

УДК 551.345.2

## ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩАЯ ИЗОТОПНО-КИСЛОРОДНАЯ ДИАГРАММА ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ СЕЯХИНСКОЙ ЕДОМЫ, ВОСТОЧНЫЙ ЯМАЛ

Ю. К. Васильчук\*, Н. А. Буданцева, А. К. Васильчук

Представлено академиком РАН Н.С. Касимовым 22.11.2017 г.

Поступило 08.11.2017 г.

Исследовали особенности изотопно-кислородного состава позднеплейстоценовых сингенетических повторно-жильных льдов, получена высокоразрешающая изотопная диаграмма из детально отобранного разреза Сеяхинской едомы в толще позднеплейстоценовой третьей лагунно-морской террасы близ устья р. Сеяха (Зелёная), на берегу Обской губы. Согласно трём новым радиоуглеродным датировкам: от 25,2 до 23,3 тыс. лет с абсолютных отметок от +2 до +5 м, а также датам: 17,3 тыс. лет с абс. выс. +18,8 и 11,6 тыс. лет с абс. выс. +21,2 м, возраст этой жилы составляет  $\approx$  от 23 до 15–18 тыс. лет. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  в верхнем фрагменте ледяной жилы варьируются от  $-25,75$  до  $-23,15\text{‰}$ . Вариации значений  $\delta^{18}\text{O}$  по горизонтали на высоте +15,2 м составили  $1,49\text{‰}$  от  $-23,41$  до  $-24,9\text{‰}$ . Лёд нижнего фрагмента ледяной жилы, вскрытого на высоте +6 м, характеризуется более широким диапазоном значений  $\delta^{18}\text{O}$ , чем в верхнем фрагменте: значения  $\delta^{18}\text{O}$  по горизонтали варьируются от  $-23,41$  до  $-26,63\text{‰}$ . Полученная изотопно-кислородная диаграмма имеет шаг с детальностью 80–100 лет. 23–15 (18) тыс. лет назад среднеянварские температуры составляли от  $-35$  до  $-39\text{ °C}$ .

*Ключевые слова:* повторно-жильные льды, палеотемпературные реконструкции, поздний плейстоцен, радиоуглерод, изотопно-кислородный состав.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524872208-211>

Сингенетические повторно-жильные льды в районах распространения многолетнемёрзлых пород являются одним из наиболее информативных архивов показателей изменения климата и палеогеографических обстановок прошлого.

Основная задача данной работы — исследование изотопно-кислородного состава позднеплейстоценовых сингенетических повторно-жильных льдов из детально отобранного разреза Сеяхинской едомы и получение высокоразрешающей изотопной диаграммы.

Авторами изучены повторно-жильные льды, залегающие в толще позднеплейстоценовой третьей лагунно-морской террасы близ устья р. Сеяха (Зелёная), изученных в обнажении на берегу Обской губы (рис. 1), на востоке полуострова Ямал, север Западной Сибири ( $70^{\circ}10'00''$  с.ш.,  $72^{\circ}30'30''$  в.д.), получены новые данные радиоуглеродного датирования вмещающих ледяные жилы отложений и вариаций значений  $\delta^{18}\text{O}$  в ледяных жилах.

В районе исследования преобладают типичные мохово-лишайниковые тундры на лагунно-морских террасах [1] с осоково-гипновыми полигональными

болотами на торфянистых и глеевых почвах. Климат характеризуется продолжительной холодной зимой с устойчивым снежным покровом и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура мёрзлых пород на глубине 10–15 м колеблется от  $-4$  до  $-6\text{ °C}$ .

В июле 2016 г. на побережье Обской губы изучены и детально опробованы ледяные жилы (рис. 2) в верхней части позднеплейстоценовой террасы высотой около 20 м над урезом губы. В верхней 5-метровой части обнажения в интервале абсолютных отметок от +11,5 до +16,5 м вскрывается толща серовато-жёлтых мелких пылеватых слоистых песков с примесью органического материала, в которых залегают ледяные жилы шириной до 1–1,5 м. Ис-

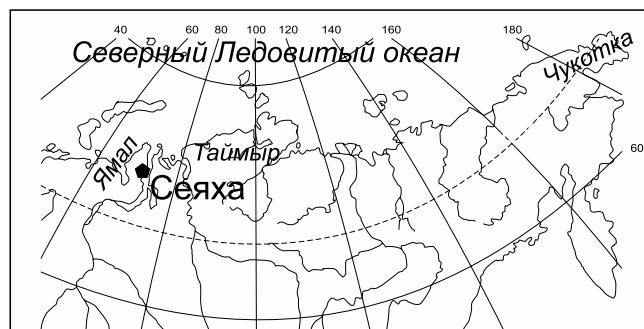
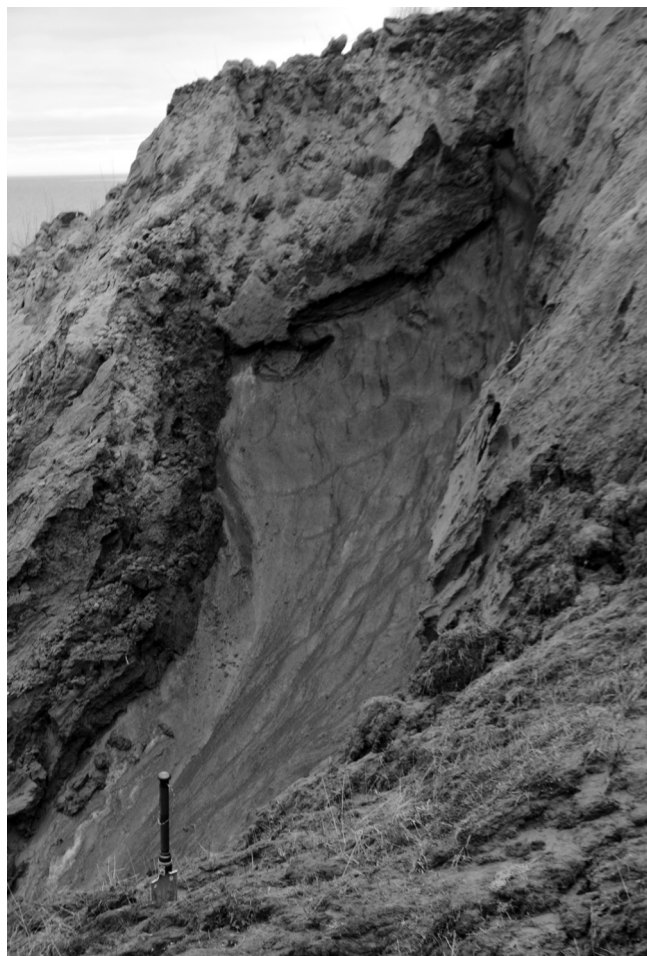


Рис. 1. Местоположение Сеяхинского едомного разреза.

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

\*E-mail: [vasilch\\_geo@mail.ru](mailto:vasilch_geo@mail.ru)



**Рис. 2.** Сингенетические позднеплейстоценовые повторно-жильные льды Сеяхинской едомы, Восточный Ямал.

следована наиболее полно вскрытая почти во фронтальном сечении ледяная жила (рис. 3а). На 5 м ниже края этой жилы на высоте от +5 до +6 м вскрыт парагенез ледяной жилы и сегрегационного пласта льда (рис. 3б). Жильный лёд в этом парагенезе слабовертикальнослоистый, а сегрегационный — неслоистый, прозрачный. В байджерахе, расположенном на высоте от 0 до +7 м, встречена “торфяная слоёнка”, содержащая остатки трав, кустарничков и гипновых мхов. Согласно трём новым радиоуглеродным датировкам из байджераха в интервале от 25,2 до 23,3 тыс. лет с абсолютных отметок от +2

**Таблица 1.** Датировки слоёнки (аллохтонного торфа) из разреза Сеяхинской едомы

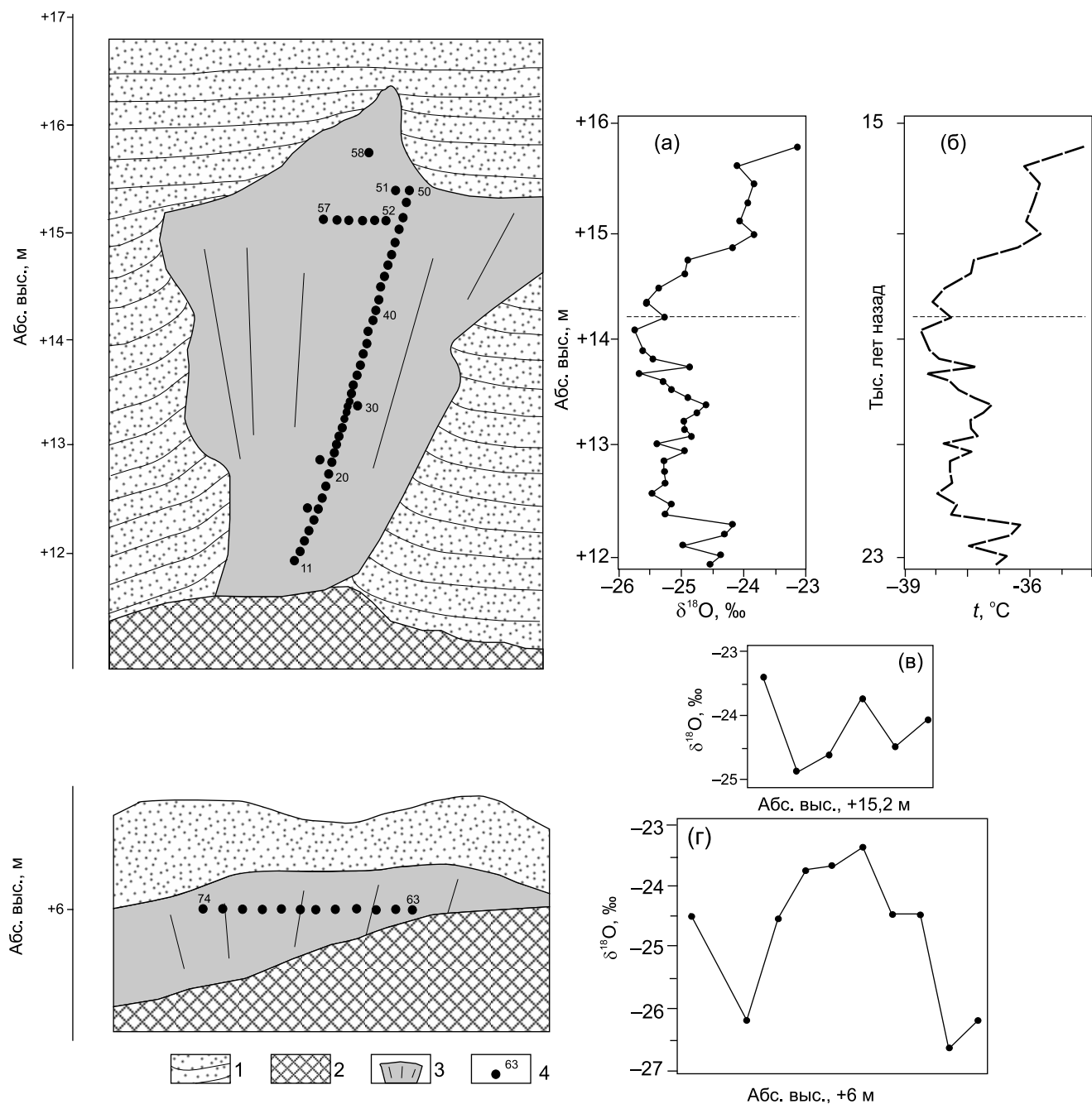
Полевой номер образца	Абсолютная высота, м	<sup>14</sup> C-датировка, лет	Лабораторный номер образца
YuV-16S/ 76	+5,0	23300 ± 640	Ле-11406
YuV-16S/ 77	+3,0	24100 ± 300	Ле-11407
YuV-16S/ 78	+2,0	25200 ± 420	Ле-11408

до +5 м (табл. 1), полученным по образцам полевого сезона 2016 г. в Институте истории материальной культуры РАН, а также ранее опубликованным датам: 17290 ± 250 лет (HeI-3942) с абс. выс. +18,8 и 11 620 ± 90 (HeI-4023) с абс. выс. +21,2 м [2], возраст этой жилы составляет ≈ от 23 до 15–18 тыс. лет.

Изотопные определения образцов воды и льда выполнялись в изотопной лаборатории географического факультета МГУ на масс-спектрометре Delta-V со стандартной опцией газ-бенч. Для измерений использовались международные стандарты V-SMOW, GISP, SLAP, собственные лабораторные стандарты.

**Таблица 2.** Вариации δ<sup>18</sup>O в образцах позднеплейстоценового повторно-жильного льда, побережье Обской губы, в районе пос. Сеяха, 2016 г.

№ образца	Абс. выс., м	δ <sup>18</sup> O, ‰	№ образца	Абс. выс., м	δ <sup>18</sup> O, ‰
Верхний фрагмент ледяной жилы, отбор по вертикали					
YuV-16S/11	+12,0	-24,55	YuV-16S/32	+13,5	-24,89
YuV-16S/12	+12,1	-24,38	YuV-16S/33	+13,6	-25,16
YuV-16S/13	+12,2	-24,98	YuV-16S/34	+13,7	-25,29
YuV-16S/14	+12,2	-24,31	YuV-16S/35	+13,75	-25,69
YuV-16S/15	+12,4	-24,18	YuV-16S/36	+13,8	-24,88
YuV-16S/16	+12,5	-25,26	YuV-16S/37	+13,9	-25,47
YuV-16S/17	+12,5	-25,19	YuV-16S/38	+14,0	-25,63
YuV-16S/18	+12,6	-25,16	YuV-16S/39	+14,2	-25,75
YuV-16S/19	+12,7	-25,48	YuV-16S/40	+14,3	-25,27
YuV-16S/20	+12,8	-25,25	YuV-16S/41	+14,4	-25,57
YuV-16S/21	+12,9	-24,92	YuV-16S/42	+14,5	-25,36
YuV-16S/22	+12,9	-25,28	YuV-16S/43	+14,6	-24,95
YuV-16S/23	+13,0	-25,27	YuV-16S/44	+14,7	-24,92
YuV-16S/24	+13,1	-24,94	YuV-16S/45	+14,8	-24,21
YuV-16S/25	+13,2	-25,4	YuV-16S/46	+14,9	-23,84
YuV-16S/26	+13,25	-24,83	YuV-16S/47	+15,2	-24,08
YuV-16S/27	+13,3	-24,94	YuV-16S/48	+15,3	-23,95
YuV-16S/28	+13,35	-24,95	YuV-16S/49	+15,4	-23,85
YuV-16S/29	+13,4	-24,75	YuV-16S/50	+15,5	-24,22
YuV-16S/30	+13,45	-24,60	YuV-16S/51	+15,5	-24,12
YuV-16S/31	+13,45	-24,86	YuV-16S/58	+15,8	-23,15
Верхний фрагмент ледяной жилы, отбор по горизонтали					
YuV-16S/52	+15,2	-23,41	YuV-16S/55	+15,2	-23,71
YuV-16S/53	+15,2	-24,90	YuV-16S/56	+15,2	-24,49
YuV-16S/54	+15,2	-24,61	YuV-16S/57	+15,2	-24,04
Нижний фрагмент ледяной жилы, отбор по горизонтали					
YuV-16S/63	+6,0	-24,46	YuV-16S/68	+6,0	-23,69
YuV-16S/64	+6,0	-25,36	YuV-16S/70	+6,0	-23,41
YuV-16S/65	+6,0	-26,17	YuV-16S/71	+6,0	-24,49
YuV-16S/66	+6,0	-24,54	YuV-16S/72	+6,0	-24,48
YuV-16S/67	+6,0	-23,75	YuV-16S/73	+6,0	-26,63
			YuV-16S/74	+6,0	-26,19



**Рис. 3.** Распределение  $\delta^{18}\text{O}$  во льду позднеплейстоценовых жил (а, в, г) и реконструированная изменчивость январской палеотемпературы воздуха (б) 23–15(18) тыс. лет назад, Сеяхинская едома, Восточный Ямал: (а) — верхний фрагмент жилы, отбор по вертикали; (б) — январская палеотемпература воздуха; (в) — верхний фрагмент жилы, отбор по горизонтали на высоте +15,2 м; (г) — нижний фрагмент жилы, отбор по горизонтали на высоте +6 м; 1 — едомные отложения — слоистые мелкие пылеватые пески; 2 — осыпь, оплывина; 3 — повторно-жильный лёд; 4 — точки опробования льда.

Значения  $\delta^{18}\text{O}$  в верхнем фрагменте ледяной жилы варьируются от  $-25,75$  до  $-23,15\text{‰}$  (табл. 2, рис. 3а).

Можно выделить два тренда в распределении значений  $\delta^{18}\text{O}$ : в интервале от +12 до +14,2 м значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются в диапазоне около  $1,5\text{‰}$  от  $-24,18$  до  $-25,75\text{‰}$ , в интервале от +14,2 до +15,8 м

отмечена явная тенденция повышения значений с высотой на  $2,6\text{‰}$  от  $-25,75$  до  $-23,15\text{‰}$ . Вариации значений  $\delta^{18}\text{O}$  по горизонтали на высоте +15,2 м составили  $1,49\text{‰}$  от  $-23,41$  до  $-24,9\text{‰}$  (табл. 2, рис. 3). Лёд нижнего фрагмента ледяной жилы, вскрытого на высоте +6 м, характеризуется более широким диапазоном значений  $\delta^{18}\text{O}$ , чем в верхнем

фрагменте: значения  $\delta^{18}\text{O}$  по горизонтали варьируются от  $-23,41$  до  $-26,63\text{‰}$  (табл. 2, рис. 3г).

Полученная нами ранее изотопно-кислородная диаграмма по жилам Сейяхинской едомы [2] имеет шаг с детальностью 800 лет, а диаграмма, построенная с учётом новых данных, имеет шаг с детальностью 80–100 лет (рис. 3а). Это позволяет говорить о том, что новая высокоразрешающая изотопно-температурная запись практически не имеет лакун и описывает все события за период длительностью 5–8 тыс. лет в период от 23 тыс. лет до 15–18 тыс. лет.

Полученные новые изотопные данные позволяют говорить о том, что 23–15 (18) тыс. лет назад среднеянварские температуры составляли согласно пересчёту по уравнению из [3] от  $-35$  до  $-39$  °C (рис. 3б). Некоторая тенденция повышения значений изотопного состава кислорода во льду жил снизу-вверх объясняется, скорее всего, ростом среднеянварских температур на заключительных этапах формирования жилы.

**Благодарности.** Авторы благодарны ст.н.с., к.г.н. Ю. Чижовой за помощь в изотопных определениях.

**Источник финансирования.** При финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14–27–00083–П) выполнены полевые исследования, Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 17–05–00793 — изотопные определения, по проекту 17–05–00794 — палеотемпературные реконструкции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Walker D.A., Leibman M.O., Epstein H.E., Forbes B.C., Bhatt U.S., Reynolds M.K., Comiso J.C., Gubarkov A.A., Khomutov A.V., Jia G.J., Kaarlejarvi E., Kaplan J.O., Kumpula T., Kuss P., Matyshak G., Moskalenko N.G., Orekhov P., Romanovsky V.E., Ukraintseva N.G., Yu Q. // Environ. Res. Lett. 2009. V. 4. 16 p.
2. Vasil'chuk Yu.K., van der Plicht J., Jungner H., Soninen E., Vasil'chuk A.C. // Earth and Planet. Sci. Lett. 2000. V. 179. № 2. P. 237–242.
3. Vasil'chuk Yu.K. // Water Resources. 1991. V. 17. № 6. P. 640–647.

## THE HIGH-RESOLUTION OXYGEN ISOTOPE DIAGRAM OF LATE PLEISTOCENE ICE WEDGES OF SEYAHA YEDOMA, EASTERN YAMAL PENINSULA

Yu. K. Vasil'chuk, N. A. Budantseva, A. C. Vasil'chuk

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS N.S. Kasimov November 22, 2017

Received November 8, 2017

The main objective of this work is to study the oxygen isotope composition of late Pleistocene syngenetic ice wedges and to obtain a high-resolution isotope diagram from a carefully sampled outcrop of Seyaha yedoma within of the third lagoon-marine terrace near the Seyaha (Zelyonaya — Green) river mouth, on the bank of the Ob Bay. According to 3 new radiocarbon ages: from 25.2 to 23.3 kyr BP from +2 to +5 m a.s.l., as well as dates: 17.3 kyr from +18.8 m a.s.l. and 11.6 kyr BP from +21.2 m a.s.l., the age of the ice wedge is from 23 to 15 to 18 kyr BP approximately. Values of  $\delta^{18}\text{O}$  in the upper fragment of the ice wedge vary from  $-25.75$  to  $-3.15\text{‰}$ . Horizontal variations of  $\delta^{18}\text{O}$  values at a height of +15.2 m amounted to 1.49‰, from  $-23.41$  to  $-24.9\text{‰}$ . The ice of the lower fragment of the ice wedge, at +6 m a.s.l., is characterized by a wider range of  $\delta^{18}\text{O}$  values than in the upper fragment. The horizontal values of  $\delta^{18}\text{O}$  range from  $-23.41$  to  $-26.63\text{‰}$ . The obtained oxygen isotope diagram in the upper fragment of the ice wedge has resolution of 80–100 years. According to palaeoreconstruction the average January temperature 23–15 (18) kyr BP ranged from  $-35$  to  $-39$  °C.

**Keywords:** ice-wedge ice, palaeotemperature reconstructions, Late Pleistocene, radiocarbon, oxygen isotope composition.