

УДК 551.345 : 550.42

## НОВЫЕ ИЗОТОПНО-КИСЛОРОДНЫЕ ДИАГРАММЫ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ И ГОЛОЦЕНОВЫХ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ МАМОНТОВОЙ ГОРЫ И СЫРДАХА, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ

Ю. К. Васильчук<sup>1,\*</sup>, Д. Г. Шмелев<sup>2</sup>, М. Ю. Чербунина<sup>1</sup>, Н. А. Буданцева<sup>1</sup>,  
А. В. Брушков<sup>1</sup>, А. К. Васильчук<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН А.П. Лисициным 12.04.2017 г.

Поступило 24.04.2017 г.

Основная задача данной работы — исследование изотопно-кислородного состава позднеплейстоценовых и голоценовых сингенетических повторно-жильных льдов разрезов Мамонтова Гора и Сырдах с использованием ускорительной масс-спектрометрии и привязка их во времени, реконструкция зимних температур периодов формирования жил. При прямом датировании микровключений органики из жил методом AMS получены семь дат в диапазоне 13–19 тыс. лет назад, которые указывают на то, что жилы моложе 20, но старше 10 тыс. лет. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  в позднеплейстоценовых жилах Мамонтовой Горы изменяются от  $-24,7$  до  $-30,9$  ‰, величины  $\delta^{18}\text{O}$  в голоценовых жилах изменяются от  $-23,2$  до  $-25,9$  ‰. В районе оз. Сырдах вариации значений  $\delta^{18}\text{O}$  составили от  $-29,2$  до  $-32,5$  ‰. Реконструированные по изотопным данным среднезимние температуры воздуха большую часть периода формирования позднеплейстоценовых ледяных жил Мамонтовой Горы находились в диапазоне от  $-28$  до  $-31$  °С, среднеянварские температуры достигали  $-42$ ,  $-46$  °С, в районе оз. Сырдах зимние условия были немногим более суровыми: среднезимние температуры воздуха меняются в основном от  $-30$  до  $-32$  °С, среднеянварские температуры достигали  $-44$ ,  $-48$  °С. В голоцене среднезимние температуры были выше: от  $-24$  до  $-28$  °С, среднеянварские — от  $-36$  до  $-42$  °С.

*Ключевые слова:* повторно-жильные льды, стабильные изотопы кислорода, поздний плейстоцен, голоцен, зимняя палетемпература воздуха, Центральная Якутия.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-56524863365-370>

Основная задача данной работы — исследование изотопно-кислородного состава позднеплейстоценовых и голоценовых сингенетических повторно-жильных льдов разрезов Мамонтова Гора и Сырдах с использованием масс-спектрометра Delta V Plus и привязка их во времени с применением AMS-датирования, реконструкция зимних температур периодов формирования жил.

Разрез озёрной вкладки Мамонтовой Горы на левобережье Алдана ( $64^\circ$  с.ш.,  $134^\circ$  в.д., рис. 1) вызвал существенные затруднения при датировании.

Ледяные жилы высотой более 5 м в верхней части 50–60-метровой террасы залегают в озёрно-болотных вкладах, венчающих её разрез. Отложе-

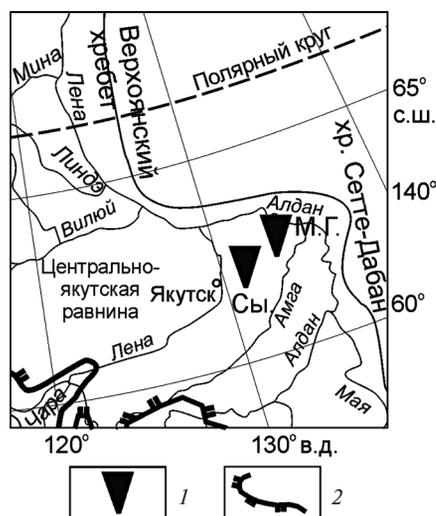
ния мощностью 9–12 м представлены тёмно-серыми озёрными суглинками. Первоначально на основании множества датировок по древесине из озёрных суглинков их накопление оценивалось периодом от 35 до 46 тыс. лет [1, 2]. Мы также получили две даты по древесине из суглинков на глубине 2,6 м — 35 тыс. лет и на глубине 8,0 м — 38,4 тыс. лет. Считая древесину переотложенной, и исходя из возраста прослой автотонного торфа, залегающего на глубине 2 м на контакте серого и бурого суглинков, по которому была получена голоценовая дата 4,8 тыс. лет, Ю.К. Васильчук предположил, что возраст жил намного меньше и часть их даже голоценовая [3].

Определённую ясность внесло прямое датирование микровключений органики из жил методом AMS [4]. Полученные семь дат в диапазоне 13–19 тыс. лет назад указывают на то, что жилы моложе 20, но старше 10 тыс. лет (табл. 1).

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

<sup>2</sup>АО «Газотрубопровод», Рязань

\*E-mail: vasilch\_geo@mail.ru



**Рис. 1.** Местоположение исследованных разрезов позднеплейстоценовых повторно-жильных льдов (1) Мамонтовой Горы (М.Г.) и оз. Сырдах (Сы.) и южная граница зоны сплошного с поверхности распространения многолетнемерзлых пород (2).

Интересно, что одной из первых была получена дата  $26\,800 \pm 600$  лет (МГУ-ИОАН-44) по древесине из суглинков на глубине 5,5 м, однако её сочли омоложенной вследствие плохой сохранности древесины [1, с. 163]. В свете полученных AMS датировок

по льду жил она представляется [5] более близкой к истинному времени накопления суглинков, хотя и несколько более древней, так как, скорее всего, почти вся древесина в этих суглинках переотложена ручьями из более древних позднеплейстоценовых осадков. Увеличение радиоуглеродного возраста микровключений органики сверху вниз наглядно подтвердило наличие горизонтальной стратификации повторно-жильного льда, который, хотя и накапливается в повторно возникающих морозобойных трещинах, формируется практически одновременно с накоплением отложений.

Конечно, нельзя утверждать, что жильный комплекс Мамонтовой Горы уже датирован с полной определённой. Дальнейшее датирование жил из этого разреза должно, как нам представляется, ответить на эти и другие вопросы этого интересного криогенного феномена.

Ревизия всех полученных к настоящему времени датировок из этого разреза даёт основание считать возраст жил позднеплейстоценовым и датировать время их образования от 13 до 19 тыс. лет [4].

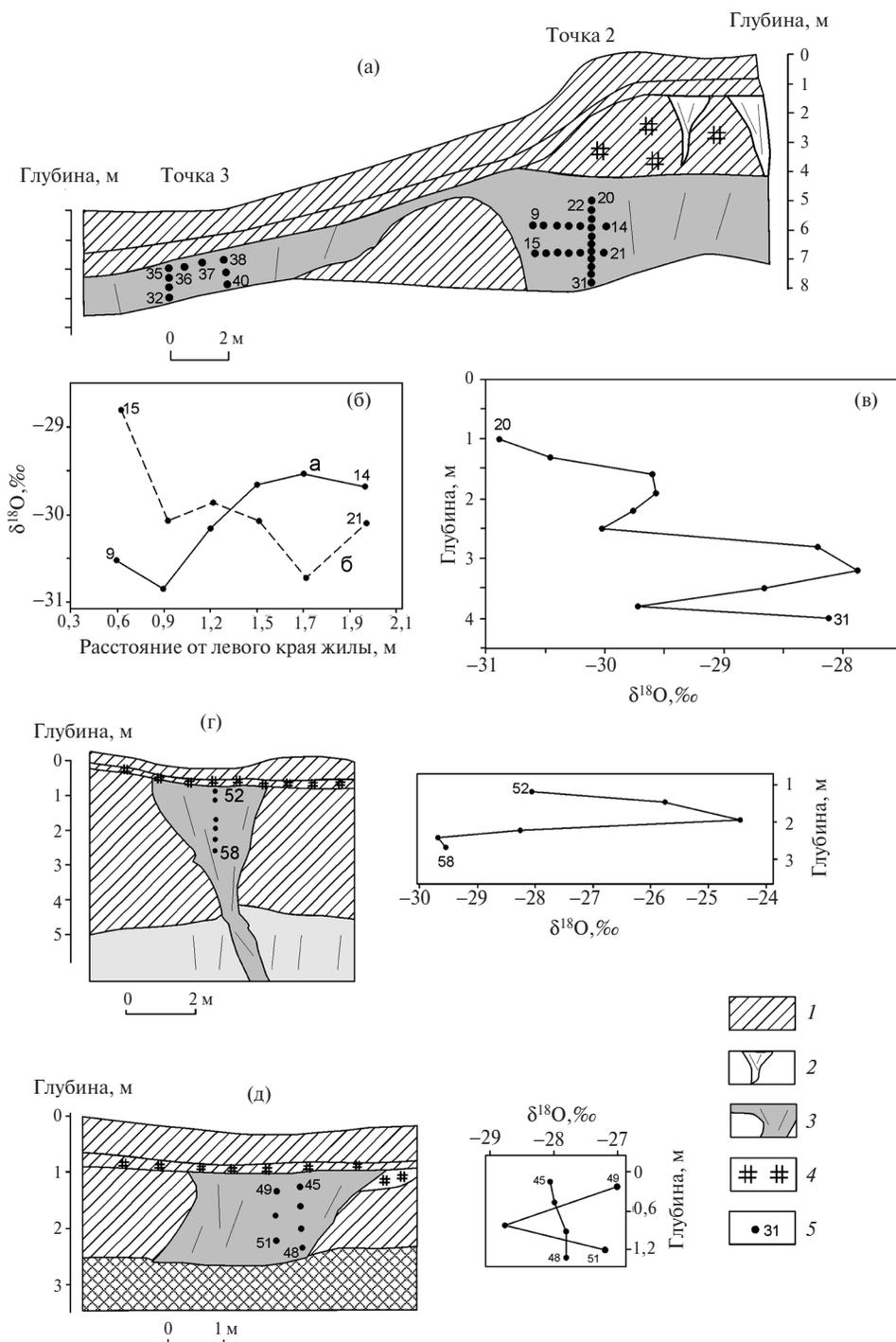
Работы, выполненные немецкими и российскими исследователями на этом разрезе, показали, что

**Таблица 1.** Радиоуглеродное датирование органики из повторно-жильных льдов и вмещающих их отложений Мамонтовой Горы (по [5])

Глубина, м	$^{14}\text{C}$ -даты (лет)	Лабораторный номер	Калиброванные $^{14}\text{C}$ -даты (лет)
AMS датировки по микровключениям органики непосредственно из ледяных жил			
2,6	$13\,950 \pm 200$	SNU02-141	15 544–14 373
5,0	$16\,190 \pm 250$	SNU02-142	18 186–16 984
2,0	$17\,040 \pm 100$	SNU01-283	18 900–18 310
6,0	$18\,400 \pm 400$	SNU02-140	21 306–19 325
6,1	$18\,900 \pm 200$	SNU02-139	21 369–20 445
4,2	$19\,050 \pm 180$	SNU01-285	21 481–20 565
3,2	$19\,800 \pm 600$	SNU01-284	23 421–20 592
Датировки органики из вмещающих жилы отложений			
2,2	41 230	KI-5183	Более 41 230*
2,6	$35\,000 \pm 400$	ГИН-4604	38 525–36 718
3,0	$40\,600 \pm 500$	МГУ-ИОАН-56	43 154–41 303
5,0	$42\,150 \pm 3700$	SI-1965	Более 40 407*
5,5	$26\,800 \pm 600$	МГУ-ИОАН –44	30 256–27 616
8,0	$38\,400 \pm 500$	ГИН-4603	41 262–39 887
8,0	$44\,000 \pm 1900$	МГУ-ИОАН –121	Более 43 043*
8,0	$46\,700 \pm 1500$	SI-1972	Более 47 795*

значения  $\delta^{18}\text{O}$  в ледяных жилах меняются от  $-28,5$  до  $-31,5\text{‰}$  [6], а ранее получены данные о более широком диапазоне вариаций величин  $\delta^{18}\text{O}$  от  $-25,9$  до  $-29,2\text{‰}$  в верхней части жилы и от  $-16,5$  до  $-22,7\text{‰}$  в высокоминерализованном “хвосте” жилы [3].

Ледовый комплекс Мамонтовой Горы был повторно исследован авторами в 2016 г. На левом берегу р. Алдан в обнажении 55-метровой террасы вскрыты: в верхней 5-метровой части разреза — суглинки, тёмно-серые и чёрные, с толстошлировой криотекстурой, с включениями органики, содержа-



**Рис. 2.** Позднеплейстоценовые ледяные жилы в обнажении 50-метровой террасы разреза Мамонтова Гора (а–в — точки 2 и 3, г — точка 6, д — точка 5); 1 — суглинок; 2 — жильный лёд молочно-белого цвета; 3 — жильный лёд мутный; 4 — торф и растительные остатки; 5 — точки отбора образцов жильного льда на изотопный анализ. Распределение значений  $\delta^{18}\text{O}$  в ПЖЛ т. 2: б — по горизонтали на глубине 2 м (1) и 3 м (2); в — по вертикали.

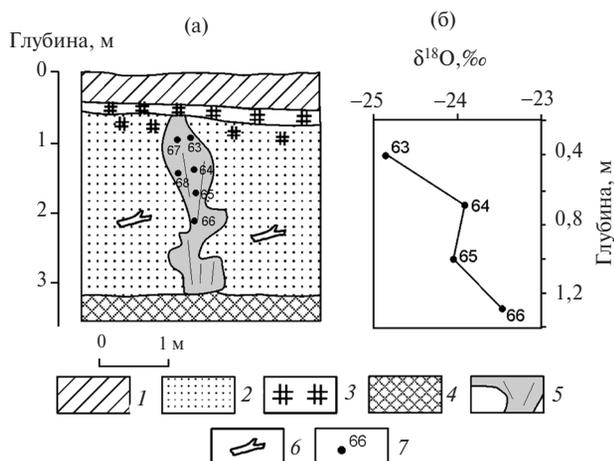
шие узкие повторно-жильные льды, высотой до 3 м; ниже залегает 10-метровая толща позднеплейстоценовых серых и тёмно-серых суглинков с массивной криотекстурой, с включениями растительных остатков, содержащих повторно-жильные льды шириной до 3–4 м, высотой до 8 м. Суглинки подстилаются песками и галечниками, содержащими псевдоморфозы. В термоцирках были детально опробованы фрагменты четырёх позднеплейстоценовых жил (рис. 2) и одной голоценовой жилы (рис. 3). Отобраны образцы для изотопно-кислородного анализа по вертикали и горизонтали. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  в позднеплейстоценовой жиле в точке 2 изменяются: по горизонтали — в диапазоне не более 2,0‰ (табл. 2, рис. 2) — от  $-29,5$  до  $-30,9$ ‰ (на глубине

2 м) и от  $-28,8$  до  $-30,8$ ‰ (на глубине 3 м). Вариации величин  $\delta^{18}\text{O}$  вдоль вертикального профиля составили 3‰: от  $-27,9$  до  $-30,9$ ‰, при этом отмечается тенденция к повышению значений сверху вниз. В верхней части позднеплейстоценовой жилы, возможно содержащей включения льда голоценовой жилы (или формировавшейся с участием озёрно-болотных вод) в точке 3 (см. рис. 2) отмечены более высокие значения  $\delta^{18}\text{O}$  от  $-24,7$  до  $-29,6$ ‰ (табл. 2).

На правом берегу, на пойме р. Алдан, в голоценовых песках, содержащих древесные остатки, исследованы ледяные жилы. В одной из жил величины  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $-23,2$  до  $-25,9$ ‰ (рис. 3, табл. 2), что даже несколько выше, чем в современных жилках на пойме р. Алдан.

Позднеплейстоценовые жилы были исследованы авторами в 2016 г. в районе оз. Сырдах. В пределах аласа в стенке термоцирка, в тёмно-серых льдистых суглинках вскрыт фрагмент ледяной жилы. Голова жилы перекрыта слоем суглинка с включениями органики. Были отобраны образцы льда как по горизонтали, так и по вертикали. Вариации значений  $\delta^{18}\text{O}$  по горизонтали составили от  $-29,2$  до  $-32,5$ ‰ (на глубине 0,5 м) и от  $-30,5$  до  $-31,5$ ‰ (на глубине 1,2 м). По вертикали величины  $\delta^{18}\text{O}$  изменялись в узком диапазоне от  $-30$  до  $-31,8$ ‰ (табл. 2, рис. 4).

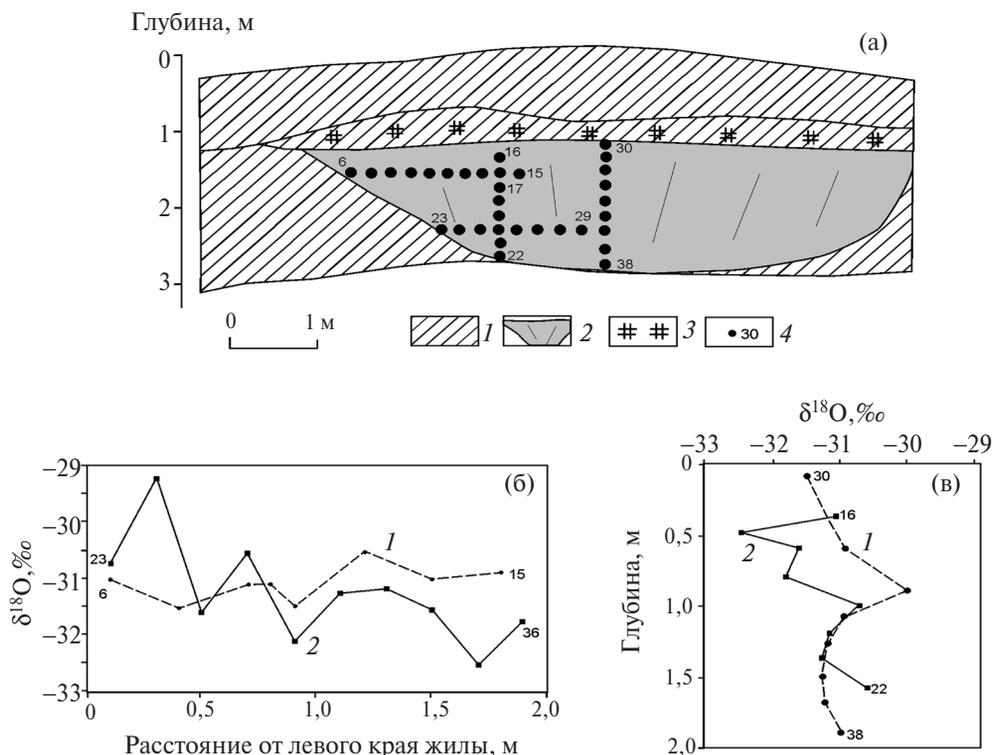
Изотопный состав ледяных жил в окрестностях оз. Сырдах и рядом расположенного оз. Улахан Сырдах ранее исследован С. Поппом и др. [6]. Ширина вскрытых ледяных жил по их описаниям достигает 2–3 м. Их вертикальная мощность меняется от 0,8 до 2,3 м, но предположительно, достигает 10 м. По органике, отобранной из плейстоценовой жилы



**Рис. 3.** Голоценовые ледяные жилы (а) и распределение в них значений  $\delta^{18}\text{O}$  в обнажении высокой поймы на правом берегу р. Алдан (б): 1 — суглинок; 2 — песок; 3 — торф и растительные остатки; 4 — оплывина; 5 — жильный лёд мутный; 6 — древесные остатки; 7 — точки отбора образцов жильного льда на изотопный анализ.

**Таблица 2.** Минимальные, средние и максимальные значения  $\delta^{18}\text{O}$  в ПЖЛ разрезов Мамонтова Гора и оз. Сырдах

Местоположение и точка отбора	Значения $\delta^{18}\text{O}$ ,‰ в повторно-жильных льдах		
	Миним.	Средн.	Макс.
<b>Мамонтова Гора</b>			
Точка 2, позднеплейстоценовая ледяная жила	$-30,89$	$-29,69$	$-27,89$
Точка 3, позднеплейстоценовая ледяная жила	$-29,58$	$-28,06$	$-24,69$
Точка 5, позднеплейстоценовая ледяная жила	$-28,82$	$-27,85$	$-27,00$
Точка 6, позднеплейстоценовая ледяная жила	$-29,7$	$-27,63$	$-24,43$
Точка 7, голоценовая ледяная жила, высокая пойма р. Алдан	$-25,91$	$-24,23$	$-23,22$
<b>Озеро Сырдах</b>			
Точка 8, позднеплейстоценовая ледяная жила	$-32,49$	$-31,13$	$-29,20$



**Рис. 4.** Позднеплейстоценовые ледяные жилы в обнажении на оз. Сырдах (а): 1 — суглинок; 2 — жильный лёд; 3 — торф и растительные остатки; 4 — точки отбора образцов жильного льда на изотопный анализ. Распределение значений  $\delta^{18}O$ : б — по горизонтали на глубине 0,5 м (1) и 1,2 м (2); в — по вертикали вдоль линии 30–38 (1) и вдоль линии 16–22 (2).

в обнажении на оз. Сырдах с помощью AMS получена  $^{14}C$  дата  $21710 \pm 680$  лет (KIA-26367). Органика из ледяных жил на оз. Улахан Сырдах датирована в  $13\ 110 \pm 680$  лет и  $3755 \pm 30$  лет. Среднее значение  $\delta^{18}O$  льда жил составляет  $-31,3\text{‰}$  на озере Улахан Сырдах и  $-30,8\text{‰}$  на озере Сырдах. Эти значения так же как и их малый разброс, очень близки к изотопным значениям, полученным на Мамонтовой Горе. Тем не менее можно отметить, что позднеплейстоценовые ледяные жилы, исследованные на оз. Сырдах, характеризуются в целом более низкими величинами  $\delta^{18}O$  и более узким диапазоном вариаций по сравнению с позднеплейстоценовыми жилами разреза Мамонтовой Горы.

Полученные значения содержания тяжёлых изотопов в позднеплейстоценовых и голоценовых повторно-жильных льдах (ПЖЛ) позволяют оценить зимние температуры с использованием зависимости, предложенной Ю.К. Васильчуком [7]. Среднезимние температуры воздуха большую часть периода формирования позднеплейстоценовых ледяных жил Мамонтовой Горы находились в диапазоне от  $-28$  до  $-31$  °C, среднеянварские температуры достигали  $-42$  —  $-46$  °C, в районе оз. Сырдах зимние условия

были немного более суровыми: среднезимние температуры воздуха изменились в основном от  $-30$  до  $-32$  °C, среднеянварские температуры достигали от  $-44$  до  $-48$  °C. В голоцене среднезимние температуры были выше: от  $-24$  до  $-28$  °C, среднеянварские — от  $-36$  до  $-42$  °C.

**Благодарности.** Авторы благодарны Ю.Н. Чижовой за помощь в изотопных определениях.

**Источники финансирования.** Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: в рамках проекта № 16–35–00403, полевые работы, № 17-05-00793 — геохимический анализ, № 17-05-00794 — палеотемпературные исследования, изотопные исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 14–27–00083.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разрез новейших отложений Мамонтова Гора / под ред. К.К. Маркова. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1973. 198 с.

2. *Pewe T.L., Journaux A.* // Geol. Surv. Pre. Paper. 1983. № 1262. P. 1–46.
3. *Vasil'chuk Yu. K.* // Trans. (Doklady) of the USSR Acad. of Sci. Earth Sci. Sect. 1988. V. 298. P. 56–59.
4. *Vasil'chuk Yu.K., Kim J.-C., Vasil'chuk A.C.* // Nucl. Instrum. and Methods Phys. Res. Sect. B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2004. V. 223–224. P. 650–654.
5. *Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A. C.* // GeoRes J. 2017. V. 13. P. 83–95.
6. *Popp S., Diekmann B., Meyer H., Siebert C., Syromyatnikov I., Hubberten H.* // Permafrost and Periglacial Processes. 2006. V. 17. P. 119–132.
7. *Vasil'chuk Yu.K.* // Water Resources. 1991. V. 17. № 6. P. 640–647.

## NEW OXYGEN ISOTOPE DIAGRAMS OF LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE ICE WEDGES OF MAMONTOVA GORA AND SYRDAH LAKE, CENTRAL YAKUTIA

**Yu. K. Vasil'chuk<sup>1</sup>, D. G. Shmelev<sup>2</sup>, M. Yu. Cherbunina<sup>1</sup>, N. A. Budantseva<sup>1</sup>,  
A. V. Broushkov<sup>1</sup>, A. C. Vasil'chuk<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*JSC "Giprotruboprovod", Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS A.P. Lisitsyn January 12, 2017

Received April 24, 2017

The aim of the study was to obtain the data of stable oxygen isotope composition of Late Pleistocene and Holocene ice wedges of Mamontova Gora and Syrdakh exposures and their chronology, and reconstruction of winter air temperature during the time of ice wedge formation. Direct dating of organic microinclusions from the ice wedges of Mamontova Gora outcrops allowed to establish that the ice wedges are younger than 20 ka, but older than 10 ka BP.  $\delta^{18}\text{O}$  values of the Late Pleistocene ice wedges of Mamontova Gora vary from  $-24.7$  to  $-30.9$  ‰,  $\delta^{18}\text{O}$  values of the Holocene ice wedges of this exposures range from  $-23.2$  to  $-25.9$  ‰.  $\delta^{18}\text{O}$  values in the Late Pleistocene ice wedges near Syrdakh Lake vary from  $-29.2$  to  $-32.5$  ‰. Reconstructed mean winter air temperature during the most part of the ice wedge growth period in Mamontova Gora site within Late Pleistocene varied from  $-28$  to  $-31$  °C, mean January temperature reached  $-42$ ,  $-46$  °C, for the Syrdakh Lake site Late Pleistocene winter conditions were more severe: mean winter air temperature varied from  $-30$  to  $-32$  °C, mean January air temperature reached  $-44$ ,  $-48$  °C. Holocene mean winter air temperature were higher and varied from  $-24$  to  $-28$  °C, mean January temperature varied from  $-36$  to  $-42$  °C.

*Keywords:* ice wedges, stable oxygen isotope, Late Pleistocene, Holocene, winter air palaeotemperature, Central Yakutia.