

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**  
**РАСШИРЕННОГО ЗАСЕДАНИЯ НАУЧНОГО**  
**СОВЕТА ПО КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ РАН**  
**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОКРИОЛОГИИ»**

С УЧАСТИЕМ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ УЧЕНЫХ,  
ИНЖЕНЕРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ

**МГУ имени М.В. Ломоносова**  
**15–16 мая 2018 г.**

ТОМ 1

**Пленарные доклады**

Часть 1. Региональная и историческая геокриология

Часть 2. Динамическая геокриология

Часть 3. Литогенетическая геокриология (криолитогенез)

Часть 4. Геокриологическое картографирование



УНИВЕРСИТЕТ  
КНИЖНЫЙ ДОМ

Москва, 2018

## Благодарности

Авторы благодарны профессору В.В.Рогову за предоставление оборудования, на котором проводились эксперименты по исследованию испарения воды из грунтов, советы и рекомендации, к.г.н. Н.А. Буданцевой и к.г.н. Ю.Н.Чижовой за помощь в изотопных определениях, И.П.Пушину за консультации по математическим расчетам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект №14-27-00083-П) с использованием масс-спектрометрического оборудования, приобретенного на средства Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

## Литература

1. Буданцева Н.А., Васильчук Ю.К. Утяжеление изотопного состава повторно-жильных льдов Центральной Якутии вследствие активного испарения поверхностных вод // Арктика и Антарктика. 2017. № 3. С. 53–68. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.3.24541.
2. Справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР. Часть 2. Температура воздуха и почвы. Л. Гидрометеоздат. 1966. 403 с.
3. Ichiyanagi K., Sugimoto A., Numaguti A., Kurita N., Ishii Y., Ohata T. Seasonal variation in stable isotopic composition of alaskan lake water near Yakutsk, Eastern Siberia // *Geochemical Journal*. 2003. Vol. 37. P. 519–530.
4. Sugimoto A., Numaguti A., Kurita N., Ichiyanagi K., Takata K., Yamazaki T., Suzuki R., Hiyama, T. Regional-scale observation on radiation, precipitation, isotopic compositions of precipitation and alaskan and lake water, and surface soil moisture // *Activity Report of GAME-Siberia*. 2001; Vol. 26. P. 75–82.
5. Hainbach T. Variability of the Isotopic and Hydrochemical Composition of Lake Bol'shoe Toko, SE Yakutia, Russia / Bachelor Thesis in Geosciences. Inst. Earth and Envir. Sciences, University of Potsdam. 2016. 42 p.
6. Sugimoto A., Yanagisawa N., Naito D., Fujita N., Maximov T. Importance of permafrost as a source of water for plants in east Siberian taiga // *Ecological Research*. 2002. Vol. 17. P. 493–503.
7. Sugimoto A., Naito D., Yanagisawa N., Ichiyanagi K., Kurita N., Kubota J., Kotake T., Ohata T., Maximov T., Fedorov V. Characteristics of soil moisture in permafrost observed in east Siberian taiga with stable isotopes of water // *Hydrol. Proc.* 2003. Vol. 17. P. 1073–1092.
8. Ueta A., Sugimoto A., Iijima Y., Yabuki H., Maximov T. C., Velivetskaya T. A., Ignatiev A. V. Factors controlling diurnal variation in the isotopic composition of atmospheric water vapour observed in the taiga, eastern Siberia // *Hydrol. Process.* 2013; Vol. 27. P. 2295–2305.
9. Васильчук Ю.К., Шмелев Д.Г., Буданцева Н.А., Чербунина М.Ю., Брушков А.В., Васильчук А.К., Чижова Ю.Н. Изотопно-кислородный и дейтериевый состав сингенетических повторно-жильных льдов разрезов Мамонтова Гора и Сырдах и реконструкция позднеплейстоценовых зимних температур Центральной Якутии // Арктика и Антарктика. 2017. №2. С. 112–135.
10. Yang Y.Z., Wu Q.B., Jin H.J., Zhang P.  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  and d-excess signatures of ground ice in permafrost in the Beiluhe Basin on the Qinghai-Tibet Plateau, China // *Sci. in Cold and Arid Regions*. 2017. Vol. 9(1). P. 38–45.
11. Блудушкина Л.Б., Королёв В.А. Влияние гранулометрического состава грунтов на испарении из них влаги // Инженерные изыскания в строительстве // *Материалы шестой научно-практической конференции молодых специалистов*, 2010. С. 12–16.
12. Craig H. Isotope variation in meteoric waters // *Science*. 1961. Vol. 133. P. 1702–1703.
13. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. 1964. Vol. 16. N4. P. 436–468.
14. Sonntag C., Christmann D., Münnich K.O. Laboratory and field experiments on infiltration and evaporation of soil water by means of deuterium and oxygen-18 // *Stable and radioactive isotopes in the study of the unsaturated soil zone*, TECDOC-357, IAEA, Vienna. 1985. P. 145–159.
15. Barnes C.J., Allison, G.B., Tracing of water movement in the unsaturated zone using stable isotopes of hydrogen and oxygen // *J. Hydrol.*, 1988. Vol. 100. P. 143–176.

## ГОЛОЦЕНОВАЯ ПАЛЕОТЕМПЕРАТУРА АНАДЫРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ, ОСНОВАННАЯ НА ИЗОТОПАХ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА ИЗ СИНГЕНЕТИЧЕСКИХ ЛЕДЯНЫХ ЖИЛ

Буданцева Н.А.,<sup>1</sup> Васильчук Ю.К.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный ун-т им. М.В.Ломоносова, географический и геологический факультеты, Москва, Россия; *e-mail* nadin.budanceva@mail.ru

<sup>2</sup>Тюменский государственный ун-т, Тюмень, Россия; *e-mail* vasilch\_geo@mail.ru

Объектом исследований являются синкриогенные голоценовые толщи на побережье залива Онемен, в 2 км от г.Анадырь, исследованы повторно-жильные льды, вскрытые в двух фрагментах обнажения I морской террасы. Показано, что в пределах террасы жилы росли в первой половине голоцена около 8 тыс. лет назад,

жила в торфянике, залегающем в виде вкладки на поверхности террасы, росли во второй половине голоцена. На основании вариаций значений изотопно-кислородного состава льда жил установлено, что среднезимние температуры воздуха в период формирования ледяных жил варьировали в среднем от  $-19$  до  $-17,5$  °C, что на  $2-2,5$  °C ниже современных зимних температур в этом районе.

## HOLOCENE WINTER PALAEOTEMPERATURE OF ANADYR LOWLAND, BASED ON OXYGEN AND HYDROGEN ISOTOPES FROM SYNGENETIC ICE-WEDGE

Budantseva N.A.,<sup>1</sup> Vasil'chuk Yu.K.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Geography and Geology Departments,  
Moscow, Russia, e-mail nadin.budantseva@mail.ru

<sup>2</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russia; e-mail vasilch\_geo@mail.ru

The object of study is syngenetic Holocene ice-wedge complex on the coast of Onemen Gulf, 2 km from Anadyr' town. Ice wedges exposed in two fragments of the first marine terrace were studied in detail. Ice wedge from the upper part of terrace was  $^{14}\text{C}$  dated to about 8 ka BP whereas ice wedges in the peatland within the terrace were formed from mid- to late Holocene. Based on stable oxygen isotope variations in the ice it has been established that mean winter air temperatures during ice wedge growth varied on average from  $-19$  to  $-17,5$  °C, that is  $2-2,5$  °C lower than present ones in the study area.

### Введение

Впервые уравнение, связывающее изотопно-кислородный состав повторно-жильного льда и зимние температуры воздуха, было получено Ю.К. Васильчуком [1]. До этого при палеотемпературной интерпретации изотопно-кислородного состава ледяных жил [2, 3] использовалось уравнение В.Дансгора [4], которое основано на сопоставлении среднегодовых температур воздуха и среднегодовых значений  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в атмосферных осадках. Однако учитывая то, что основным источником питания ледяных жил является вода тающего снега, было высказано предположение [1], что более корректно сопоставлять зимние температуры с величинами  $\delta^{18}\text{O}$  в жилах, поскольку осадки теплого сезона практически не принимают участия в питании повторно-жильных льдов. Эта позиция была изложена В.Дансгору в докладе во время летней школы в Роскильде [5], впоследствии он согласился, что это правильнее, так как морозобойные трещины формируются зимой, заполняются частично снегом, а окончательно – талой снеговой водой из всей накопившейся над морозобойной трещиной годовой толщи снега.

Результаты исследований изотопно-кислородного состава современных ледяных жил в разных районах российской криолитозоны, выполненные в течение последних более чем 25 лет, подтвердили наличие хорошей корреляции со среднезимней температурой воздуха. М. Фукуда с соавторами [6] показали, что жилкам со значениями  $\delta^{18}\text{O} = -21...-23$  ‰ соответствует среднезимняя температура  $-23...-24$  °C; по данным В. Николаева, Д. Михалева [7] жилке со значением  $\delta^{18}\text{O} = -18,5$  ‰ соответствует среднезимняя температура воздуха  $-19$  °C, жилке со значением  $\delta^{18}\text{O}$  равным  $-23,5$  ‰ – среднезимняя температура воздуха  $-23$  °C. По данным Х. Майера с соавторами [8] значению  $\delta^{18}\text{O}$  в современных жилках  $-26$  ‰ соответствовала среднезимняя температура воздуха  $-23$  °C, значению  $\delta^{18}\text{O}$  жилки  $-20,8$  ‰ соответствовала среднезимняя температура воздуха  $-21$  °C.

Коэффициент соотношения  $\delta^{18}\text{O}$  в ростках современных ледяных жил со среднезимней температурой воздуха по расчетам Х. Майера, выполненным в 2003 составил 1,02 [9], тогда как Ю.К. Васильчуком в 1989 г. был получен коэффициент равный 1,0 [1, 10], но с допустимым интервалом  $\pm 2$ , коэффициент соотношения  $\delta^{18}\text{O}$  в ростках современных ледяных жил со средней температурой воздуха в январе составляет 1,5, с допустимым интервалом  $\pm 3$ . Такое хорошее схождение объясняется хорошей статистической представительностью подборки данных, полученных по жилам из разных регионов криолитозоны России, а также отсутствием значимых побочных факторов, таких как фракционирование, сублимация или заметное участие вод иного генезиса при образовании повторно-жильных льдов.

Целью работы является изучение вариаций значений  $\delta^{18}\text{O}$  в сингенетических повторно-жильных льдах голоценового и современного возраста на востоке Чукотки в районе г.Анадырь, выявление особенностей соотношения  $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$  во льду исследованных жил и современного снега, реконструкция зимних температур воздуха в голоцене и сопоставление с современными температурами.

#### Описания местоположения полевых исследований, методика отбора образцов и их изотопного анализа

В июле 2017 г. на побережье залива Онемен, в 2 км от г.Анадырь, исследованы повторно-жильные льды, вскрытые в двух фрагментах обнажения I морской террасы размытого в результате сильных штормов в ноябре 2016 г (рис. 1, б).

В обнажении I морской террасы высотой около 5-7 м вскрыт торфяник мощностью около 1,5 м, подстилаемый супесью мощностью до 2 м. В основании разреза залегает серовато-желтый песок мелкий и средний, горизонтально-слоистый. На поверхности торфяника отмечены полигоны размером 8x12 м. Торф в нижней части торфяника датирован по  $^{14}\text{C}$  в 8180 лет (Ле-11644), указывая на раннеголоценовый возраст исследованного фрагмента. Вертикально-слоистые ледяные жилы залегают преимущественно в супеси, головы жил располагаются в перекрывающем торфе (рис. 2, а). Лед жил серый и желтовато-серый. В тех случаях, когда жилы вскрыты фронтально, лед жил серовато-молочно-белый с большим количеством воздушных включений. В одной из жил (ПЖЛ №1) шириной в верхней части около 0,9 м, вскрытой под межполигональной канавкой, на глубине около 2 м от уровня выпуклого полигона, выполнен отбор образцов. Были отобраны образцы вдоль горизонтальной оси в верхней части жилы на глубине 0,1 м и вдоль вертикальной оси в центре жилы (рис. 2, б).

В 300–350 м вдоль берега залива Онемен обнажением вскрыт разрез озерно-болотной котловины, сниженной на 5-6 м по отношению к предыдущему элементу I морской террасы. Обнажение высотой 3-3,5 м, вскрывает с поверхности торфяник мощностью 2-2,5 м, сложенный торфом темно-коричневым горизонтально-слоистым. Торф подстилается супесью серой, мерзлой, с мелко-слоистой и мелкосетчатой криотекстурой. Под полигональными канавками вскрываются ледяные жилы, шириной

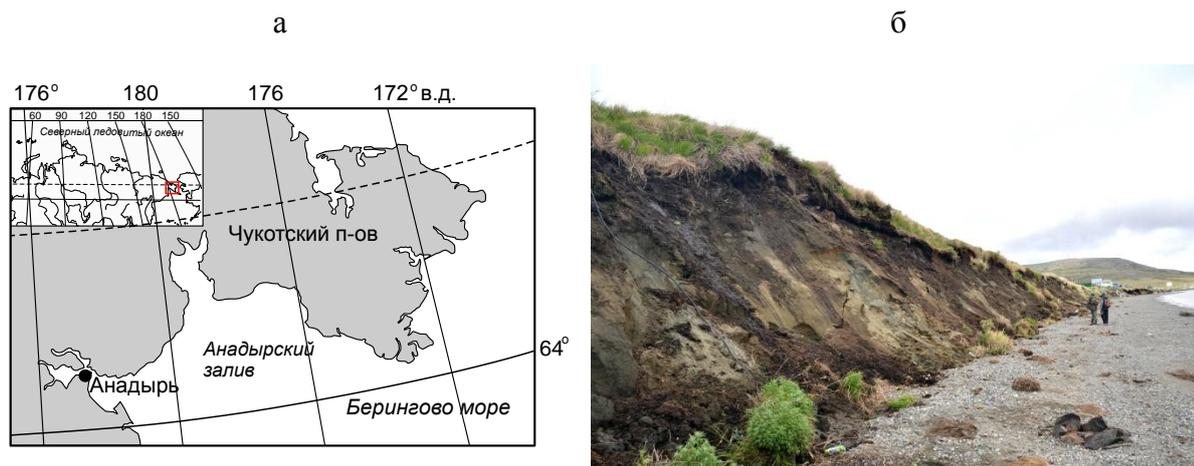


Рис. 1. Район исследований на карте (а) и обнажение I морской террасы на побережье залива Онемен, в 2 км от г.Анадырь (б): слева на переднем плане фрагмент 1 – I морская терраса высотой около 5-7 м, в верхней части которой залегает торфяник мощностью до 1,5 м, вмещающий верхние части ледяных жил, на заднем плане фрагмент 2 – высота террасы 3-4 м, в верхней части которой располагается торфяник мощностью до 3 м, вмещающий повторно-жильный лед. Фото Ю.К.Васильчука

а



б

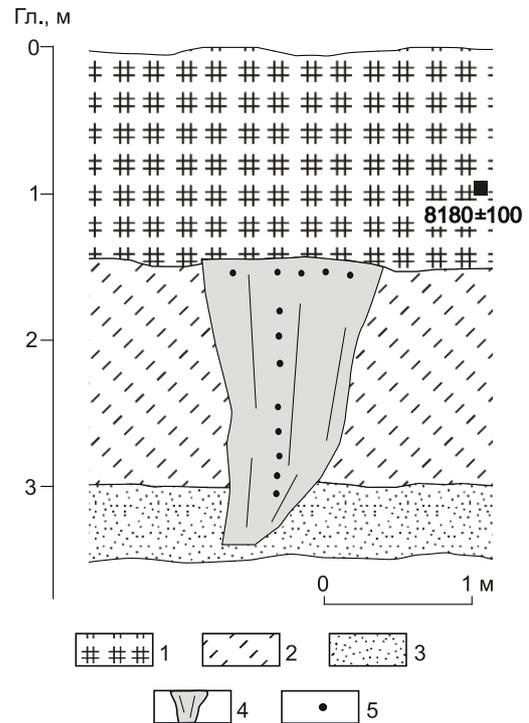


Рис. 2. Фрагмент 1 обнажения I морской террасы на побережье залива Онемен (а) и схема отбора образцов для изотопных из ПЖЛ №1: 1 – торф; 2 – супесь; 3 – песок; 4 – жильный лед; 5 – точки отбора образцов льда (б)

во фронтальном разрезе 0,4-1 м. Лед жил желтовато-серый, пузырчатый (рис. 3, а). Ширина жилы около 1 м, в центральной части в нее внедряются грунтово-ледяные жилки шириной около 5 см, сложенные льдом, торфом и супесью. Кровля супеси заметно изгибается вверх на контактах с жилой, что может указывать на выдавливание супеси по мере роста жилы. Под морозобойной трещиной в торфе залегает современный росток ПЖЛ, проникающий в подстилающую торф супесь. Было получено 5 радиоуглеродных датировок по вмещающему жилу торфу. Верхняя часть торфяника в интервале глубин 0,1-0,3 м датирована от 1200 до 2820 лет (Ле-11640 и Ле-11638). Фрагмент торфяной жилы, которая внедряется в ледяную жилу, датирован в 2390 лет (Ле-11642), а торф из округлой торфяной жилы, располагающейся на одной глубине с ледяной жилой, датирован в 4140 лет (Ле-11643). На основании полученных датировок можно утверждать, что торфяник с ледяными жилами формировался во второй половине голоцена. В одной из наиболее широких в верхней части жил (ПЖЛ №2) был выполнен отбор образцов льда по горизонтали, на глубине 0,1 м от кровли жилы, также отобран образец льда современного ростка (рис. 3, б).

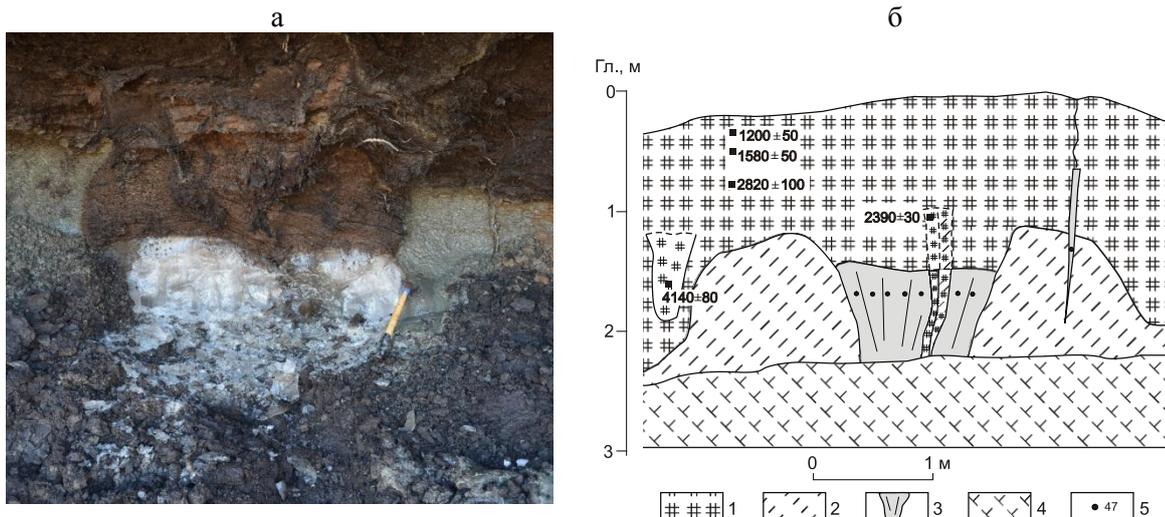


Рис. 3. Фрагмент 2 (торфяник) обнажения I морской террасы близ г. Анадырь, на побережье залива Онемен (а) и схема отбора образцов для изотопных определений из ПЖЛ №2 (б): 1 – торф; 2 – супесь; 3 – жильный лед; 4 – осыпь; 5 – точки отбора образцов льда

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 ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова. Для калибровки измерений использовались международные стандарты V-SMOW, SLAP, собственный лабораторный стандарт МГУ – снег ледника Гарабаши ( $\delta^{18}\text{O} = -15,60 \text{ ‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -110,0 \text{ ‰}$ ). Погрешность определений составила  $\pm 0,6 \text{ ‰}$  для  $\delta^2\text{H}$  и  $\pm 0,1 \text{ ‰}$  для  $\delta^{18}\text{O}$ .

### Результаты изотопных определений

Значения  $\delta^{18}\text{O}$  во льду ПЖЛ №1 жили вдоль горизонтального профиля варьировали от  $-17,8$  до  $-18,6 \text{ ‰}$ , значения  $\delta^2\text{H}$  – от  $-135$  до  $-139,3 \text{ ‰}$ . В центральной части жили были получены немного более низкие значения  $\delta^{18}\text{O}$  – от  $-18,1$  до  $-19,4 \text{ ‰}$ ,  $\delta^2\text{H}$  – от  $-135,7$  до  $-143,2 \text{ ‰}$ , с явной тенденцией снижения с глубиной (рис. 4, линия регрессии).

Значения  $\delta^{18}\text{O}$  во льду ПЖЛ №2 в торфянике вдоль горизонтального профиля в верхней части жили варьировали от  $-17,2$  до  $-18,7 \text{ ‰}$ ,  $\delta^2\text{H}$  – от  $-129$  до  $-136,8 \text{ ‰}$ , наиболее высокие значения отмечены в центральной части жили (рис. 5).

Можно отметить, что верхние части жил двух исследованных фрагментов характеризуются близкими вариациями значений  $\delta^{18}\text{O}$  (диапазон вариаций значений от  $-17,8$  до  $-18,6 \text{ ‰}$ ). Лед в центральной части ПЖЛ №1 характеризуется несколько более низкими значениями  $\delta^{18}\text{O}$  – от  $-18,1$  до  $-19,4 \text{ ‰}$  (табл. 1, см рис. 4, б).

Если рассматривать классическую схему роста повторно-жильного льда, возраст льда увеличивается от центральной оси к краям жили и снизу-вверх. Можно предположить, что на ранних этапах формирования жили в отложениях первой террасы, среднезимние температуры воздуха составляли, согласно зависимости, предложенной Ю.К.Васильчуком,  $-18, -19 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). На заключительных этапах ее формирования среднезимние температуры воздуха были немного выше, и скорее всего, сопоставимы с зимними условиями, при которых происходило формирование повторно-жильных льдов в торфянике, и составляли  $-17,5, -18,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Наклон линии соотношения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  во льду исследованных ледяных жил составляет 5-5,4 и близок к наклону для весеннего снега, отобранного на склоне г.Михаила – сопки, расположенной в районе исследований (рис. 6).

а

б

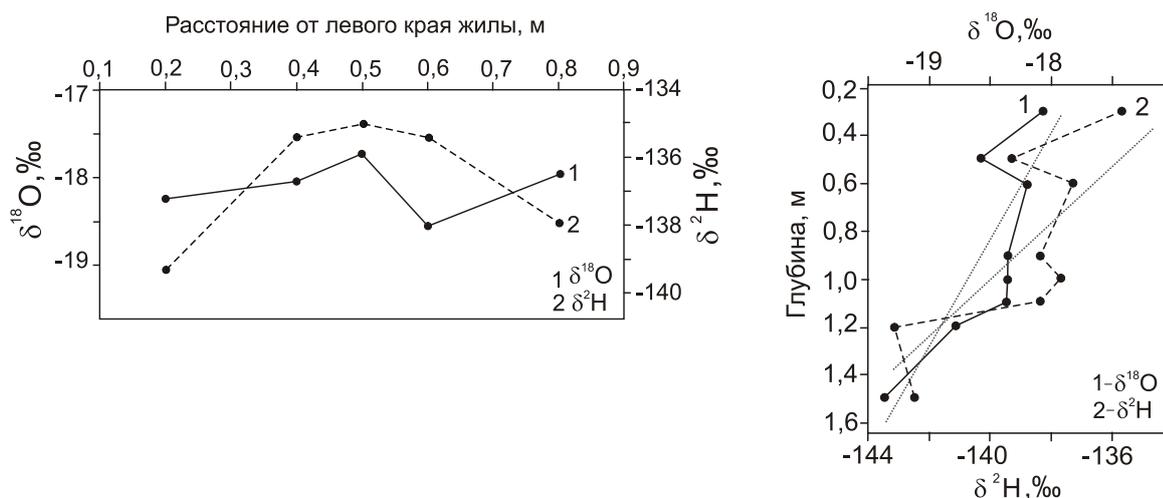


Рис. 4. Вариации  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  во льду ПЖЛ №1: по горизонтали в верхней части жилы (а) и вдоль вертикальной оси в центре жилы (б) на побережье залива Онемен

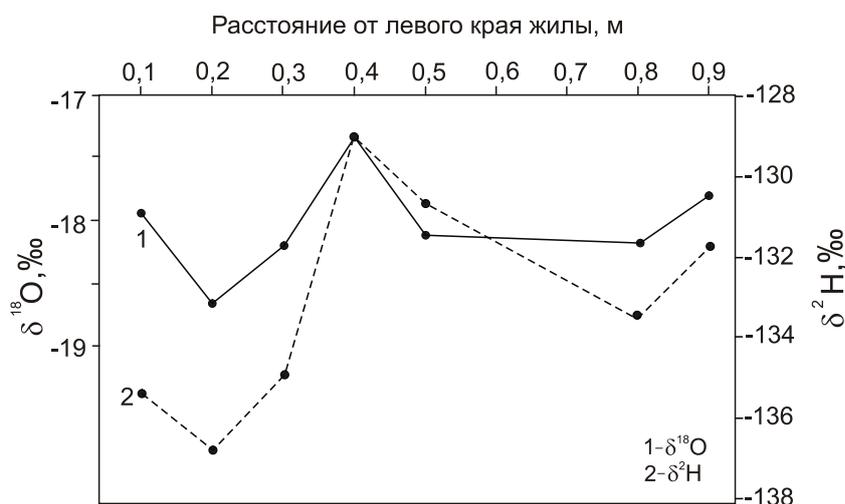


Рис. 5. Распределение значений  $\delta^{18}\text{O}$  во льду ПЖЛ №2 из фрагмента 2 обнажения I морской террасы у г.Анадырь, на побережье залива Онемен

Это может быть хорошим подтверждением тому, что жилы формировались преимущественно из снега, с минимальным участием вод другого генезиса. Значения дейтериевого эксцесса во льду жил, варьирующие от 6,1 до 14,1, близки к значениям в зимних осадках. Современная жилка в верхней части торфяника характеризуется заметно более высокими значениями изотопного состава:  $\delta^{18}\text{O} = -15,8 \text{ ‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -122 \text{ ‰}$ , ранее по современной жилке в районе г.Анадырь было получено значение  $\delta^{18}\text{O}$  равное  $-16,4 \text{ ‰}$  [10].

Эти данные отражают более высокие современные зимние температуры воздуха, в среднем выше на 2–2,5 °C. Согласно зависимости  $t_{\text{ср.январ.}} = 1,5\delta^{18}\text{O} (\pm 3 \text{ °C})$ , говорит о современной средней температуре января в районе исследований 23,7–24,6 °C ( $\pm 3 \text{ °C}$ ), что близко к среднему значению температуры воздуха в январе  $-21 \text{ °C}$  с 1965 по 2015 гг.

Положительный изотопный тренд во льду жил голоценового возраста, особенно во второй половине голоцена, а также заметно более высокие значения изотопного состава современных жилок отмечен во многих районах восточного сектора российской Арктики, а также Аляски и Северного Юкона.

Таблица 1. Значения  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  и  $d_{\text{exs}}$  во льду жил в обнажениях I морской террасы, побережье залива Онемен, район г.Анадыря (точка YuV-17-An)

№ образца	Глубина от кровли жилы/ расстояние от левого края жилы, м	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta^2\text{H}$ , ‰	$d_{\text{exs}}$ , ‰
<b>Обнажение I террасы. ПЖЛ №1</b>				
Отбор по горизонтали на глубине 0,1 м от кровли жилы				
17 An-29	0,2	-18,2	-139,3	6,3
17 An-22	0,4	-18,0	-135,4	8,6
17 An-23	0,5	-17,8	-135	7,4
17 An-24	0,6	-18,6	-135,4	13,4
17 An-25	0,8	-18,0	-137,9	6,1
Отбор по вертикали на расстоянии 0,4 м от левого края жилы				
17 An-17	0,3	-18,1	-135,7	9,1
17 An-14	0,5	-18,6	-139,3	9,5
17 An-11	0,6	-18,2	-137,3	8,3
17 An-5	0,9	-18,4	-138,4	8,8
17 An-2	1,0	-18,4	-137,7	9,5
17 An-21	1,1	-18,4	-138,4	8,8
17 An-20	1,2	-18,8	-143,2	7,2
17 An-19	1,5	-19,4	-142,5	12,7
<b>Обнажения торфяника на поверхности I морской террасы. ПЖЛ №2</b>				
Отбор по горизонтали на глубине 0,1 м от кровли жилы				
17 An-47	0,1	-17,9	-135,4	7,8
17 An-48	0,2	-18,7	-136,8	12,8
17 An-49	0,3	-18,2	-134,9	10,7
17 An-50	0,4	-17,3	-129,0	9,4
17 An-51	0,5	-18,1	-130,7	14,1
17 An-54	0,8	-18,2	-133,5	12,1
17 An-55	0,9	-17,8	-131,8	10,6
Современный росток ПЖЛ				
17 An-56		-15,8	-122,0	4,4

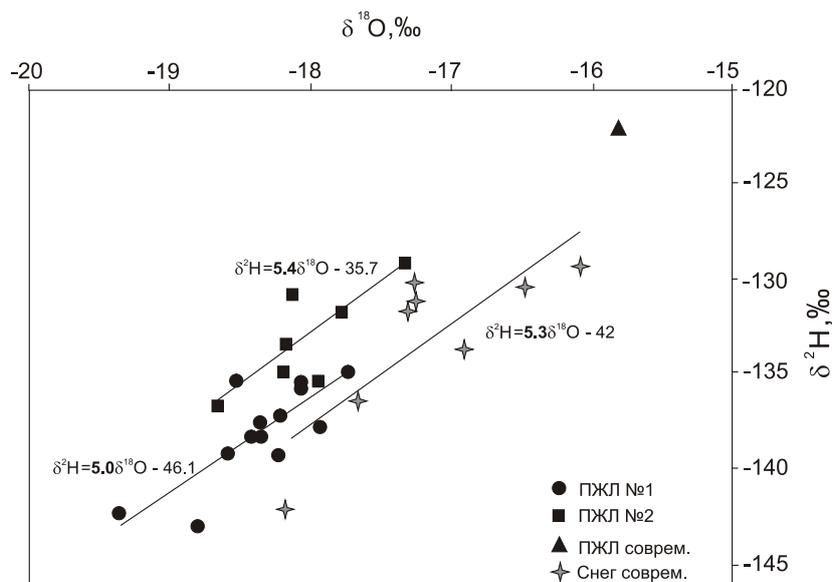


Рис. 6. Соотношение  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  во льду ПЖЛ №1 и №2 и современном жильном ростке на побережье залива Онемен в районе г.Анадырь. Для сравнения приведены данные по весеннему снегу, отобранному на г.Михаила

Так, высокоразрешающая изотопно-кислородная запись по сингенетической голоценовой ледяной жиле в дельте р.Лена отражает стабильный положительный тренд значений  $\delta^{18}\text{O}$  за последние 7 тыс. лет от  $-26,5$  до  $-24$  ‰, что отражает тренд повышения зимних температур воздуха во второй половине голоцена [11].

По голоценовым ледяным жилам в районах Барроу и Прадхо Бей на севере Аляски средние значения  $\delta^{18}\text{O}$  составили  $-21,3$  ‰ и  $-23,4$  ‰, повторно-жильные льды средне- и позднеголоценового возраста в районе Олд Кроу, Северный Юкон, характеризуются значениями  $\delta^{18}\text{O}$  от  $-24$  до  $-27$  ‰ [13]. Молодые ледяные жилы на севере Аляски характеризуются более высокими значениями  $\delta^{18}\text{O}$   $-17,4$  ‰ и  $-16,6$  ‰, (Барроу и Прадхо Бей, соответственно). Такой заметный сдвиг в сторону более высоких значений изотопного состава может отражать повышение зимних температур воздуха [12]. Наклон линии соотношения  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  во льду жил варьирует от 4,5 до 9,6, что отражает их формирование преимущественно за счет талого снега. В районе Барроу отмечена деградация голоценовых жил с середины 20 в. до начала 21 в., в районе Прадхо Бей – с конца 80-х гг. 20 в. до 2011-2012 гг. [12].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №17-05-00793 – интерпретация результатов) РНФ (проект №14-27-00083-П) с использованием масс-спектрометрического оборудования, приобретенного на средства Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

#### Литература

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.: Изд. Институт водных проблем АН СССР. 1989. С. 82–83.
2. Васильчук Ю.К., Трофимов В.Т. Изотопно-кислородная диаграмма повторно-жильных льдов Западной Сибири, ее радиологический возраст и палеогеокриологическая интерпретация // Доклады АН СССР. 1984. Том 275. N 2. С.425–428.
3. Васильчук Ю.К., Есиков А.Д., Опруненко Ю.Ф., Васильчук А.К., Сулержицкий Л.Д. Новые данные по содержанию стабильных изотопов кислорода в сингенетических повторно-жильных льдах позднеплейстоценового возраста низовий р.Колымы // Доклады АН СССР. 1985. Том 281. N4. С. 904–907.

4. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. 1964. Vol. 16. N4. P.436–468.
5. Vasil'chuk Yu., Vasil'chuk A. Oxygen-isotope composition dynamics of Northern Eurasia cryosphere during last 40 Kyr // Summer school on isotope effects as tools in basic and environmental research. Roskilde, Denmark, June, 24–28, 1995. Abstracts. Publications of University of Roskilde. 1995. P. 41–42.
6. Fukuda M., Nagaoka D., Saijyo K., Nakamura T., Kunitsky V. Radiocarbon dating results of organic materials obtained from Siberian permafrost areas // *Rep. Inst. Low Temp. Sci.*, Sapporo: Hokkaido Univ. 1997. P. 17–28.
7. Nikolayev V.I., Mikhalev D.V. An Oxygen-Isotope Paleothermometer from Ice in Siberian Permafrost // *Quaternary Research*. 1995. Vol. 43, Iss.1. P. 14–21.
8. Meyer H., Dereviagin A., Siegert C., Schirmmeister L., Hubberten H.W. Palaeoclimate reconstruction on Big Lyakhovsky Island, North Siberia – hydrogen and oxygen isotopes in ice wedges // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2002. Vol. 13. P. 91–105.
9. Meyer H. Late Quaternary climate history of Northern Siberia – evidence from ground ice (Die spätquartär Klimageschichte Nordsibiriens – Ergebnisse aus Untersuchungen an Grundeis) // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. H. 2003. N 461. 112 p.
10. Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). М.: Изд. Отдел. Теоретических проблем РАН. МГУ, ПНИИИС. 1992. В 2-х томах. Т.1. – 420 с. Т.2. 264 с.
11. Meyer H, Opel T, Laepple T, Dereviagin AY, Hoffmann K, Werner M. Long-term winter warming trend in the Siberian Arctic during the mid- to late Holocene // *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. P. 122–125.
12. Kanevskiy M., Shur Y., Jorgenson T., Brown D.R.N., Moskalenko N., Brown J., Walker D.A., Raynolds M.K., Buchhorn M. Degradation and stabilization of ice wedges: Implications for assessing risk of thermokarst in northern Alaska // *Geomorphology*. 2017. Vol. 297. P. 20–42.
13. St-Jean M., Lauriol B., Clark I.D., Lacelle D., Zdanowicz C. Investigation of ice-wedge infilling processes using stable oxygen and hydrogen isotopes, crystallography and occluded gases (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar) // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2011. Vol. 22. Iss. 1. P. 49–64.

## **КОМБИНИРОВАННЫЙ <sup>14</sup>C АНАЛИЗ ПЫЛЬЦЫ И МИКРОВКЛЮЧЕНИЙ ОРГАНИКИ ДЛЯ ДАТИРОВАНИЯ ЛЕДЯНЫХ ЖИЛ ЕДОМЫ БИЗОН, НИЗОВЬЯ РЕКИ КОЛЫМЫ**

**Васильчук А.К.,<sup>1</sup> Васильчук Ю.К.,<sup>1,2</sup> ван дер Плихт Й.,<sup>3</sup> Ким Й.-Ч.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный ун-т им. М.В.Ломоносова, географический и геологический факультеты, Москва, Россия; *e-mail* alla-vasilch@yandex.ru

<sup>2</sup>Тюменский государственный ун-т, Тюмень, Россия; *e-mail* vasilch\_geo@mail.ru

<sup>3</sup>Центр изотопных исследований, Гронингский университет, Нидерланды; *e-mail* j.van.der.plicht@rug.nl

<sup>4</sup>Межвузовский центр исследований естественных наук, Сеульский национальный университет, Сеул, Корея; *e-mail* jckim@phy.snu.ac.kr

Едомная позднеплейстоценовая толща Бизон, расположена на правом берегу реки Колымы, в устье протоки Лакеевская, в 15 км ниже Дуванного Яра. Комбинированный радиоуглеродный анализ разных видов органического материала, извлеченного из позднеплейстоценовых повторно-жильных льдов и интерпретация его результатов с использованием палинологической характеристики датированных образцов – основная цель данного исследования.

## **COMBINED <sup>14</sup>C ANALYSIS OF POLLEN AND ORGANIC MICROINCLUSIONS FOR DATING BISON YEDOMA ICE WEDGES, LOWER KOLYMA RIVER**

**Vasil'chuk A.C.,<sup>1</sup> Vasil'chuk Yu.K.,<sup>1,2</sup> van der Plicht J.,<sup>2</sup> Kim J.-C.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Geography and Geology Departments, Moscow, Russia; *e-mail* alla-vasilch@yandex.ru

<sup>2</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russia; *e-mail* vasilch\_geo@mail.ru

<sup>3</sup>Center for Isotope Research, Groningen University, The Netherlands; *e-mail* j.van.der.plicht@rug.nl

<sup>4</sup>Seoul National University, Physics Department, Seoul, Korea, *e-mail*

<sup>3</sup>Inter-University Center for Natural Science Research Facility, Seoul National University, Seoul, Korea; *e-mail* jckim@phy.snu.ac.kr

The Late Pleistocene Bison yedoma is situated on the right bank of the Kolyma River, in the mouth of the Lakeevskaya Channel, 15 km downstream of the Duvanny Yar. Combined analysis of different organic fractions extracted from ice wedges and interpretation of these data using pollen characteristic of the AMS <sup>14</sup>C aged samples of the ice is the main aim of this study.