

УДК 551.345:576.2:551.793:550.42:546.027

ПЕРВЫЕ РАДИОУГЛЕРОДНЫЕ ДАТИРОВКИ СИНГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОЗДНЕ-ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ

© 2000 г. Ю.К. Васильчук, Й. ван дер Плихт, А.К. Васильчук, Х. Юнгнер, Э. Соннинен
 Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Университет г. Гронинген, Голландия

Университет г. Хельсинки, Финляндия

Представлено академиком А.Л. Яншиным 17.03.99 г.

Поступило 22.03.99 г.

Мощные позднеплейстоценовые ледяные жилы являются единственным палеоклиматическим индикатором суровых зимних условий в континентальных областях Сибири, поскольку они формируются в результате замерзания весной в морозобойных трещинах воды, образовавшейся из талого снега [Васильчук, 1992], и сохранились в изначальном состоянии до настоящего времени. Их формирование длилось тысячи лет одновременно с накоплением вмещающих отложений. Вплоть до настоящего момента возраст сингенетических ледяных жил определялся, как правило, опосредованно путем интерполяции радиоуглеродного возраста органического материала из вмещающих отложений и чаще всего попадал в интервал 10-40 тыс. лет назад.

Попытки измерять возраст жил непосредственно, по включениям органического материала [Brown, 1965] и по возрасту метана в газовых пузырьках [Moriizumi et al., 1995] не давали достоверных результатов. В этих измерениях датировки возраста вмещающих отложений и жил в них очень существенно различались (в два-три и более раз), что определялось недостоверностью счетного материала и ограниченными техническими возможностями. Нам удалось определить возраст позднеплейстоценовых сингенетических ледяных жил в разрезе, расположенном на восточном побережье п-ова Ямал (70° с.ш., 72° в.д., рис. 1), двумя различными способами. В самом начале мы получили ряд радиоуглеродных датировок по торфу из вмещающих отложений [Васильчук и Трофимов, 1984], который показал, что 11 м сингенетически промерзших осадков в основании разреза накопились, примерно, в течение 7.5 тыс. лет, т.е. скорость накопления составила около 1.3 м в 1 тыс. лет (табл. 1).

Повторный отбор образцов в 1996 г. также подтвердил, что скорость накопления осадков была определена достаточно точно и составляла от 1 до 1.3 м в 1 тыс. лет.

Скорость накопления осадков и их возраст были использованы для непрямого датирования ледяных жил и изотопно-кислородных диаграмм по ним [Vasil'chuk Yu.K. & A.C., 1998; 1998a]. Однако более точные возрастны определения мы получили при прямом радиоуглеродном датировании органики, экстрагированной непосредственно из повторно-жильного льда, с использованием техники ускорительной масс-спектрометрии - AMS (табл. 2).

Ледяные жилы датированы по микровключениям и щелочной вытяжке из всей органики, содержащейся во льду. Материал обрабатывался по стандартной методике [Vasil'chuk Yu.K. & A.C., 1998; 1998a]. Для двух верхних образцов щелочная вытяжка оказалась старше. Это может быть, скорее всего, объяснено загрязнением льда жил древней тонкой органической пылью. Напротив, AMS-датировки щелочного экстракта и микроорганики в нижнем образце почти идентичны.



Рис. 1. Местонахождение Сеяхинского позднеплейстоценового полигонально-жильного комплекса на Восточном Ямале.

Природные условия формирования ледяных жил нижней стадии были менее подходящими для загрязнения более древним материалом, поскольку вокруг все было покрыто плотным покровом тундровой растительности и торфяниками. Таким образом, при формировании льда нижней стадии только вновь формирую-

Таблица 1. Радиоуглеродный возраст органического материала из вмещающих позднеплейстоценовые повторно-жильные льды сингенетических отложений Сеяхинской толщи

Полевой № обр.	Глубина, м (абс. выс. н.у.м., м)	Материал датирования	Лаб. №*	¹⁴ C-датировка, лет	¹³ C, ‰ к PDB
Образцы 1980 г.					
279-YuV/28	20.9(+1.1)	Торф коричневый	ГИН-2477	30100 ± 1500	
279-YuV/23	16.2(+5.8)	То же	ГИН-2476	24300 ± 300	
279-YuV/16	12.0(+10.0)	»	ГИН-2474	23500 ± 400	
279-YuV/13	10.0(+12.0)	»	ГИН-2475	22600 ± 600	
279-YuV/10	8.6(+13.4)	»	ГИН-2473	22700 ± 300	
Образцы 1996 г.					
363-YuV/55	0.8(+21.2)	Торф коричневый	Hel-3942	11620 ± 90	-28.5
363-YuV/77	3.2(+18.8)	То же	Hel-4023	17290 ± 250	-31.7
363-YuV/207	11.0(+11.0)	»	ГИН-8931	22510 ± 330	
363-YuV/111	12.0(+10.0)	»	Hel-4046	22850 ± 440	-27.3
363-YuV/206	10.0(+12.0)	»	Hel-4043	24460 ± 650	-24.2
363-YuV/62	12.2(+9.8)	»	Hel-4056	25300 ± 900	-24.5
363-YuV/112	15.2(+7.8)	»	Hel-3943	27890 ± 90	-25.3
363-YuV/212	20.5(+1.5)	»	ГИН- 8936	29500 ± 400	
363-YuV/211	20.9(+1.1)	Мелкая веточка	Hela-201	31200 ± 900	-25.1
363-YuV/208	20.9(+1.1)	Торф желтый	Hel-3950	36800 + 3300/-2100	-27.7

* Индексы датировок, полученных сцинтилляционным методом: Hel – Радиоуглеродной лаборатории Университета г. Хельсинки, ГИН – Радиоуглеродной лаборатории Геологического института РАН, Hela – датировка методом ускорительной масс-спектрометрии, полученная совместно Радиоуглеродной лабораторией Университета г. Хельсинки и на AMS-установке в Оорусе (Дания).

Таблица 2. Радиоуглеродный возраст сингенетических позднеплейстоценовых повторно-жильных льдов в Сеяхинской толще, по данным AMS-датирования

№ на рис. 2	Полевой № обр.	Глубина, м (абс. выс. н. у.м., м)	Материал датирования	Лаб. №	¹⁴ C-датировка, лет	¹³ C, ‰ к PDB
1	363-YuV/27	1.8 (+20.2)	Микроорганика	GrA-10538	14550 ± 100	-25.69
			Щелочная вытяжка	GrA-9847	19920 ± 130	-26.14
2	363-YuV/87	12.0 (+10.0)	Микроорганика	GrA-10539	14720 ± 100	-26.26
			Щелочная вытяжка	GrA-9848	23620 ± 160	-26.30
3	363-YuV/125	20.6 (+1.4)	Микроорганика	GrA-10536	20960 ± 140	-26.09
			Щелочная вытяжка	GrA-10535	21440 ± 140	-26.70

щийся органический материал мог проникать в морозобойные трещины. Этим и объясняется идентичность AMS-дат по микроорганике и по щелочной вытяжке в нижнем образце. Фациальные условия, вероятно, существенно изменились на второй и третьей стадиях, когда ледяные жилы формировались в условиях пляжа. Органический материал, который проникал в морозобойные трещины, частично поступал с песчаных пляжей, из песка с высокой концентрацией древней органики. Подтверждением этого может служить высокая концентрация переотложенных доплейстоценовых пыльцы и спор в верхней части разреза, как в отложениях, так и в ледяных жилах.

Основываясь на данных датирования органики из вмещающих отложений, мы ранее полагали, что ледяные жилы, обнажающиеся в основании разреза, начали формироваться около 27 тыс. лет назад [Васильчук и Трофимов,

1984; Vasil'chuk Yu.K. & A.C., 1998; 1998a]. Это, скорее всего, следствие неполного учета возможностей переотложения древней органики при накоплении синкриогенных отложений. AMS-даты показали, что повторно-жильные льды, вскрытые в основании разреза на высоте от 0 до +1 м, начали формироваться около 21 тыс. лет назад (обр. 3 в табл. 2). Сейчас, имея данные прямых определений возраста из льда жил от 14 до 21 тыс. лет, мы можем уточнить, что, вероятно, обр. 10 и 13 (с высоты +12-13 м, датированные в 22 тыс. лет) из сборов 1980 г. существенно обогащены древним органическим материалом, а обр. 23 из этой коллекции (датированный в 24.3 тыс. лет и залегающий на высоте около +6 м) в большей мере состоял из автохтонной органики и дал более адекватный накоплению повторно-жильного льда результат (естественно, лед, синхронный этому образцу, должен залегать по меньшей мере на 2-3 м ни-

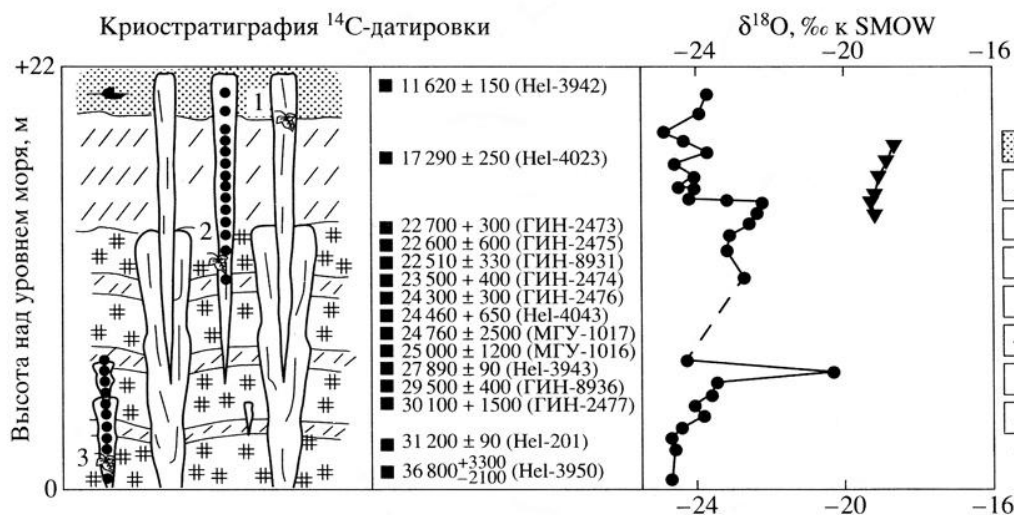


Рис. 2. Строение Сеяхинского позднплейстоценового полигонально-жильного комплекса и изотопно-кислородная диаграмма по датированным ледяным жилам. 1 – песок; 2 – супесь; 3 – торф; 4 – повторно-жильный лед; 5 – отбор образцов льда жил для AMS-датирования; 6 – прибрежно-морские непереотложенные фораминиферы в песчаной толще; 7 – отбор образцов органики из вмещающих жилы отложений на радиоуглеродный анализ; 8 – отбор образцов на изотопно-кислородный анализ: а – из ледяных жил, б – из текстурообразующих шпиров льда во вмещающих жилы отложениях.

же, так как вода проникала в жилы по трещинам примерно на такую глубину). Таким образом, возраст льда с высоты +3...+4 м, определенный по сравнению с возрастом вмещающих пород, залегающих на 2-3 м выше, хорошо согласуется с AMS-датировкой возраста льда на высоте 0.. +1 м - около 21 тыс. лет.

Согласно данным AMS-датирования, скорость вертикального роста жил в течение периода от 21-14.7 тыс. лет назад была около 1.2 м в 1 тыс. лет (если сравнить высотное положение обр. 3 и 2 в табл. 2).

Таким образом, могут быть сделаны существенные выводы: а) AMS-датировки показывают, что впервые прямо подтверждена субгоризонтальная возрастная стратификация повторножильного льда, сформировавшегося путем последовательного проникновения талой воды вместе с накоплением осадков на поверхности; б) временной интервал активного формирования ледяных жил в этом разрезе, установленный как прямым, так и непрямым способом, оказался одним и тем же. Интересно, что аналогичное сравнение AMS-датировок, выполненных по углекислому газу в толще позднплейстоценового пластового льда, и стандартных радиоуглеродных датировок из вмещающих пласты отложений в северной Канаде также дало близкие результаты в интервале от 10.5 до 32.0 тыс. лет [Moorman et al., 1996; Wilson, 1998].

Отбор льда из ледяных жил для детальных изотопно-кислородных и дейтериевых определений производился с интервалом 2-3 образца в

1 м. Образцы отбирались как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении (на рис. 2 показана изотопно-кислородная диаграмма, построенная по вертикально отобранному профилю). Значения $\delta^{18}\text{O}$ в 99 образцах варьируют от -25.0 до -20.4‰ (среднее значение $\delta^{18}\text{O} = -23.31\text{‰}$). Дейтерий анализировался в 10 образцах, его содержание колеблется от -189 до -153.3‰ (среднее значение $\delta\text{D} = -175.55\text{‰}$). В современных ледяных жилах $\delta^{18}\text{O}$ варьирует от -16.6 до -18‰, а значения δD составляют около -130‰, т.е. современные жилы изотопически более тяжелые. Экссесс (т.е. избыток дейтерия по сравнению со стандартным равновесным его соотношением с кислородом в атмосфере, который позволяет оценить степень неравновесности испарения и конденсации) дейтерия (d_{exc}) в жилах, датированных от 21 до 11 тыс. лет, варьирует от +19.2‰ до +0.4‰ (в этом районе в современных жилках d_{exc} составляет +9‰), что говорит о том, что условия формирования водяного пара, из которого выпадал снег и формировались ледяные жилы в позднем плейстоцене, сильно варьировали. Но все же в большинстве случаев взаимосвязь между $\delta^{18}\text{O}$ и δD хорошо коррелирует с линией метеорных вод, что подтверждает атмосферное происхождение воды - источника повторно-жильного льда. Значения среднезимних палеотемператур реконструированы с помощью ранее [Васильчук, 1992] выведенных простых соотношений: $t_{\text{ср зим}} = \delta^{18}\text{O} (\pm 2^\circ\text{C})$ и $t_{\text{ср янв}} = -1.5 \delta^{18}\text{O} (\pm 3^\circ\text{C})$, полученных на основе сравнения современного распределения среднезимних температур и значе-

ния $\delta^{18}\text{O}$ в современных ледяных жилах. Выполненные палеорекострукции показали, что время формирования прямо датированных по радиоуглероду ледяных жил на востоке п-ова Ямал (по крайней мере, 22-14 тыс. лет назад) характеризовалось существенно более суровыми зимами - среднеянварские температуры были холоднее современных на 6-9°C.

Авторы благодарны Н. Буданцевой, М. Гею, А.Д. Есикову и Л.Д. Сулержицкому за помощь в проведении аналитических определений и В.Т. Трофимову за обсуждение результатов.

Исследования частично финансировались Российским фондом фундаментальных исследований (гранты 97-05-64320, 97-05-96508 и 99-05-65075) и программой "Интеграция" (гранты 5.1-4-25, 2.1 -КО-802 и 4.1-792-05).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). М.: Изд-во МГУ, 1992. Т. 1. 420 с; Т. 2. 264 с.
2. Brown J. [Radiocarbon dating, Barrow, Alaska](#) // Arctic. 1965. V. 18. № 1. P. 37-48.
3. Moriizumi J., Iida T., Fukuda M. Proc. III Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies

between Japan and Russia in 1994. Tsukuba, Japan. Sapporo: Hokkaido Univ., 1995. P. 14-21.

4. Васильчук Ю.К., Трофимов В.Т. Изотопно-кислородная диаграмма повторно-жильных льдов Западной Сибири, ее радиологический возраст и палеогеокриологическая интерпретация // ДАН. 1984. Т. 275. № 2. С. 425-428.

5. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Proc. VII Intern. Conf. on Permafrost. Yellowknife, 23-27 June 1998. Quebec: University Laval, Collection Nordicana, 1998. №57. P. 1077-1082.

6. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. [\$^{14}\text{C}\$ and \$^{18}\text{O}\$ in Siberian Syngenetic Ice-Wedge Complexes](#) // Radiocarbon. 1998. V. 40. № 2. P. 883-893.

7. Mook W.G., Streurman H.J. Physical and chemical aspects of radiocarbon dating // PACT publ. 1983. № 8. P. 31-55.

8. Wijma S., van der Plicht J. [The Groningen AMS tandemtron](#) // Nucl. Instr. and Meth. 1997. V. 123. P. 87-92.

9. Moorman B.J., Michel F.A., Wilson A. [\$^{14}\text{C}\$ dating of trapped gases in massive ground ice, Western Canadian Arctic](#) // Permafrost and Periglacial Processes. 1996. V. 7. № 3. P. 257-266.

10. Wilson A.T. [\$^{14}\text{C}\$ Studies of Natural Ice](#) // Radiocarbon. 1998. V. 40. № 2. P. 953-962.

Ссылка на статью:



Васильчук Ю.К., ван дер Плихт Й., Васильчук А.К., Юнгнер Х., Соннинен Э. Первые радиоуглеродные датировки сингенетических позднеплейстоценовых повторно-жильных льдов // Доклады Академии наук. 2000. Т. 371. № 1. С. 114-117.