

УДК 551.345

ПЕРВЫЕ ДЛЯ СЕВЕРА ЕВРОПЫ ^{14}C -ДАТИРОВАННЫЕ ИЗОТОПНО-КИСЛОРОДНАЯ И ДЕЙТЕРИЕВАЯ ДИАГРАММЫ ИЗ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНОГО ЛЬДА БЛИЗ ГОРОДА ВОРКУТЫ

© 2005 г. Ю.К. Васильчук, В. Папеш, Д. Ранк, Л.Д. Сулержицкий, А.К. Васильчук, Н.А. Буданцева, Ю.Н. Чижова

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Венский центр Арсенал, Австрия*

Геологический институт Российской Академии наук, Москва
Представлено академиком В.М. Котляковым 28.07.2004 г.

Поступило 03.08.2004 г.

Цель нашей работы - определить возраст полигонального торфяника близ г. Воркуты (рис. 1), установить время формирования ледяных жил в нем и построить первую для севера Европы изотопную диаграмму, позволяющую реконструировать зимние температуры времени формирования жил и определить временной тренд температур по сравнению с современными.

Среднегодовая температура воздуха (t_b) в г. Воркуте в середине 60-х годов прошлого века составляла -6.3°C , среднеянварская температура ($t_{\text{ян}}$) -20.4°C , среднезимняя температура (t_3) -16°C , сумма зимних температур ($\sum t_3$) -3000 град · сут, среднегодовая температура на поверхности грунта -6.0°C , абсолютный минимум температуры на поверхности грунта -54°C , средний минимум -12°C .

В июле 2003 г. нами исследован полигональный торфяник Юньягинский, расположенный в 13-14 км восточнее г. Воркуты.

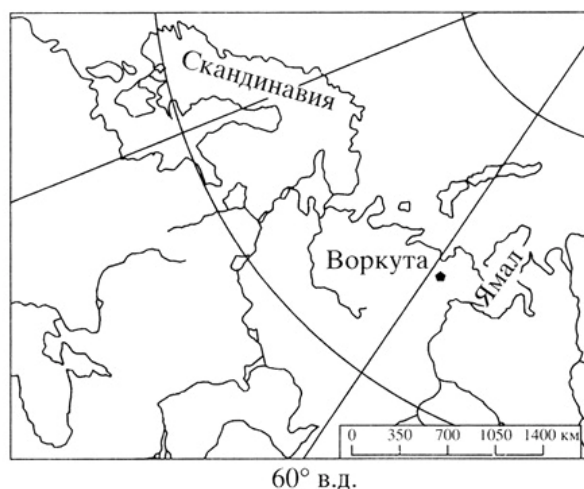


Рис. 1. Местоположение находки сингенетических повторно-жильных льдов в торфянике Юньягинский, близ г. Воркуты.

В разрезе, вскрываемом карьером, на расстоянии 30-40 м друг от друга обнаружены три наиболее мощные торфяные линзы, где мощность торфа заметно увеличивается к центру полигона и превышает 2-2.5 м, составляя под канавками не более 1.5 м.

В одном из выходов торфяника обнаружена ледяная жила, залегающая в основном в сером озерном суглинке (рис. 2). Она верхней частью залегает в торфе с веточками кустарников и сильным едомным запахом. Отмечена характерная особенность поведения подошвы торфяника: она резко поднимается вверх на контакте с ледяной жилой; этот признак указывает на сингенетичность льда ледяной жилы [Попов, 1965; Васильчук, 1992].



Рис. 2. Обнажение сингенетических повторно-жильных льдов в торфянике Юньягинский, близ г. Воркуты.

В целом лед жилы желтовато-серый, вертикально-слоистый, ширина ее во фронтальном срезе в верхней части не более 40 см. Она клинообразно заканчивается на глубине 2-2.5 м от поверхности в синевато-серых суглинках,

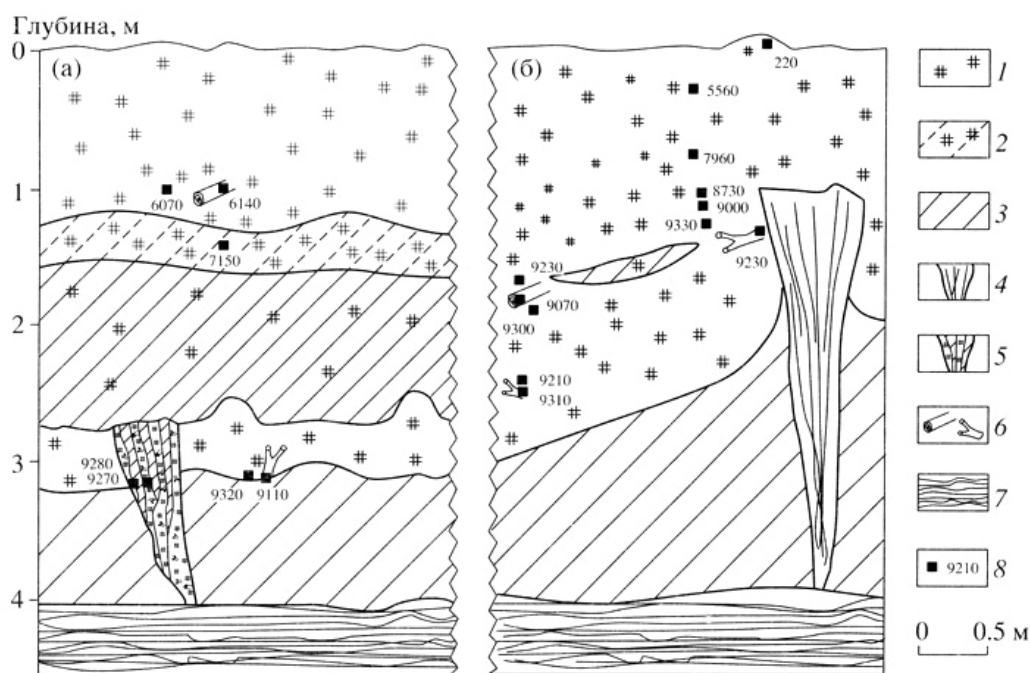


Рис. 3. Строение полигонально-жильной структуры, условия залегания торфяно-суглинистой и сингенетической ледяной жил в торфянике Юньягинский, близ г. Воркуты, и распределение радиоуглеродных дат. 1 – торф; 2 – торф с супесью; 3 – суглинок; 4 – повторно-жильный лед; 5 – торфяно-суглинистая грунтовая жила; 6 – остатки древесины; 7 – углистые сланцы; 8 – ^{14}C -датировки.

имеющих крупносетчатую среднешлировую текстуру, размер ячеек сетки 3 x 4 см, толщина шпиров до 2-3 см. Ледяная жила входит в эти суглинки на 0.5-0.6 м, остальная часть располагается в темно-коричневом торфе. Во льду жилы можно встретить отдельные скопления торфяных частиц в форме цепочки завитков размером до 0.5 см. В жиле на высоте 0.7-0.8 м над основанием также встречен ксенолит голубовато-серого суглинка размером до 2-3 см.

В соседнем с ледяной жилой обнажении мощного торфяника обнаружена торфяная жила со срезанной головой (скорее всего, срезано около 0.5 м).

Жила залегает на глубине 2.7 м, длина превышает 1.4 м (рис. 3), верхняя часть состоит из трех торфяных жилок шириной от 6 до 10 см. Торфяные жилки сложены листоватым торфом с веточками и стволами кустарников шириной до 1-2 см. В верхней половине грунтовой жилы торфяные жилки разделены серым суглинком, располагающимся вертикально внутри жилок, в котором наблюдается горизонтальная слоистая тонкошлировая криотекстура. Толщина шпиров 2-3 мм, расстояние между ними 2-3 см. В нижней половине жилы одна из торфяных жил заканчивается, а две другие сливаются в одну мощную торфяную жилу. Справа над головой жилы можно видеть коленообразный переход к вертикально стоящей торфяной кочке шириной 0.5 м и длиной 0.8 м. Зачатки

таких торфяных жил наблюдаются через 3 м в этом же горизонте, однако высота их не превышает 1 м.

Изо льда ледяной жилы и из текстурного шпирового льда из вмещающих отложений выполнен детальный отбор образцов и в изотопной лаборатории Венского центра Арсенал проведены определения содержания стабильных изотопов водорода, кислорода и вариации дейтериевого эксцесса (табл. 1).

Изотопные характеристики разных типов льдов, снега и воды неодинаковы:

В жилах значения δD варьируют от -119.1 до -111.6‰, значения $\delta^{18}\text{O}$ от -16.35 до -15.45‰ и дейтериевый эксцесс изменяется от 13.8 до 9.0‰ (рис. 4).

В текстурных льдах значения δD варьируют от -128.4 до -97.8‰, значения $\delta^{18}\text{O}$ от -17.48 до -12.79‰, дейтериевый эксцесс изменяется от 11.4 до 4.5‰.

В снеге старого снежника значение δD составляет -134.4‰, $\delta^{18}\text{O}$ -18.91‰ и дейтериевый эксцесс равен 16.9‰.

В воде небольшого межполигонального озера значение δD составляет -87.4‰, $\delta^{18}\text{O}$ -11.31‰ и дейтериевый эксцесс равен 3.1‰.

Для сравнения также укажем, что 24 декабря 2003 г. нами был отобран свежеснеживший снег вблизи Воркуты у станций Сейда и Елецкая, и в этом снеге значения δD варьируют от -203.6 до -189.4‰, значения $\delta^{18}\text{O}$ от -27.22 до

Таблица 1. Содержание стабильных изотопов водорода (δD), кислорода ($\delta^{18}O$) и дейтериевый эксцесс (d_{exc}) в повторно-жильных (ПЖЛ) и текстурных (текст.) льдах Юньягинского торфяника, район г. Воркуты

Полевой №	Глубина, м	Вид льда	$\delta D, ‰$	$\delta^{18}O, ‰$	$d_{exc}, ‰$
395-YuV/1	1.0–1.2	ПЖЛ	-113.5	-15.76	12.6
395-YuV/2	1.2–1.3	ПЖЛ	-117.0	-16.35	13.8
395-YuV/3	1.2–1.3	ПЖЛ	-111.6	-15.45	12.0
395-YuV/4	1.25–1.3	ПЖЛ	-113.1	-15.85	13.7
395-YuV/5	1.3–1.45	ПЖЛ	-115.0	-15.87	12.0
395-YuV/6	1.3–1.45	ПЖЛ	-112.9	-15.60	11.9
395-YuV/7	1.5–1.65	ПЖЛ	-115.0	-15.84	11.7
395-YuV/9	1.75–1.9	ПЖЛ	-115.7	-15.91	11.6
395-YuV/10	1.9–2.1	ПЖЛ	-117.8	-16.12	11.2
395-YuV/11	2.1–2.25	ПЖЛ	-116.6	-16.03	11.6
395-YuV/12	2.25–2.4	ПЖЛ	-119.1	-16.28	11.1
395-YuV/13	2.4–2.5	ПЖЛ	-117.9	-15.86	9.0
395-YuV/28	1.3–1.45	ПЖЛ	-114.7	-15.67	10.7
395-YuV/30	2.1–2.3	ПЖЛ	-118.6	-16.05	9.8
395-YuV/24	2.5	Текст.	-97.8	-12.79	4.5
395-YuV/29	1.8–1.9	Текст.	-115.6	-15.86	11.3
395-YuV/32	2.5	Текст., мощн. шлиры	-121.8	-16.62	11.2
395-YuV/34	2.0	Текст., мощн. шлиры	-128.4	-17.48	11.4
395-YuV/35	2.6	Текст., мощн. шлиры	-113.8	-15.07	6.8
395-YuV/31	0.1–0.2	Снег из снежника	-134.4	-18.91	16.9
395-YuV/36	0	Вода из озера	-87.4	-11.31	3.1
Свежевыпавший зимний снег в близлежащем районе, сбор 24.12.2003 г.					
396-YuV/7	0	Снег, ст. Сейда, 67°02' с.ш., 63°02' в.д.	-203.6	-27.22	14.2
396-YuV/8	0	Снег, ст. Елецкая, 67°02' с.ш., 64°13' в.д.	-189.4	-25.93	18.0

-25.93‰, дейтериевый эксцесс изменяется от 14.2 до 18.0‰.

Как видно, в ледяных жилах изотопные вариации существенно различаются, что вполне объяснимо природой воды, питающей жилы, - это талая весенняя вода, образующаяся от таяния и фильтрации через всю снежную толщу. Сравнивая значения $\delta^{18}O$ в жилах с значениями содержания тяжелого кислорода в современных ростках жил в Амдерме, полученными ранее - 15.2‰ [Васильчук и Котляков, 2000], в торфянике на западном берегу Байдарацкой губы, восточнее устья р. Оюяха, где значения $\delta^{18}O$ в жилах варьируют от -14.3 до -18.6‰ [Романенко и др., 2001], и с двумя значениями $\delta^{18}O$ в жилах из торфа на Мысе Шпиндлера, равными - 13.1 и -16.9‰ [Leibman et al., 2001], можно видеть, что в жилах Юньягинского торфяника изотопно-кислородный состав не существенно отличается от современного и голоценового и, как правило, на 0.5-1‰ легче, чем в ростке близ Амдермы.

Для установления времени формирования жил выполнено детальное опробование разнообразной органики (торфа и древесины) из вмещающего ледяную жилу торфяника и из грунтово-торфяной жилы (табл. 2).

Это позволило с высокой точностью (о прецизионности самого датирования говорят параллельные датировки разной органики с одной глубины, например древесина и вмещающий ее торф с глубины 1 м датированы в 6 140 и 6 070 лет) определить время накопления торфа, вмещающего ледяную жилу, основная толща торфа накопилась от 9.2 до 5.5 тыс. лет назад, т.е. в период оптимума голоцена. Если учесть, что ледяная жила выдавила подошву торфа на контакте со льдом, то вполне вероятно это произошло именно в процессе формирования ледяной жилы и, по всей вероятности, началось 9.2-9 тыс. лет назад, сразу после осушения озера, в котором накапливались суглинки, и после начала заболачивания, фиксируемого торфом.

О длительности периода формирования жилы со всей определенностью судить сложно, но исходя из распределения дат во вмещающем жилу торфе (9.2 тыс. лет в основании торфяника и 7.96 тыс. лет на 0.3 м выше головы жилы), а также из ширины жилы - 0.4 м и примерного количества элементарных жилок - менее 200, можно определить, что жильный лед сформировался за период не более 1-1.5 тыс. лет назад.

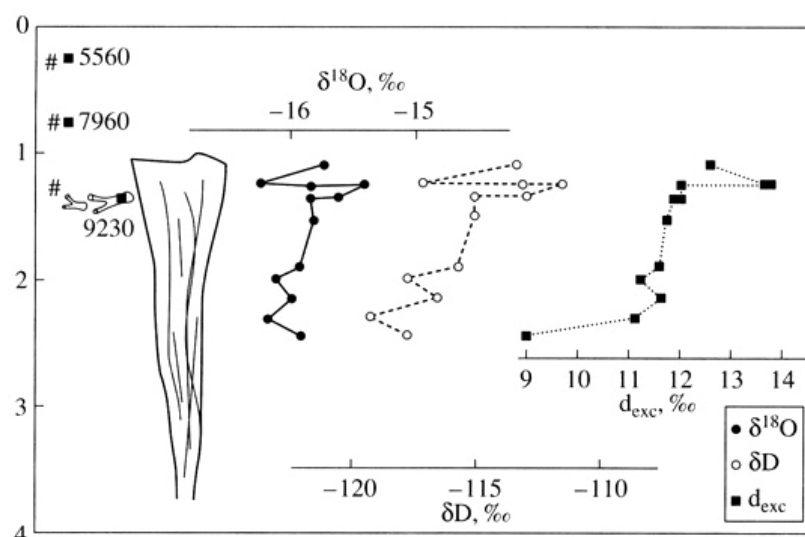


Рис. 4. Изотопно-кислородная и дейтериевая диаграммы и распределение дейтериевого эксцесса в сингенетическом повторно-жильном льду в торфянике Юньягинский, близ г. Воркуты.

Наибольшая возможная длительность образования этой жилы, пожалуй, может быть оценена, исходя из распределения ^{14}C -дат во вмещающем жилу торфе, в 3.5 тыс. лет, т.е. в интервал времени от 9 до 7 (5.5?) тыс. лет.

Судя по изотопному составу жильного льда (главная особенность которого - близость к современным изотопным характеристикам ростков жил в этом районе), можно заключить, что зимние условия в первой половине голоценового оптимума были по степени суровости подобны современным, и, уж во всяком случае, зимы были не теплее современных.

Показательным для определения начала периода растрескивания являются и датировки из вертикальной грунтово-торфяной жилы в левой части обнажения (см. рис. 3а). Возраст и древесины, и торфа в ней 9.2 тыс. лет.

Весьма любопытно возрастное совпадение, полученное при датировании подобных встреченной в этом разрезе грунтовой жиле, грунтовых жил в торфяниках на высоких террасах на восточном и западном побережье п-ова Ямал. На востоке на высокой террасе близ пос. Сеяха торфяная жила на глубине 4.0 м датирована 9300 ± 100 лет (ГИН-2472) [Васильчук,

Таблица 2. Радиоуглеродные определения (лет назад) из вмещающих ледяную жилу отложений и из органики, извлеченной из грунтово-торфяной жилы в разрезе Юньягинского торфяника, район г. Воркуты

^{14}C -возраст	Лаб. №	Полевой №	Глубина, м	Материал датирования
9230 ± 60	ГИН-12567	395-YuV/14	1.3	Ветки в нижней части торфяника
9330 ± 40	ГИН-12568	395-YuV/15	1.25-1.3	Торф выше веток, темно-коричневый, влажный, волокнистый
9000 ± 40	ГИН-12569	395-YuV/16	1.15	Торф мерзлый, рыжевато-коричневый
8730 ± 60	ГИН-12570	395-YuV/17	1.1	Торф мерзлый, рыжевато-темно-коричневый
9310 ± 40	ГИН-12571г	395-YuV/18	2.5	Древесина (ветки) в основании залежи
9070 ± 40	ГИН-12572	395-YuV/19	1.8	Большой ствол березы
7960 ± 40	ГИН-12573	395-YuV/20	0.7	Торф темно-коричневый, талый
5560 ± 50	ГИН-12574	395-YuV/21	0.3	Блок торфа смещенный
220 ± 80	ГИН-12575г	395-YuV/22	0.15	Торф желтовато-коричневый
550 ± 60	ГИН-12575	395-YuV/22	0.15	Торф желтовато-коричневый
9210 ± 90	ГИН-12576	395-YuV/25	2.5	Торф, вмещающий древесину
9300 ± 40	ГИН-12577	395-YuV/26	1.9	Торф вокруг большого ствола березы
9230 ± 40	ГИН-12578г	395-YuV/27	1.7	Торф
9320 ± 50	ГИН-12579	395-YuV/37	3.2	Торф черный и коричневый из погребенного горизонта
9110 ± 60	ГИН-12580	395-YuV/38	3.2	Древесина из этого же торфа
7150 ± 40	ГИН-12581	395-YuV/39	1.5	Торф с супесью, погребенный горизонт
6140 ± 50	ГИН-12582	395-YuV/40	1.0	Древесина
6070 ± 60	ГИН-12582г	395-YuV/40	1.0	Торф черный, вмещающий древесину
9270 ± 40	ГИН-12583	395-YuV/42	3.2	Древесина из вертикальной грунтово-торфяной жилы
9280 ± 70	ГИН-12584	395-YuV/43	3.2	Торф черный из этой грунтово-торфяной жилы

Таблица 3. Содержание микроэлементов (мг/л) в повторно-жильном льду, в разрезе Юньягинского торфяника, район г. Воркуты

№ обр.	Глубина, м	Fe	Zn	Cu	Mn	Sr	Na
395-YuV/7	1.5–1.65	0.503	<0.005	<0.005	0.014	0.12	0.03
395-YuV/13	2.4–2.5	0.637	0.03	<0.005	0.018	0.05	0.175

1992], а на западе полуострова близ Марресале торфяная жила на глубине 2.5 м датирована $9\ 010 \pm 100$ лет (ЛУ-1267) [Арсланов и др., 1986]. И в том, и в другом случае грунтовые торфяные жилы находятся в парагенезе с мощными ледяными жилами (высотой 3.5 и 2 м), пересекающими грунтовые жилы, т.е. повторно-жильный лед формировался сразу после образования торфяной жилы и наследовал ее. Это возрастное соответствие говорит о достаточно интенсивном и, надо полагать, достаточно широко распространенном, по крайней мере на севере западного сектора Российской криолитозоны, морозобойном растрескивании и формировании столь специфического явления, как сингенетические грунтово-торфяные жилы. Интересна и близость изменчивости (т.е. $\Delta\delta^{18}\text{O}$) изотопно-кислородного состава Сеяхинской и Воркутинской жил, формировавшихся почти одновременно - менее 1‰: в жилах близ Воркуты значения $\delta^{18}\text{O}$ изменяются от -15.60 до -16.28‰, в Сеяхинской от -19.4 до -20.3‰ и одинаково незначительное их отличие от современных значений.

Судя по содержанию микроэлементов в повторно-жильном льду Юньягинского торфяника (табл. 3), лед формировался преимущественно в субэаральных условиях с доминированием талой снеговой воды, заполнявшей морозобойные трещины. Только существенное содержание железа - более 0.6 мг/л - говорит о некотором участии болотных вод в составе льда.

Естественно предположить, что ледяная жила начала формироваться в более осушенной части болота, в это же время на чаще заливаемой его части начали формироваться грунтово-ледяные жилы, которые нередко встречаются в такой фациальной обстановке и вертикальное, часто причудливое переслаивание грунта и льда в которых не раз описано в различной геоморфологической ситуации [Дубиков, 2002; Некрасов и др., 1967]. При часто сменяющемся режиме обводнения ледяные жилки в ледогрунтовой

жиле протаивали и в них попадал торф и ветки, затем вновь в результате осушения этой части болота здесь же закладывалась ледяная жилка и 2-3 таких цикла привели к формированию торфяно-ледяной жилы; впоследствии эта часть болота была более основательно залита, в результате чего лед вытаял и заместился суглинком, который сейчас перекрывает слой торфа с грунтовой торфяно-суглинистой жилой. Это произошло в интервале от 9 до 7 тыс. лет. В это же время ледяные жилы на менее обводненных участках формировались практически непрерывно, о чем свидетельствуют датировки во вмещающем жилу торфе 9, 8.7 и 7.9 тыс. лет.

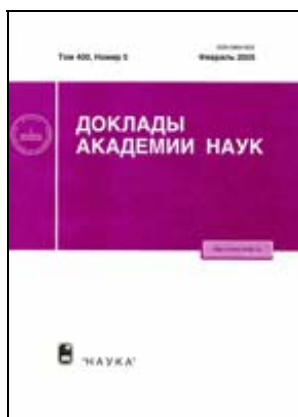
Это позволяет считать наиболее вероятным, что период растрескивания и начала формирования ледяной и грунтовой жил близок к 9-9.2 тыс. лет назад, а период накопления ледяной жилы в целом может быть оценен от 9 до 7 (5.5?) тыс. лет назад. Изотопно-кислородная и дейтериевая диаграммы отражают стабильные зимние условия. В верхней части жилы отмечается более резкая изменчивость конфигурации изотопных диаграмм, сначала позитивный, а затем относительно резкий негативный сдвиг значений δD и $\delta^{18}\text{O}$, здесь же и очень заметное увеличение значений дейтериевого эксцесса - до 13.8‰ (при обычных для этой жилы значениях d_{exc} , равных 11-12‰). Это указывает на несколько более контрастные изменения зимних климатических и, возможно, геофизиологических условий ближе к середине оптимума голоцена. Опираясь на сходство изотопно-кислородного и дейтериевого составов жил, формировавшихся в начале голоценового оптимума, с современными можно говорить о близости к современным в первую половину оптимума голоцена значений зимних температур.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (гранты 02-05-64177 и 02-05-64991) и Программы поддержки научных школ (НШ-2067.2003.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов А.И. [Полигонально-жильный лед в Большеземельской тундре](#) // Подземный лед. М.: Изд-во МГУ, 1965. С. 160-166.
2. Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). М., 1992. Т. 1. 420 с.; Т. 2. 264 с.
3. Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геокриологии и гляциологии. М.: Изд-во МГУ, 2000. 616 с.
4. Романенко Ф.А., Воскресенский К.С., Тарасов П.Е. и др. В сб.: Проблемы общей и прикладной геоэкологии севера. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 41-68.
5. Leibman M.O., Lein A.Yu., Hubberten H.W. et al. // Материалы гляциологических исследований. 2001. В. 90. Р. 30-39.
6. Арсланов Х.А., Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д., Тертычная Т.В. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 1986. В. 55. С. 132-133.
7. Дубиков Г.И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М.: Геос, 2002. 246 с.
8. Некрасов И.А., Заболотник С.И., Климовский И.В., Шасткевич Ю.Г. Многолетнемерзлые горные породы Станового нагорья и Витимского плоскогорья. М.: Наука, 1967. 168 с.

Ссылка на статью:



Васильчук Ю.К., Пашеи В., Ранк Д., Сулержицкий Л.Д., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чиждова Ю.Н. Первые для севера Европы ^{14}C -датированные изотопно-кислородная и дейтериевая диаграммы из повторно-жильного льда близ города Воркуты // ДАН. 2005. Т. 400. № 5. С. 684-689.