УДК 551.435.536

ПЕРВЫЕ AMS-ДАТИРОВКИ МИКРОВКЛЮЧЕНИЙ ОРГАНИКИ В ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДАХ ВЕРХНЕГО ЯРУСА БАТАГАЙСКОЙ ЕДОМЫ, ЯКУТИЯ

Ю. К. Васильчук*, Дж. Ю. Васильчук

Представлено академиком РАН А. П. Лисицыным 01.02.2019 г.

Поступило 06.02.2019 г.

Выполнено датирование микровключений органического материала в семи образцах из верхнего яруса мощных плейстоценовых сингенетических повторно-жильных льдов, вскрывающихся в обнажении Батагайской едомы, расположенной на севере Якутии, в верховьях р. Яны (координаты: 67,58° с.ш., 134,77° в.д.), с помощью ускорительной масс-спектрометрии. Датированные фрагменты жил формировались в диапазоне 22 760 до 29 910 радиоуглеродных лет (или от 27,1 до 33,8 калибр. лет). По детальным изотопным данным рассчитана среднеянварская температура воздуха позднего плейстоцена 25 до 30 калибр. лет назад для Батагайского разреза и для ряда опорных разрезов на северо-западе Якутии. Показано, что наиболее низкая среднеянварская температура воздуха в этот период была в районе Батагайки (–51 °С), тогда как в районах, которые располагаются на 500–600 км севернее, она была выше на 4–5 °С. Это объясняется существованием в позднем плейстоцене от 25 до 30 калибр. лет назад зимой Якутского антициклона, он был так же выражен, как и в настоящее время.

Ключевые слова: едома, повторно-жильный лёд, AMS радиоуглеродное датирование, поздний плейстоцен, северная Якутия.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652489189-92>

Батагайский разрез (67,58° с.ш., 134,77° в.д.) позднеледниковой едомной толщи, расположенный в верховьях р. Яны (рис. 1), является самым высоким из известных сейчас обнажений сингенетических повторно-жильных льдов на Земле.

Основная задача данной работы — датирование микровключений органического материала из мощных плейстоценовых сингенетических повторно-жильных льдов, вскрывающихся в обнажении Батагайской едомы с помощью ускорительной масс-спектрометрии (AMS).

Глубина Батагайского обнажения составляет от 75 до 100 м, длина и ширина более 1 км (рис. 2).

С поверхности примерно до глубины 75 м вскрывается вертикальная стена сильнольдистых едомных отложений [1–4]. В едомной толще выделяются по крайней мере три яруса ледяных жил: верхний в интервале 320–315 м (возможно, простирающийся до 290 м), средний в интервале 290–260 м и нижний от 260 до 245 м абсолютной высоты.

В верхней части обнажения вскрыты узкие ледяные жилы шириной не более 1,5–2 м (из этого фрагмента разреза с глубины 5–10 м или 315–320 м абс.

высоты детально опробован повторно-жильный лёд — ПЖЛ № 3 (рис. 3).

Головы ледяных жил в некоторых местах залегают практически с поверхности. Разделяющие жилы грунтовые полигоны небольшие и, как правило, составляют 1,5–3 м.

Рис. 1. Местоположение Батагайской едомной толщи (1) и едомных толщ (2), формировавшихся на севере Якутии синхронно ледяной жиле верхнего яруса (см. табл. 2).

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

*E-mail: vasilch_geo@mail.ru

Таблица 1. Радиоуглеродные AMS-датировки по микровключениям органики в ПЖЛ № 3 Батагайской едомы

Полевой номер	Глубина, м	Лаборат. номер	^{14}C -возраст, лет (1σ)	Калибров. лет назад (cal BP*)	N [%]	C [%]	C/N
YuV-17/Bat 65	5,7	IGAN _{AMS} -6442	24490±70	28440–28664	0,27	2,74	10,0057
YuV-17/Bat 61	6,1	IGAN _{AMS} -6471	27437±80	31180–31354	—	—	—
YuV-17/Bat 55	6,7	IGAN _{AMS} -6440	22760±60	27046–27267	0,32	2,89	8,9901
YuV-17/Bat 48	7,6	IGAN _{AMS} -6439	22830±60	27114–27315	0,28	2,56	9,2137
YuV-17/Bat 42	8,8	IGAN _{AMS} -6438	29910±110	33864–34104	0,30	2,68	9,0573
YuV-17/Bat 37	9,7	IGAN _{AMS} -6437	28620±150	32420–32997	0,27	2,55	9,4459
YuV-17/Bat 34	10,0	IGAN _{AMS} -6436	26540±80	30721–30918	0,29	2,64	9,0523

Примечание. * — калибровка выполнена с использованием данных из [7, 8].

Таблица 2. Среднеянварские ($t_{\text{я}}$) палеотемпературы на северо-западе Якутии, реконструированные по изотопно-кислородному составу ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ПЖЛ}}$) повторно-жильных льдов (по [10] с дополнениями)

Пункт, координаты и источник	$\delta^{18}\text{O}_{\text{ПЖЛ}}$, ‰		$t_{\text{я}}^{\circ}$	
	25–30 калибр. тыс. лет назад	Современные	25–30 калибр. тыс. лет назад	Современные
Батагай, 67,58° с.ш., 134,77° в.д.	–34	–30	–51	–45
Мамонтов Клык, 73°36' с.ш., 117°11' в.д. [11]	–30	–21,3	–45	–33
Мамонтова Хаята, 71°61' с.ш., 129°28' в.д. [12]	–31	–23	–46	–33
Буор-Хая, 72°20' с.ш., 126°17' в.д. [13]	–31	–23	–45	–34
Кулар, 70°38' с.ш., 131°53' в.д. [14]	–32	–26	–47	–37

По повторно-жильным льдам получены детальные изотопно-кислородная и дейтериевая диаграммы [5], позволившие судить о весьма суровых зимних условиях, существовавших в Верхоянском районе Центральной Якутии в позднем плейстоцене (можно даже говорить о самых холодных зимах в северном полушарии в позднем плейстоцене, т.е. полюс холода располагался там же, где и сейчас). Однако хронологическая привязка этих диа-

грамм была выполнена на основе датирования вмещающих отложений, а вследствие того, что в едомных толщах обычно отмечается существенное переотложение органического материала, заметно удревняющего радиоуглеродные датировки [6], то и среди датировок, полученных по макровключениям органики из Батагайского разреза, встречен ряд инверсий радиоуглеродных дат [1, 3, 4].

Рис. 2. Панорама Батагайской едомной толщи с мощными повторно-жильными льдами и точка отбора образцов из ледяной жилы верхнего яруса (ПЖЛ № 3) на AMS ^{14}C -датирование микровключений органики.

Рис. 3. Фрагменты Батагайской едомной толщи с мощными позднплейстоценовыми сингенетическими повторно-жильными льдами, из которых был выполнен отбор образцов для AMS ^{14}C -определений: а — верхний фрагмент ПЖЛ № 3; б — нижний фрагмент ПЖЛ № 3. Белые кружки — места отбора образцов на ^{14}C -определение, цифры рядом с ними — номера образцов.

Судя по датировкам, которые были получены Дж. Мёртоном и К. Ашатиной с соавторами [1, 3], авторы [5] предположили (считая наиболее молодые датировки с той же глубины более достоверными [6]), что верхние 20 м едомной толщи формировались примерно в период от 36 до 26–12 тыс. лет назад. Опубликованные позднее датировки не внесли ясности в датирование верхнего яруса, в разных частях едомы были получены датировки возраста (от 24,8 до 38,3 тыс. лет назад) и серия запрещённых радиоуглеродных дат [4].

В августе—сентябре 2017 г. авторами была детально опробована одна из ледяных жил (ПЖЛ № 3), вскрытая в верхней части Батагайской едомы на глубине от 5 до 10 м (315–320 м н.у.м.). Жила вскрыта оврагом на расстоянии 10–12 м от основной верти-

кальной стенки обнажения (см. рис. 2, 3). Изотопный состав этой жилы достаточно однородный и весьма изотопически отрицательный, величины $\delta^{18}\text{O}$ изменяются от $-34,83$ до $-33,8$, в среднем $-34,23\text{‰}$, значения $\delta^2\text{H}$ от $-272,6$ до $-261,8$, в среднем $-266,8\text{‰}$ (данные получены по 38 образцам). Среднеянварская температура воздуха, пересчитанная по формуле из [9], изменялась от -52 до -50 , составляя в среднем -51°C . По этой жиле построена детальная изотопная диаграмма, датированная, как предполагали ранее авторы [5], периодом 26–12 тыс. лет назад.

Сейчас получены данные, позволяющие более достоверно верифицировать время формирования этой ледяной жилы. Для радиоуглеродного AMS-датирования были отобраны микровключения органического материала из ледяной жилы верхнего яруса полигонально-жильного комплекса (ПЖЛ № 3) — верхнего яруса полигонально-жильного комплекса Батагайской едомы. Радиоуглеродное AMS-датирование выполнено в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН (получение счётного материала) и Центра изотопных исследований Университета Джорджии в США (непосредственное измерение на ускорительном масс-спектрометре). Всего получено семь новых датировок, все они конечные и распределены в диапазоне от 22 760 до 29 910 радиоуглеродных лет (или от 27,1 до 33,8 калибр. лет). В распределении датировок есть небольшие инверсии: более древние датировки располагаются выше более молодых, которые, по нашему мнению, объясняются двумя причинами. Во-первых, тем, что отбор производился не во фронтальном сечении жилы и, кроме того, вскрытие было таким, что в обнажении как единое ледяное тело было вскрыто и пересечение двух перпендикулярных жил. Во-вторых, наличие переотложенной органики естественно для мёрзлых толщ и повторно-жильных льдов [6]. В-третьих, глубина проникновения морозобойных трещин при формировании Батагайской едомы была экстремально большой (о чём косвенно свидетельствуют значительные вертикальные размеры едомы и жил, располагающихся в ней) и, видимо, изменялась от года к году, что приводило к разной глубине проникновения трещин и органического материала по ним. Эти обстоятельства, возможно, и привели к тому, что датировки 27,4 (около 31 тыс. калибр. лет) и 24,4 тыс. лет (около 28 тыс. калибр. лет) оказались выше двух датировок 22 тыс. лет (около 27 тыс. калибр. лет). С учётом этих ограничений мы датировем время образования ПЖЛ № 3 периодом от 25 до 34 (31?) тыс. калибр. лет назад.

По формуле из [9] рассчитана среднеянварская температура воздуха позднего плейстоцена 25 до 30 тыс. калибр. лет назад для ряда опорных разрезов на северо-западе Якутии, расположенных на 3–5° севернее Батагайки (табл. 2). Наиболее низкая среднеянварская температура воздуха в этот период была в районе Батагайки (–51 °C), тогда как в районах, которые располагаются на 500–600 км севернее, она была выше на 4–5 °C. Это объясняется существованием Якутского антициклона зимой 25 до 30 тыс. калибр. лет назад, он был так же выражен, как и в настоящее время.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 18–05–60272 Арктика).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Murton Ju.B., Edwards M.E., Lozhkin A.V., Anderson P.M., Savvinov G.N., Bakulina N., Bondarenko O.V., Cherepanova M.V., Danilov P.P., Boeskorov V., Goslar T., Grigoriev S., Gubin S.V., Kozun Ju.A., Lupachev A.V., Tikhonov A., Tsygankova V.I., Vasilieva G.V., Zanina O.G. // *Quaternary Research*. 2017. V. 87. P. 314–330.
2. Васильчук Ю.К., Васильчук Дж.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Тришин А.Ю. // *Арктика и Антарктика*. 2017. № 3. С. 95–121. DOI: 10.7256/2453-8922.0.0.24433.
3. Ashastina K., Schirmermeister L., Fuchs M., Kienast F. // *Climate of the Past*, 2017. V. 13: 795–818. <https://doi.org/10.5194/cp-13-795-2017>
4. Opel T., Murton J.B., Wetterich S., Meyer H., Ashastina K., Günther F., Grotheer H., Mollenhauer G., Danilov P.P., Boeskorov V., Savvinov G.N., Schirmermeister L. // *Clim. Past Discuss.*, 2018. <https://doi.org/10.5194/cp-2018-142>
5. Васильчук Ю.К., Васильчук Дж.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Тришин А.Ю. // *ДАН*. 2019. Т. 484. № 2. С. 220–225.
6. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. // *Geo. Res. J.* 2017. V. 13. P. 83–95. DOI: 10.1016/j.grj.2017.02.004.
7. Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R. Radiocarbon Calibration Program Calib 7.1. 2019. <http://calib.org> 26 янв. 2019.
8. Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., van der Plicht J. // *Radiocarbon*. 2013. V. 55. № 4. DOI: 10.2458/azu_js_rc.55.16947.
9. Vasil'chuk Yu.K. // *Water Resources*. 1991. V. 17. № 6. P. 640–647.
10. Васильчук Ю.К. // *Арктика и Антарктика*. 2016. № 1. С. 86–103. DOI: 10.7256/2453-8922.2016.1.21310.
11. Schirmermeister L., Grosse G., Kunitsky V., Magens D., Meyer H., Dereviagin A., Kuznetsova T., Andreev A., Babi O., Kienast F., Grigoriev M., Overduin P.P., Preussner F. // *Polar. Res.* 2008. V. 27. P. 249–272.
12. Meyer H., Dereviagin A.Y., Siegert C., Hubberten H.-W. // *Polarforschung*. 2002. V. 70. P. 37–51.
13. Schirmermeister L., Grosse G., Schwamborn G., Andreev A.A., Meyer H., Kunitsky V.V., Kuznetsova T.V., Dorozhkina M.V., Pavlova E.Y., Bobrov A.A., Oezen D. // *Polar Geogr.* 2003. V. 27. P. 277–319.
14. Vasil'chuk Yu.K. Sixth International Conference of Permafrost, Proceedings. Volume One. Beijing, China. South China University of Technology Press. Wushan, Guangzhou, 1993. P. 945–950.

THE FIRST AMS RADIOCARBON DATES OF ORGANIC MATTER MICROINCLUSIONS IN THE ICE WEDGE OF THE UPPER PART OF THE BATAGAY YEDOMA MEGASLUMP, YAKUTIA

Yu. K. Vasil'chuk, J. Yu. Vasil'chuk

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS A.P. Lisitsyn February 1, 2019

Received February 6, 2019

Microinclusions of organic matter were dated using acceleration mass spectrometry in seven samples from the upper part of the thick Pleistocene syngenetic ice wedges uncovered in the outcrop of the Batagay yedoma located in northern Yakutia along the upper Yana River (67,58° N, 134,77° E). The dated fragment of ice wedge was formed within 22 760–20 010 radiocarbon years BP (or 27 100–33 800 cal BP). Using detailed isotope data, the January average air temperature in the Late Pleistocene (25–30 cal kyr BP) was calculated for the Batagay section along with a series of reference sections in northwestern Yakutia. It was shown that the minimum January average air temperature (–51 °C) was characteristic at that time for the area of the Batagaika crater, with values 4–5° higher in areas 500–600 km further north. This effect was caused by the occurrence of the Yakutian anticyclone in winter during the Late Pleistocene, which was just as pronounced as that at the present time.

Keywords: yedoma, ice wedge, AMS radiocarbon dating, late Pleistocene, north of Yakutia.