

Буданцева Н.А., Белова Н.Г., Васильчук А.К., Васильчук Ю.К. Стабильные изотопы кислорода и водорода в голоценовых повторно-жильных льдах на западном побережье Байдарацкой губы, в устье реки Нгарка-Тамбьяха // Арктика и Антарктика. — 2018. - № 1. - С.76-85. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.1.25857. URL: http://e-notabene.ru/arctic/article_25857.html

Стабильные изотопы кислорода и водорода в голоценовых повторно-жильных льдах на западном побережье Байдарацкой губы, в устье реки Нгарка-Тамбьяха

Буданцева Надежда Аркадьевна

кандидат географических наук

старший научный сотрудник, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ)

119992, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, стр. 19

Budantseva Nadine Arkad'evna

PhD in Geography

Senior Scientific Associate, the faculty of Geography, M. V. Lomonosov Moscow State University

119992, Russia, g. Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, stroenie 19

✉ nadin.budanceva@mail.ru



[Другие публикации этого автора](#)

Белова Наталья Геннадиевна

кандидат географических наук

научный сотрудник, МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, Лаборатория геоэкологии Севера

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. Ж10

Belova Natal'ya Gennadievna

PhD in Geography

119991, Russia, g. Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, of. Zh10

✉ nataliya-belova@yandex.ru



Васильчук Алла Константиновна

доктор географических наук

ведущий научный сотрудник, МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, Лаборатория геоэкологии Севера

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. Ж10

Vasil'chuk Alla Constantinovna

Doctor of Geography

119991, Russia, g. Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, of. Zh10

✉ alla-vasilch@yandex.ru



Васильчук Юрий Кириллович

доктор геолого-минералогических наук

профессор, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2009

Vasil'chuk Yuriy Kirillovich

Doctor of Geology and Mineralogy

119991, Russia, g. Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, of. 2009

✉ vasilch_geo@mail.ru



Аннотация

Объектом исследования являются голоценовые повторно-жильные льды, расположенные на западном побережье Байдарацкой губы, в устье реки Нгарка-Тамбьяха. В береговом обрыве изучено строение маломощного полигонально-жильного торфяника, вложенного в отложения террасы высотой 8-17 м. Торф подстилается суглинками серыми сильнольдистыми со слоисто-линзовидной криогенной текстурой. Повторно-жильные льды шириной 1,5-2 м, залегают на глубине 0,8 м, вскрыта верхняя часть жил высотой 1,15 м. Лед жил отобран по горизонтали в верхней части жилы, образцы проанализированы на масс-спектрометре, изучен изотопно-кислородный и изотопно-водородный состав жил. Основными выводами проведенного исследования являются: значения среднезимних температур воздуха в исследуемом районе голоцене составляли от -16 до -19°C , что в среднем на 10°C выше, чем в позднем плейстоцене и близко к современным среднезимним температурам. Полученные результаты дополняют немногочисленную информацию о зимних температурах воздуха в голоцене по району побережья Байдарацкой губы.

Ключевые слова: голоцен, изотопы водорода, изотопы кислорода, жильный росток, повторно-жильный лед, торфяник, радиоуглерод, Нгарка-Тамбьяха, Байдарацкая губа, Арктика

DOI: 10.7256/2453-8922.2018.1.25857

Дата направления в редакцию: 31-03-2018

Дата рецензирования: 31-03-2018

Дата публикации: 07-04-2018

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проекты 17-05-00794 (обобщение) и 17-05-00793 (изотопный анализ) и бюджетного финансирования Московского университета имени М.В. Ломоносова с использованием масс-спектрометрического оборудования, приобретенного на средства Программы развития МГУ.

Abstract

The object of the study are ice wedges of Holocene age on the western coast of the Baydarata Bay, at the mouth of the Ngarka-Tambyakha River. In the coastal cliff structure of a thin polygonal peatland have been studied. The peatland locates in the upper part of terrace 8-17 m high. The peat is underlain by gray icy loam with layered-lenticular cryogenic structure. Ice wedges revealed at the depth 0.8 m. Their width was 1.5-2 m, and outcropped height about 1.15 m high. One representative ice wedge was sampled across horizontal axis in the upper part, samples were analyzed on a mass spectrometer, the oxygen isotope and hydrogen isotope composition of ice wedges was obtained. The main conclusions are: mean winter air temperature in the area in Holocene varied between -16 and -19°C that is about 10°C warmer compared with Late Pleistocene and were close to modern ones. Obtained results complement lacked information on Holocene winter air temperature for the Baydarata Bay coast.

Keywords: Ngarka-Tambyakha, radiocarbon, Holocene, hydrogen isotopes, oxygen isotopes, modern ice vein, ice wedge, peatland, Baydarata Bay, Arctic

Введение

Изотопный состав повторно-жильных льдов является хорошим палеотемпературным индикатором, уравнения, связывающие изотопный состав современных ростков жил с изотопно-кислородным составом апробированы практически во всех районах Российской криолитозоны уже на протяжении около 30 лет [\[1, 2\]](#). В западном секторе Российской криолитозоны пока изучено очень немного ледяных жил, которые могли бы

служить источников достоверной палеотемпературной информации изотопически [3, 4]. В связи с этим данные по району побережья Байдарацкой губы весьма актуальны.

Район исследований и отбор образцов

Изученный разрез располагается вдоль берега Байдарацкой губы в 650 м к ССЗ от устья реки Нгарки-Тамбьяхи ($66^{\circ}50'48''$ в.д., $68^{\circ}51'28''$ с.ш. (рис. 1).

а



б

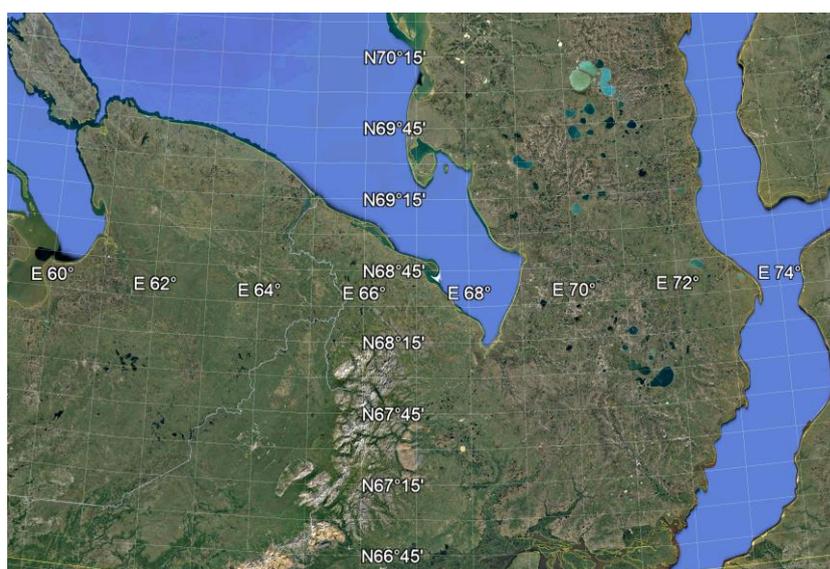


Рис. 1. Район исследований повторно-жильных льдов в устье р. Нгарка-Тамбьяха (красная точка на рис. а) на юго-западном побережье Байдарацкой губы

Изучаемая территория располагается на аккумулятивной равнине, по геоморфологическим особенностям разделенной на террасу, пойму реки Нгарка-

Тамбьяха, лайду и пляж Байдарацкой губы. Террасы правого и левого берегов р. Нгарка-Тамбьяха имеют различные высотные отметки: в южной части (правый берег) исследуемой территории относительные высоты над уровнем губы не превышают 6 м, в северной части (левый берег) – достигают 17 м. Верхняя пачка отложений террас в районе исследований представлена незасоленными осадками континентального, преимущественно аллювиального генезиса [5]. Территория относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Температура пород (на глубине 6,5 м) в среднем составляет $-4,0... -4,5^{\circ}\text{C}$. Мощность сезонно-талого слоя на поверхности террасы в среднем 0,5-0,6 м, а на склоне – от 0,4 до 0,75 м. Глубина сезонного протаивания в нижних частях склона и на пляже может превышать 2 м. Ранее голоценовые повторно-жильные льды на близ лежащей территории в толще мощного торфяника исследованы Ф.А.Романенко и др. [6].

Повторное опробование голоценовых ледяных жил выполнено не из мощного торфяника, а скорее из толщи озерных суглинков, перекрытых торфом мощностью 0,2-0,3 м.

Объектом исследования являются голоценовые повторно-жильные льды, расположенные на западном побережье Байдарацкой губы, в устье реки Нгарка-Тамбьяха. В береговом обрыве (рис. 2, 3) к востоку от устья р. Оюяхи изучено строение маломощного полигонально-жильного торфяника, вложенного в отложения террасы высотой 10-18 м. Торф подстилается суглинками серыми сильнольдистыми со слоисто-линзовидной криогенной текстурой. Повторно-жильные льды шириной 1,5-2 м, залегают на глубине 0,8 м, вскрыта верхняя часть жил высотой 1,15 м. Отбор образцов выполнен в верхней части жил (рис. 4, 5, табл. 1)



Рис. 2. Береговой обрыв террасы высотой от 17 м до 8 м (восточная экспозиция), спускающийся к реке Нгарка-Тамбьяха.

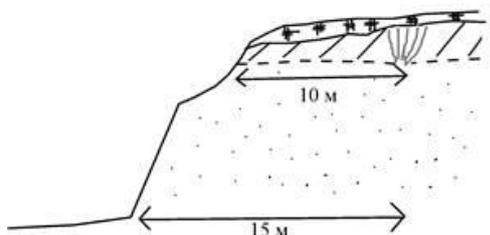


Рис. 3. Поперечный профиль берега в месте отбора образцов. Высота уступа 8 м. Сверху вниз вскрываются: торф (над ПЖЛ мощность 0,2-0,3 м); суглинки серые сильнольдистые (слоисто-линзовидная криогенная текстура), нижняя граница не установлена; пески мелко- и среднезернистые

Методы опробования и аналитических определений

Образцы льда отбирались путём предварительной зачистки стенки обнажения и скалывания льда топором. Образцы льда упаковывались в двойной целлофановый пакет, растапливались при комнатной температуре, а затем разливались во флаконы. Измерения изотопного состава кислорода и водорода льда выполнены в режиме постоянного потока гелия (CF-IRMS) на масс-спектрометре Delta-V с использованием комплекса газ-бенч в изотопной лаборатории географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Изотопный состав выражается в виде δ (‰) относительно среднеокеанической воды V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water). Для калибровки измерений использовались международные стандарты V-SMOW, SLAP, собственный лабораторный стандарт МГУ – снег ледника Гарабаши (значения $\delta^{18}\text{O} = -15,60$ ‰, а $\delta^2\text{H} = -110,0$ ‰). Погрешность определений составила $\pm 0,6$ ‰ для $\delta^2\text{H}$ и $\pm 0,1$ ‰ для $\delta^{18}\text{O}$.

Таблица 1

Ведомость отбора образцов голоценовых ПЖЛ в береговом обрыве в устье реки Нгарка-Тамбьяха (район КС-2 Ярынская)

Номера образцов	Материал отбора	Место отбора
1-7	ПЖЛ	Горизонтальный створ жилы (глубина 0,7-0,8 м от поверхности; в 0,4-0,5 м от кровли жилы), см. рис. 3.
8	ледогрунт	Сильнольдистые серые суглинки с линзовидной криогенной текстурой в 10 см от края жилы, глубина 0,9-1 м от поверхности.



Рис. 4. Голоценовый повторно-жильный лед в месте отбора образцов (а). Длина рулетки – 1,15 м. Створ отбора на глубине 0,4-0,5 м. Строение льда жилы в поляризованном свете (б). Фото Н.Беловой

Результаты изотопных определений

Изотопные вариации в голоценовых повторно-жильных льдах на западном побережье Байдарацкой губы, в устье реки Нгарка-Тамбьяха не очень значительны. Значения $\delta^{18}\text{O}$ изменяются во льду жилы от $-16,71$ до $-18,52$ ‰, а величины $\delta^2\text{H}$ от $-123,0$ до $-142,6$ ‰ (табл. 2, рис. 5). Наиболее высокие значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ получены в центральной части жилы.

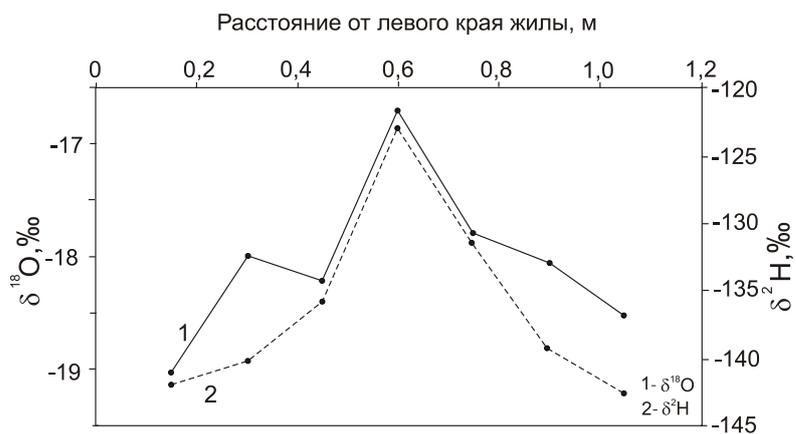


Рис. 5. Распределение значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ во льду ПЖЛ в устье реки Нгарка-Тамбьяха вдоль горизонтального профиля на глубине 0,4-0,5 м от кровли жилы

Наклон линии соотношения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ во льду жилы составляет 8,8 (рис. 6), что близко к наклону глобальной линии метеорных вод (ГЛМВ). Это может быть хорошим подтверждением тому, что жилы формировались преимущественно из талого зимнего снега, с минимальным участием вод другого генезиса. Значения дейтериевого эксцесса во льду жилы варьируют от 3,7 до 10,7 (см. табл. 2). Выявленная вариабельность значений дейтериевого эксцесса может быть результатом смешения воздушных масс, поступающих из разных акваторий.

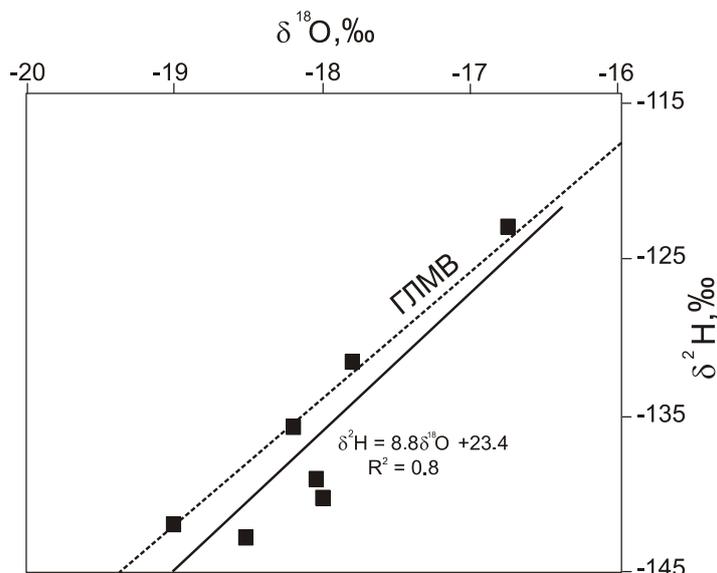


Рис. 6. Соотношение значений $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ во льду ПЖЛ в устье реки Нгарка-Тамбьяха

Таблица 2

Значения $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ и d_{exc} в голоценовых повторно-жильных льдах на западном побережье Байдарацкой губы, в устье реки Нгарка-Тамбьяха, отбор Н.Беловой, сентябрь 2017 г.

№	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	$\delta^2\text{H}$, ‰	d_{exc} , ‰
1	-19,03	-141,9	10,34
2	-17,99	-140,2	3,72
3	-18,22	-135,8	9,96
4	-16,71	-123,0	10,68
5	-17,79	-131,4	10,92
6	-18,05	-139,2	5,2
7	-18,52	-142,6	5,56
8 ледогрунт	-15,29	-117,9	4,42

Реконструкция зимних температур воздуха в голоцене на основе данных по стабильным изотопам

Голоценовый возраст повторно-жильных льдов, исследованных в устье реки Нгарка-Тамбьяха, может быть подтвержден радиоуглеродными датировками, полученными ранее Ф.А. Романенко с соавторами [6] по торфяникам, исследованным на побережье Байдарацкой губы восточнее устья р. Оюяха. В береговом обрыве к востоку от устья р. Оюяхи ими было изучено строение поверхности высотой 10-18 м. Разрез располагается в краевой части котловины, понижающейся к юго-востоку в долине ручья. Нижняя часть разреза (глубина 6,2-10,3 м) сложена серыми и желтовато-серыми разнородными песками с прослоями грубозернистого песка, гравия и сизого суглинка, а также растительного детрита. Практически везде наблюдается тонкая субгоризонтальная, косая и волнистая слоистость, слойки мощностью до 1 см в песках подчеркнуты залегающими прослоями гравия. Строение толщи осложнено изогнутыми прослоями прозрачного льда мощностью до 1 м до 5 м, которые прослеживаются на 70–80 м по простиранию.

Гранулометрический состав осадков, чередование гравийно-песчаных и суглинистых прослоев, а также относительно высокое содержание ионов HCO_3^- , и Ca^{2+} и невысокие значения общей минерализации водной вытяжки указывают на континентальный генезис этих отложений [6]. З.В.Алешинская, проанализировав состав диатомовых водорослей из нижней (песчаной) части толщи, пришла к выводу об ее аллювиальном происхождении [6].

Выше по разрезу (глубина 4,2–6,2 м) залегают супесчано-суглинистые осадки, для которых характерны мелкооскольчатость и значительная льдистость за счет волнисто-линзовидной криогенной текстуры. Их накопление шло, вероятно, в озерных условиях. Характерны прослои ледогрунта и растительного детрита. Верхний суглинистый горизонт обогащен пылью, окатанными стволами и ветками ольховника (*Alnus fruticosa Rupr.*) [2] диаметром до 4–6 см ("пневый горизонт"), возраст которых колеблется от 10900 ± 120 (МГУ-1362) до 8210 ± 110 лет (ГИН-7862а).

Выше находится мощный (до 4,2 м) слой торфа, который не образует единого пласта, а встречается линзами протяженностью до нескольких десятков метров, приуроченных к устьям балок. Состав торфа меняется от злакового низинного до травяно-сфагнового переходного. Широко распространены ледяные линзы и полигонально-жильные льды (ПЖЛ) шириной до 1,5 м и высотой до 2–3 м. Радиоуглеродный возраст образцов из нижней части торфяного слоя с глубины 3,7–4,15 м 8000 ± 125 л.н. (WAT-2924) и 8120 ± 90 л.н. (ГИН-7862б) свидетельствует, что накопление торфа началось около 8000–8200 л.н. [6]. Радиоуглеродная дата 7640 ± 90 л.н. (ГИН-7863) позволяет датировать слой торфа на глубине 3,4–4,2 м концом бореального – началом атлантического периода голоцена. Спорово-пыльцевые спектры и низинный, преимущественно осоковый состав торфа свидетельствуют о заболачивании территории. Его причиной может являться подъем уровня моря к началу атлантического периода практически до современного положения [6]. Серия радиоуглеродных датировок от 7000 ± 80 л.н. (ГИН-7864) до 4140 ± 70 л.н. (WAT-2895) говорит о непрерывном торфонакоплении в течение всего атлантического периода и его прекращении в начале суббореального периода, около 4 тыс. лет назад, что было вызвано, вероятно, понижением уровня Карского моря [6].

Можно полагать, что горизонт торфа, перекрывающий озерные суглинки в устье реки Нгарка-Тамбьяха, накапливался от 8 до 4 тыс. лет назад, рост жил происходил сингенетично формированию торфа.

Ранее по повторно-жильным льдам голоценового возраста в районе исследований были получены значения $\delta^{18}\text{O}$ в диапазоне от $-16,1$ до $-18,6$ ‰ (табл. 3), что соответствует вариациям значений $\delta^{18}\text{O}$ во льду жилы, исследованной нами в устье р.Нгарка-Тамбьяха (диапазон значений $\delta^{18}\text{O}$ – от $-16,7$ до $-18,5$ ‰). Применяя зависимость

изотопно-кислородного состава жильного льда жил от зимних температур воздуха, предложенную Ю.К.Васильчуком [11], можно сделать вывод, что вариации средnezимних температур воздуха в период формирования повторно-жильных льдов в исследуемом районе составляли в среднем от -16 до -19°C .

Сопоставление изотопно-кислородного состава льда голоценовых жил и современных жилок (возраст которых, как правило, не более 100 лет) показывает близкий диапазон вариаций значений: во льду ростка ПЖЛ устье р.Нгарка-Тамбьяха значение $\delta^{18}\text{O}$ составило -19 – $-16,71$ ‰ (см. табл. 2), по ростку в районе пос.Амдерма ранее получено значение $\delta^{18}\text{O} = -15,2$ ‰ [21], два значения $\delta^{18}\text{O}$ в жильных ростках из торфа на Мысе Шпиндлера оказались равны $-13,1$ ‰ и $-16,9$ ‰ [4], по жильному ростку в районе Воркуты получено значение $\delta^{18}\text{O} = -16$ ‰ [2]. Значения $\delta^{18}\text{O}$ в современных зимних осадках варьируют от $-24,9$ ‰ в свежевыпавшем снеге до $-12,5$ ‰ в снеге из снежника [6], скорее всего, подвергнувшегося влиянию летних дождей и испарения. По данным метеостанций Воркута, Амдерма и Усть-Кара [9] современные средnezимние температуры воздуха (средние за период с ноября по март) в районе исследований составляют от -14 до -18°C по данным на 1965 г. Современные зимние температуры воздуха в районе исследований отличаются значительной вариабельностью. Так, по данным метеонаблюдений в пос.Усть-Кара (расположенном примерно в 100 км к северо-западу от устья р. Нгарка-Тамбьяха) в течение зимы 2017-2018 гг. температура воздуха варьировала в диапазоне 20°C (от -1 до -22°C в декабре, от 0 до -30°C в январе, от -3 до -29 °C в феврале) при частой смене направления ветров [8]. Тем не менее, отмечена прямая корреляция средnezимних температур воздуха (от -14 до -18°C) и изотопно-кислородного состава современных жильных ростков ($\delta^{18}\text{O} =$ от -13 до -19 ‰) с допустимым отклонением $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Изотопный состав кислорода в других типах подземных льдов – ледяных линзах и шлирах и пластовых льдах, опробованных на западном побережье Байдарацкой губы, заметно отличается от состава ПЖЛ значительно более широким диапазоном значений $\delta^{18}\text{O}$, достигающим 8 ‰ – от -14 , -15 до $-25,2$ ‰ (см. табл. 4). Эти данные показывают, что сегрегационные линзы и шлиры формируются преимущественно из поверхностных вод и вод сезонно-талого слоя, которые, как правило, характеризуются более “тяжелым” изотопным составом за счет большой доли летних осадков и влияния испарения. Об изотопном составе летних осадков может уверенно свидетельствовать изотопный состав небольших мелких озер (длина не более 50–100 м, глубина 1–1,5 м), исследованных на лайде и I террасе: значения $\delta^{18}\text{O}$ изменяются от $-8,1$ до $-11,1$ ‰ (см. табл. 4). Наклон линии соотношения $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ в воде озер равен 8 (по данным из [6]), что соответствует ГЛМВ и свидетельствует об атмосферной природе воды озер.

Таблица 4

Значения $\delta^{18}\text{O}$ в подземных льдах и поверхностных водах западного побережья Байдарацкой губы. По Ф.А. Романенко и др. [6]

Элемент рельефа	Тип льда или воды	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (диапазон значений)
III терраса высотой 25–40 м в 1,6 км к СЗ от устья р. Оюяхи	ПЖЛ	От $-16,1$ до $-17,6$
	Ледяные линзы и шлиры	От $-14,6$ до $-15,3$
II терраса высотой 10–18 м в 3-4,5 км к В от устья р. Оюяхи	ПЖЛ	От $-17,8$ до $-18,6$
	Ледяные линзы	От $-14,3$ до $-22,7$
	Пластовые льды	От $-17,3$ до $-25,2$
	Снежник	$-12,5$
	Свежевыпавший снег при $t = -5^{\circ}\text{C}$	$-24,9$
I терраса, 3,5-4 км от моря	Вода озера	$-11,1$
Лайда (70-350 м от моря)	Вода озер	От $-8,1$ до $-11,3$

Довольно низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ (от -20 до -25‰) некоторых пластов льда и приуроченность их к песчаной толще "сартанских" отложений объясняются их формированием в более суровых условиях позднего плейстоцена [6]. Значительные изотопные вариации в пластовых льдах могут быть результатом изотопного фракционирования при промерзании в условиях закрытой системы. Существенно более низкие значения изотопно-кислородного состава (по сравнению с голоценовыми) получены Ф.А.Романенко с соавторами по ледяным жилам из разреза сартанских отложений у мыса Мутного на восточном побережье Байдарацкой губы: значения $\delta^{18}\text{O}$ в ПЖЛ варьировали от $-28,5$ до $-30,5\text{‰}$ [6], что свидетельствует о том, что среднезимние температуры воздуха в позднем плейстоцене были не менее чем на $10\text{ }^\circ\text{C}$ ниже, чем в голоцене и в настоящее время.

Выводы

Полученные результаты содержания стабильных изотопов кислорода и водорода по льду сингенетической голоценовой ледяной жилы в устье реки Нгарка-Тамбьяха дополняют ранее полученные изотопные данные по ледяным жилам на побережье Байдарацкой губы и в целом для западного сектора Российской криолитозоны, по которому достоверная палеотемпературная информация пока ограничена. Показано, что формирование ПЖЛ происходило из снега, изотопный состав которого почти не изменен процессами фракционирования, также маловероятно участие в формировании льда жилы вод не атмосферного происхождения, что позволяет с уверенностью реконструировать зимние температуры воздуха для периода формирования жилы. Показано, что в исследуемом районе значения среднезимних температур воздуха в голоцене составляли от -16 до $-19\text{ }^\circ\text{C}$. Вариабельность значений дейтериевого эксцесса может быть результатом смешения воздушных масс, поступающих из разных акваторий.

Сопоставление с изотопным составом позднеплейстоценовых ПЖЛ и современных жильных ростков показало, что среднезимние температуры воздуха в позднем плейстоцене были не менее чем на $10\text{ }^\circ\text{C}$ ниже, современные среднезимние температур воздуха близки к голоценовым.

Библиография

1. Васильчук Ю.К. Корреляция изотопно-кислородного состава повторно-жильных льдов со среднезимними и среднеянварскими температурами воздуха // Изотопы в гидросфере. Тезисы докладов 3-го Всесоюзного симпозиума, М.: Институт водных проблем АН СССР. 1989. С. 82–83 (Vasil'chuk Yu.K. Correlation of oxygen isotope composition of the ice wedges with mean winter and the mean January air temperatures. Isotopes in the hydrosphere: Abstracts of the 3rd All-Union Symposium. Kaunas. June 29-May 1, 1989. Moscow: Publishing House of the Institute of Water Problems of the USSR Academy of Sciences. 1989. P. 82–83)
2. Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). М.: Изд. Отдел. Теоретических проблем РАН. МГУ, ПНИИС. 1992. В 2-х томах. Т.1. – 420 с. Т.2 – 264 с. (Vasil'chuk Yu.K. Oxygen Isotope Composition of Ground Ice (Application to Paleogeocryological Reconstructions).
3. Васильчук Ю.К., Папеш В., Ранк Д., Сулержицкий Л.Д., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Первые для севера Европы 14C -датированные изотопно-кислородная и дейтериевая диаграммы из повторно-жильного льда близ г.Воркуты // Доклады Российской Академии Наук. 2005. Том 405. №. С. 684–689 (Vasil'chuk Yu.K., Papesch W., Rank D., Sulerzhitsky L.D., Vasil'chuk A.C., Budantseva N.A., Chizhova Ju.N. Oxygen-Isotope and Deuterium Diagrams for Ice Wedge Near Vorkuta: First 14C -Dated Plots for Northern Europe // Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Section. 2005. Vol. 401. N2. P. 221–225).
4. Leibman M.O., Lein A.Yu., Hubberten H.-W., Vanshtein B.G., Goncharov G.N. Isotope-geochemical characteristics of tabular ground ice at Yugorsky Peninsula and reconstruction of conditions for its formation // Data of Glaciological Studies (Materialy

- Glaciologicheskikh issledovaniy). Iss. 90. 2001. P. 30–39.
5. Алексютина Д.М., Мотенко Р.Г. Состав, строение и свойства мерзлых и талых отложений побережья Байдарацкой губы Карского моря // Криосфера Земли. 2017. Том 21. №1. С. 13-25.
 6. Романенко Ф.А., Андреев А.А., Сулержицкий Л.Д., Тарасов П.Е., Воскресенский К.С., Николаев В.И. Особенности формирования рельефа и рыхлых отложений западного Ямала и побережья Байдарацкой губы (Карское море) // Проблемы общей и прикладной геоэкологии Севера. М.: МГУ, 2001. С.41-68.
 7. Коняхин М.А., Михалев Д.В., Соломатин В.И. Изотопно-кислородный состав подземных льдов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 156 с.
 8. www.gismeteo.ru
 9. Справочник по климату СССР. Выпуск 1. Архангельская и Вологодская области. Карельская и Коми АССР. Часть II. Температура воздуха и почвы. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, 1965. 360 с.

References (transliterated)

1. Vasil'chuk Yu.K. Korrelyatsiya izotopno-kislorodnogo sostava povtorno-zhil'nykh l'dov so srednezimnimi i sredneyanvarskimi temperaturami vozdukha // Izotopy v gidrosfere. Tezisy dokladov 3-go Vsesoyuznogo simpoziuma, M.: Institut vodnykh problem AN SSSR. 1989. S. 82–83 (Vasil'chuk Y.K. Correlation of oxygen isotope composition of the ice wedges with mean winter and the mean January air temperatures. Isotopes in the hydrosphere: Abstracts of the 3rd All-Union Symposium. Kaunas. June 29-May 1, 1989. Moscow: Publishing House of the Institute of Water Problems of the USSR Academy of Sciences. 1989. P. 82–83)
2. Vasil'chuk Yu.K. Izotopno-kislorodnyi sostav podzemnykh l'dov (opyt paleogeokriologicheskikh rekonstruktsii). M.: Izd. Otdel. Teoreticheskikh problem RAN. MGU, PNIIS. 1992. V 2-kh tomakh. T.1. – 420 s. T.2 – 264 s. (Vasil'chuk Yu.K. Oxygen Isotope Composition of Ground Ice (Application to Paleogeocryological Reconstructions).
3. Vasil'chuk Yu.K., Papesh V., Rank D., Sulerzhitskii L.D., Vasil'chuk A.K., Budantseva N.A., Chizhova Yu.N. Pervye dlya severa Evropy ¹⁴C-datirovannye izotopno-kislorodnaya i deiterievaya diagrammy iz povtorno-zhil'nogo l'da bliz g.Vorkuty // Doklady Rossiiskoi Akademii Nauk. 2005. Tom 405. №. S. 684–689 (Vasil'chuk Yu.K., Papesch W., Rank D., Sulerzhitsky L.D., Vasil'chuk A.C., Budantseva N.A., Chizhova Ju.N. Oxygen-Isotope and Deuterium Diagrams for Ice Wedge Near Vorkuta: First ¹⁴C-Dated Plots for Northern Europe // Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Section. 2005. Vol. 401. N2. P. 221–225).
4. Leibman M.O., Lein A.Yu., Hubberten H.-W., Vanshtein B.G., Goncharov G.N. Isotope-geochemical characteristics of tabular ground ice at Yugorsky Peninsula and reconstruction of conditions for its formation // Data of Glaciological Studies (Materialy Glaciologicheskikh issledovaniy). Iss. 90. 2001. P. 30–39.
5. Aleksyutina D.M., Motenko R.G. Sostav, stroenie i svoistva merzlykh i talykh otlozhenii poberezh'ya Baidaratskoi guby Karskogo morya // Kriosfera Zemli. 2017. Tom 21. №1. S. 13-25.
6. Romanenko F.A., Andreev A.A., Sulerzhitskii L.D., Tarasov P.E., Voskresenskii K.S., Nikolaev V.I. Osobennosti formirovaniya rel'efa i rykhlykh otlozhenii zapadnogo Yamala i poberezh'ya Baidaratskoi guby (Karskoe more) // Problemy obshchei i prikladnoi geokologii Severa. M.: MGU, 2001. S.41-68.
7. Konyakhin M.A., Mikhalev D.V., Solomatin V.I. Izotopno-kislorodnyi sostav podzemnykh l'dov. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1996. 156 s.
8. www.gismeteo.ru
9. Spravochnik po klimatu SSSR. Vypusk 1. Arkhangel'skaya i Vologodskaya oblasti. Karel'skaya i Komi ASSR. Chast' II. Temperatura vozdukha i pochvy. Hidrometeorologicheskoe izdatel'stvo. Leningrad, 1965. 360 s.