. Подземные льды на островах у берегов Таймыра // МГИ. 2001. Вып. 91. С. 129—137.
11. Сервер "Погода России". URL: <http://meteo.infospace.ru/> (дата обращения 25.03.2011).
12. Стрелецкая И.Д., Васильев А.А. Изотопный состав полигонально-жильных льдов Западного Таймыра // Криосфера Земли. 2009. Т. 13, № 3. С. 59—69.
13. Стрелецкая И.Д., Гусев Е.А., Васильев А.А. и др. Новые результаты комплексных исследований четвертичных отложений Западного Таймыра // Там же. 2007. Т. 11, № 3. С. 14—28.
14. Тарасов П.Е., Андреев А.А., Романенко Ф.А., Суллержицкий Л.Д. Палиностратиграфия верхнечетвертичных отложений острова Свердруп (Карское море) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3, № 2. С. 98—104.
15. Трофимов В.Т., Баду Ю.Б., Васильчук Ю.К. Инженерно-геологические условия Гыданского полуострова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 212 с.
16. Чижов А.Б., Деревягин А.Ю., Симонов Е.Ф. и др. Изотопный состав подземных льдов района оз. Лабаз (Таймыр) // Криосфера Земли. 1997. Т. 1, № 3. С. 79—84.

17. Dansgaard W. Stable isotope in precipitation // *Tellus*. 1964. N 16. P. 436—468.

18. Siegert C., Derevyagin A.Y., Shilova G.N. et al. Paleoclimate indicators from permafrost sequences in the Eastern Taymyr Lowland // *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic. Dynamic and History*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. P. 477—499.

19. Streletskaya I., Vasiliev A., Meyer H. Isotopic Composition of Syngenetic Ice Wedges and Palaeoclimatic Reconstruction, Western Taymyr, Russian Arctic // *Permafrost and Periglacial Process*. 2011. Vol. 22. P. 101—106. (Published online in Wiley Online Library) (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ppp.707.

Поступила в редакцию
11.04.2011

I.D. Streletskaya, A.A. Vasiliev, E.A. Slagoda, O.L. Opokina, G.E. Oblogov

POLIGONAL GROUND-ICE WEDGES ON THE SIBIRYAKOV ISLAND (THE KARA SEA)

New data on the composition, cryogenic state and radiocarbon age of the Quaternary sediments at the Sibiryakov Island (the Kara Sea) are presented. The island is a fragment of 30 000-year-old land area which is built of sand and clay icy sediments. By the beginning of the Holocene the majority of land went under the sea and remaining islands were lowered by cryogenic processes. Ground-ice wedges were studied in two cliffs of the lowered surfaces. Chemical composition of ice was analyzed, as well as the amount of stable oxygen and hydrogen isotopes. It was found out that the Late Holocene polygonal ground-ice wedges were formed in the process of epigenetic freezing of sediments under winter temperatures which were close to present-day values. Slower growth and partial degradation of ice were caused by increasing precipitation.

Key words: Quaternary sediments, polygonal ground-ice wedges, isotope and chemical composition of ice, paleoclimatic conditions, cryogenesis.