НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ

Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 4, с. 3–16 **http://www.izdatgeo.ru**

ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.435.4 : 551.345

ДОСТОВЕРНОСТЬ НАИБОЛЕЕ МОЛОДЫХ РАДИОУГЛЕРОДНЫХ ДАТИРОВОК В СИНКРИОГЕННЫХ ТОЛЩАХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Ю.К. Васильчук, А.К. Васильчук

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический и геологический ф-ты, 119991, Москва, Ленинские горы, Россия, vasilch@geol.msu.ru, alla-vasilch@yandex.ru

При разработке стратегии выбора наиболее достоверных датировок при радиоуглеродном датировании синкриогенных толщ учтена преимущественно морская, или флювиальная, природа большей части синкриогенных толщ (морских, аллювиальных, озерных), хорошая сохранность органического материала в многолетнемерзлых осадках, неоднократное перезахоронение органических остатков из более древних толщ в более молодые. Рассмотрено современное переотложение органического материала в условиях субаквального синкриогенного осадконакопления, а также возможное переотложение органического материала в условиях субаэрально-субаквального синкриогенного осадконакопления. Отмечены преимущества и трудности, возникающие при датировании микровключений органики из ледяных жил методом ускорительной масс-спектрометрии. Показано, что при датировании с применением масс-спектрометрии на результатах существенно сказываются даже различия массы датируемых образцов.

Выполнено сопоставление радиоуглеродных датировок по разным материалам из одних и тех же образцов. Критически проанализированы большие массивы радиоуглеродных дат по разрезам Дуванный Яр на Колыме и Мамонтова Хайота в устье Лены, установлен более молодой, чем ранее считалось, возраст этих разрезов.

Синкриогенные толщи, многолетнемерзлые породы, повторно-жильные льды, радиоуглеродное датирование, Сибирь

VALIDITY OF THE YOUNGEST RADIOCARBON DATES IN SYNCRYOGENIC PERMAFROST

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

Lomonosov Moscow State University, Department of Geography and Geology, 119991, Moscow, Leninskie Gory, Russia, vasilch@geol.msu.ru, alla-vasilch@yandex.ru

Developed strategy of the most authentic radiocarbon date selection in dating syncryogenic sediments takes into account the fluvial origin of the predominant part of syncryogenic strata (such as marine, alluvial, lacustrine), good proservation of organic material in permafrost conditions and the numerous reburials of the fossils from ancient deposits into younger ones. Contemporary redeposition of organic material is examined under the conditions of subaqueous syncryogenic sedimentation together with the possible redeposition of organic material in subaeral or subaeral-subaqueous conditions. The advantages and the complications of dating of organic microinclusions from ice wedges by the method of accelerating mass spectrometry are discussed. It is shown that the results of accelerating mass spectrometry ^{14}C dating depend on the difference in the weight of dated samples.

Comparison of radiocarbon dates of different organic materials from the same samples is fulfilled. The large set of ^{14}C dates from cross-sections of Duvanny Yar in the Kolyma River and Mamontova Khayata in the Lena River mouth is critically analyzed. The younger age of these ice wedge complexes is substantiated.

Syncryogenic strata, permafrost, ice wedge, radiocarbon dating, Siberia

ВВЕДЕНИЕ

По синкриогенным отложениям криолитозоны России получены тысячи радиоуглеродных датировок, совокупность которых нередко с трудом поддается интерпретации. Основной проблемой радиоуглеродного датирования синкриогенных многолетнемерзлых отложений является надежность полученной даты, поскольку может происходить как омоложение, так и удревнение в результате поступления в образец более молодого или более древнего углерода. Обычно предполагалось, что датировки органики часто омоложены, из чего следовало, что чем древнее полученная ^{14}С-дата, тем она достовернее. Это предположение базировалось на известном факте, что даже самая незначительная примесь молодого органического материала приводит к существенному омоложению более древних датировок. Но это положение справедливо для открытых систем, а для мерзлых толщ говорить о возможном сильном омоложении вряд ли правильно. Омоложение, как известно, может происходить в условиях открытой системы, например, там, где создаются условия для переработки микробами современного углекислого газа или где происходит фильтрация с водой современных растворенных карбонатов или почвенных растворов. Вероятное омоложение можно оценить посредством измерения радиоактивного трития, содержание которого в синкриогенных толщах обычно невелико. Зато удревнение дат за счет примеси переотложенного из более древних отложений материала – проблема для криолитозоны первостепенная, и в литературе ей уделено незаслуженно мало внимания. Возможность удревнения можно оценить, прежде всего, по степени сохранности датированного материала и вероятной его автохтонной природе, а главным образом на основе сравнения рядов радиоуглеродных дат.

При датировании синкриогенных толщ необходимо учитывать несколько важных обстоятельств. Во-первых, преимущественно субаквальную природу большей части синкриогенных толщ – морских, аллювиальных, озерных. Во-вторых, хорошую сохранность органического материала в многолетнемерзлых толщах. Практически в свежем состоянии десятки тысяч лет сохраняются даже ткани животных мамонтовой фауны. В-третьих, автохтонная растительность в районах интенсивного накопления синкриогенных толщ представлена, как правило, травами и кустарничками, а также мхами. Автохтонные крупные корни и стволы деревьев в большей части синкриогенных толщ скорее исключение, чем правило.

Эти обстоятельства приводят к тому, что переотложение органического материала в процессе накопления синкриогенных толщ происходит неоднократно. Даже в одном и том же горизонтальном прослое могут быть встречены кости животных и окатанная древесина, заметно более древние, чем осадконакопление. Отобранный из того же горизонта растительный детрит, может быть моложе костей и древесины, но древнее истинного возраста осадконакопления.

В субаквальных отложениях озер и морей аномально древние даты неоднократно отмечались среди более молодых. Это особенно характерно для районов активной аккумуляции переотложенного материала [*Broecker et al., 2006*]. Измерения возраста современного плавника на о. Виктория Канадского Арктического архипелага продемонстрировали, что из 30 бревен, выброшенных на берег в разных точках острова, только одно имело современный возраст (табл. 1), одно было не старше 80 лет, а в основном возраст аллохтонных бревен был древнее – от 1,0 до 3,2–4,7 тыс. лет [*Dyke, Savelle, 2000*]. Отметим, что почти все датированные бревна относятся к одному и тому же роду *Picea* (ели), которая в этом районе не произрастает. Захоронение такой древесины в прибрежных районах исключает вероятность адекватного датирования содержащих ее отложений. Датируя по древесине возраст накопления отложений на пляже о. Виктория (или их более древних аналогов), можно ожидать ошибку более чем в 3 тыс. лет.

При датировании археологических находок также возникли инверсии дат, обозначенные как проблемы "древней древесины" и "древних раковин". При этом различия в датировках одинакового, на первый взгляд, материала колеблются от незначительных (около 100 лет) до существенных (более 10 000 лет). Так, в разрезе отложений в пещере Чимни на о. Сан-Мигел у побережья Калифорнии получен ряд из 14 датировок, по археологическим находкам, возрастом около 10 тыс. лет. При этом были датированы две раковины из бус. Одна раковина моллюска *Olivella* вписалась в ряд датировок (10 160 ± 25) лет, а вторая оказалась на 20 тыс. лет старше ((30 900 ± 100) лет). При этом никаких внешних различий у раковин не отмечено [*Rick et al., 2005*].

Инверсии радиоуглеродных датировок возникают и при датировании фораминифер. Это связано как с вовлечением в вещество раковин фораминифер вторичного, более молодого углерода, так и с включением более древнего углерода. Для датирования отложений, накапливающихся с высокой скоростью, необходимо сравнение датировок по тонкостенным и нормальным раковинам, а для проверки на наличие вторичного кальцита в осадке предлагается сравнить даты по образцам, обработанным кислотой, и необработанным [*Broecker et al., 2006*].

В криолитозоне такие аномальные датировки совсем не исключение, а скорее правило. Одной из первых работ по ^{14}С-датированию синкриогенных толщ Аляски, где были обнаружены существенные возрастные аномалии, была статья Дж. Брауна по датированию полигонально-жильного комплекса на мысе Барроу [*Brown, 1965*]. Основная часть этого полигонального комплекса датирована Дж. Брауном не старше 8300 лет. В повторно-жильном льду выполнены датировки остатков осок и пеллет леммингов. На расстоянии 2 м от бокового контакта лед был датирован 14 500 лет, а в центре ледяной жилы – 8200 лет. Очевидно, что дата 14,5 тыс. лет получена по аллохтонному материалу.

Таблица 1. **Радиоуглеродный возраст плавника на п-ове Волланстон, о. Виктория, Канадский Арктический архипелаг [*Dyke, Savelle, 2000*]**

Лаборат. номер	Возраст, тыс. лет	Местоположение	Высота над ур. моря, м	Вид
GSC-3719	1150 ± 60	Мыс Бак	4	*Picea* sp.
GSC-4504	740 ± 50	Каен	3	*Larix* sp.
GSC-4648	460 ± 50	Каен	27	*Picea* sp.
GSC-6291	3260 ± 70	Мыс Бак	8,5	*Picea* sp.
GSC-6298	3260 ± 70	Мыс Бэринг	7	*Picea* sp.
GSC-6302	1820 ± 50	Мыс Бэринг	5	*Picea* sp.
GSC-6310	490 ± 50	Залив Пенни	5	*Picea* sp.
GSC-6322	1210 ± 60	Мыс Бэринг	4	*Picea* sp.
GSC-6324	1260 ± 70	Залив Пенни	3	*Picea* sp.
GSC-6326	1030 ± 80	Там же	2,5	*Picea* sp.
GSC-6334	1190 ± 60	»	1,5	*Picea* sp.
GSC-6342	**80 ± 70**	Мыс Бэринг	13	*Picea* sp.
GSC-6344	1750 ± 60	Там же	39	*Picea* sp.
GSC-6348	150 ± 60	»	13	*Picea* sp.
GSC-6350	4730 ± 70	»	16	*Picea* sp.
GSC-6352	1160 ± 70	»	4	*Picea* sp.
GSC-6354	530 ± 50	»	12	*Picea* sp.
GSC-6359	1340 ± 70	Залив Пенни	1	*Picea* sp.
GSC-6360	570 ± 70	Там же	16,5	*Picea* sp.
GSC-6361	**Соврем.**	»	12,5	*Picea* sp.
GSC-6367	1200 ± 70	»	1,5	*Picea* sp.
GSC-6368	2020 ± 70	»	4,5	*Picea* sp.
GSC-6369	620 ± 70	Мыс Бэринг	6	*Picea* sp.
GSC-6370	1790 ± 70	Там же	5,5	*Picea* sp.
GSC-6371	1140 ± 70	»	13,5	*Picea* sp.
GSC-6372	920 ± 80	»	6,5	*Picea* sp.
GSC-6373	1630 ± 80	»	5,5	*Picea* sp.
GSC-6374	470 ± 70	»	2,5	*Picea* sp.
GSC-6375	2490 ± 80	»	6,5	*Picea* sp.
GSC-6346	650 ± 50	»	6,5	Уголь

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее достоверные датировки.

Инверсии радиоуглеродных датировок отмечены также в известном разрезе Фокс Пермафрост Туннель, расположенном в 15 км от г. Фэрбенкс. Часть инверсий связана с датированием перенесенных водным потоком костей, которые несколько древнее вмещающих отложений. Неоднородность растительного детрита аллювиального происхождения, датированного вблизи границы более молодого горизонта гравия, и отложений ледового комплекса подчеркивается разницей между датами, полученными из одного горизонта, которая составила около 12 тыс. лет (от 27 790 до 43 300 тыс. лет) [*Hamilton et al., 1988*].

Почти с такой же возрастной аномалией столкнулись Х. Майер с соавторами при датировании почти аналогичного вышеописанному по составу флювиального (от лат. *fluvius* – река, поток) синкриогенного повторно-жильного комплекса над золотоносной толщей в тоннеле в 40 км севернее Фэрбенкса, когда материал из жилы ими был датирован (34 400 +4390/–2820) тыс. лет (KIA-25275), а явно переотложенная органика (древесина, органический детрит) из непосредственно вмещающих жилы отложений – от 42 до 52 тыс. лет [*Meyer et al., 2008*].

Еще более яркий пример – это датирование Р.Е. Нельсоном с соавт. [*Nelson et al., 1988*] голоценовой террасы р. Икпикпак на арктическом побережье Аляски. Здесь был получен ряд датировок от запредельных (т. е. старше предела датирования, для криолитозоны это древнее 45–50 тыс. лет) до 9100 лет назад (табл. 2).

Наиболее молодые даты (не старше 10 тыс. лет) получены по семенам верблюдки – растения семейства маревых, а также по древесине тополя и пеньку ивы. По древесине ивы определены более древние даты, в том числе и запредельные. Подтверждение того, что торф в разрезе является аллохтонным, получено в результате датирования разных фракций одного и того же образца. Наибо-

Таблица 2. **Радиоуглеродные датировки из обнажения на р. Икпикпак [*Nelson et al., 1988*]**

Материал датирования	Лаборат. номер	^{14}C-датировка, лет
Corispermum, семена	A-3900	9100 ± 350
Populus, древесина	I-13174	9430 ± 160
Salix, пень	I-11073	9670 ± 130
Торф, 1,4 мм	USGS-1267	13 670 ± 130
Торф	USGS-883	13 730 ± 110
Торф, 2,0 мм	**USGS-2046A**	**13 250 ± 100**
Торф, 1,0–2,0 мм	**USGS-2046B**	**17 730 ± 110**
Торф, 0,5–1,0 мм	**USGS-2046C**	**24 740 ± 320**
Торф, 0,25–0,5 мм	**USGS-2046D**	**30 260 ± 530**
Торф, 0,25 мм	**USGS-2046E**	**20 360 ± 190**
Древесина	I-11453	8790 ± 140
Древесина	I-11399	10 230 ± 160
Salix, древесина	USGS-457	13 570 ± 120
Торф	I-11401	>39 000
Торф	I-11279	>40 000
Salix, древесина	USGS-632	>49 000

Примечание. Жирным шрифтом показаны датировки, полученные по разным фракциям одного и того же образца.

Рис. 1. Отсепарированный аллохтонный материал, вымытый из органоминеральной полигонально-жильной толщи, возрастом 30–11 тыс. лет на современном пляже Обской губы близ пос. Сеяха (восточное побережье Ямала).

лее молодой является крупная фракция размером 2 мм (13 250 лет), а наиболее древней и наименее достоверной – мелкая фракция размером 0,25–0,50 мм (30 260 лет). Безусловно, большая часть органического материала в этом голоценовом разрезе была переотложена, хотя и имела прекрасную сохранность.

Напомним, что еще в 1970-е гг. Р. Штукенрат с соавторами получили ряд из 28 ^{14}C-датировок в мерзлых голоценовых толщах, представленных слоистыми песками на п-ове Кумберленд, Баффинова Земля [*Stuckenrath et al., 1979*]. В связи с инверсионным распределением радиоуглеродных датировок были датированы разные фракции образцов. Различия в голоценовых датировках по разным фракциям одного и того же образца составили от 720 до 1245 лет.

Наиболее молодые датировки были получены по фракции размером 125 мкм и крупнее. Исследователи пришли к выводу о загрязнении мелких и тонких песков древним органическим материалом размером менее 125 мкм и признали наиболее надежными датировки органики крупнее 125 мкм.

ОСНОВЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИИ ДАТИРОВАНИЯ ТОЛЩ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Современное переотложение органического материала в условиях субаквального синкриогенного осадконакопления

Одной из главных предпосылок для более внимательного учета переотложенной органики при радиоуглеродном датировании является непременное участие органики, вымытой из более древних отложений и перенесенной водой в условиях современного сикриолитогенеза на пляжах морей, губ, озер и на бечевниках и низких поймах рек. Это весьма наглядно проявилось при исследовании пляжа Обской губы, располагающегося непосредственно под Сеяхинской едомной толщей [*Васильчук Ю.К. и др., 1998*]. Органические остатки в самой едомной синкриогенной толще датированы от 30 до 11 тыс. лет назад [*Васильчук Ю.К., 2006*], а органический материал, вымытый в результате термоабразии на современный пляж, отсепарировался и отложился в виде практически чистых (отмытых от минеральных частиц) фестончатых скоплений органического детрита (рис. 1), которые подобны тем, что фиксируются в синкриогенных толщах и часто относятся исследователями к прослоям автохтонного типа, хотя являются аллохтонными.

Полученные даты не будут синхронными осадконакоплению, а будут показывать время произрастания составляющих этот детрит растений. Очевидно, что радиоуглеродный возраст таких скоплений органики на пляжах под абразионными берегами будет на 10–20 тыс. лет (иногда и более) древнее, чем истинное время накопления осадка.

На аккумулятивных участках побережий, удаленных от абрадируемых берегов, доля переотложенного материала также может быть очень велика. Это подтвердили наши полевые исследования на пляже Карского моря в устье р. Салемлекабтамбда на п-ове Мамонта. На расстоянии около 300 м было отобрано пять образцов донного материала из приливно-отливной зоны. Часть образцов представляла собой мелкий и тонкий песок, а часть была представлена крупным песком. Анализ

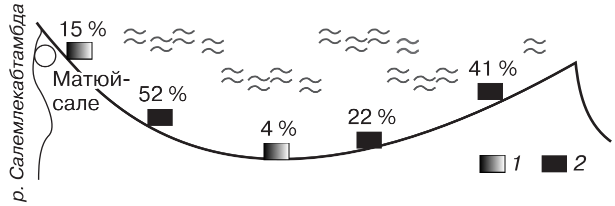

Рис. 2. Изменение содержания пыльцы древесных пород в зависимости от состава отложений на современном пляже Карского моря в устье р. Салемлекабтамбда, побережье п-ова Мамонта, север Гыданского п-ова [*Васильчук А.К., 2009*]:

1 – содержание пыльцы в мелком песке; *2* – содержание пыльцы в крупном песке.

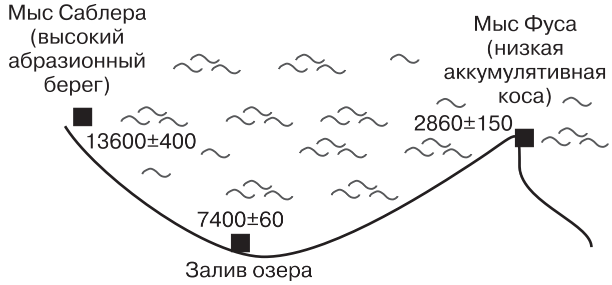

Рис. 3. Различия в возрасте свеженамытой органики в разных частях современного пляжа оз. Таймыр [*Сулержицкий, 1982*].

спорово-пыльцевых остатков в этих образцах показал существенное различие спектров [*Васильчук А.К., 2005*].

Содержание пыльцы древесных пород в образцах крупных песков было заметно выше, чем в мелких, и даже превышало половину всего содержания пыльцы и спор в образце (рис. 2). Между тем район исследований располагается в зоне арктической тундры, и до ближайшего дерева – более 600 км. Ясно, что существенная часть пыльцы деревьев вымыта из более древних отложений в результате термоабразии и является аллохтонной и, естественно, более древней, чем осадок. Сам факт обнаружения в современных и четвертичных отложениях мезозойской и палеозойской пыльцы, отмечавшейся всеми палинологами, изучавшими северный плейстоцен, также однозначно указывает на большую роль процесса переотложения органики в синкриолитогенезе.

Интересный полевой эксперимент, важный для интерпретации данных радиоуглеродного анализа, выполнен Л.Д. Сулержицким. Он изучил радиоуглеродный возраст аллохтонной органики на пляже оз. Таймыр (центральная часть п-ова Таймыр) и показал, что разница возраста свеженамытой озерными водами органики может достигать 10 тыс. лет и более [*Сулержицкий, 1982*]. Так, образец, взятый непосредственно из-под обнажения едомы на мысе Саблера, датирован (13 600 ± 400) лет. Здесь же на побережье оз. Таймыр на поверхности сравнительно плоского низкого мыса Фуса свеженамытый рассеянный детрит датирован (2860 ± 150) лет, а с пляжа залива, разделяющего мысы Фуса и Саблера, по скоплениям детрита в маленьких заводях получена ^{14}С-дата (7400 ± 60) лет (рис. 3). Еще раз подчеркнем, что анализировался современный свежий осадок, который в идеальном случае должен был показать современный возраст.

Соответственно, этот горизонт пляжевых отложений через непродолжительное время будет захоронен, и его радиоуглеродный возраст не будет объективно отражать истинное время аккумуляции отложений. Но естественно, ближе всех к истинному времени седиментации всегда будет самая молодая датировка из серии полученных из этого горизонта дат.

Переотложение органического материала может происходить и в условиях субаэрального или субаэрально-субаквального синкриогенного осадконакопления. Синкриолитогенез в субаэральных условиях, по-видимому, лучше всего может быть датирован по органическому материалу из ледяных жил и материалу из норок северных грызунов.

К сожалению, датировок современного материала из норок и растущих ледяных жил нет. Поэтому продемонстрируем вышесказанное на сопоставлении плейстоценовых ^{14}С-дат.

Датирование органического материала из норок и автохтонных торфяников

Одним из лучших материалов для датирования времени субаэрального формирования синкриогенных толщ являются органические остатки в норках грызунов, так как обитатели норок приносят туда только современную им органику. Органическое вещество в норках часто имеет прекрасную сохранность. Там часто встречаются семена растений, измельченная подстилка, вегетативные части растений, древесный уголь, копролиты, фитолиты, иногда кости [*Динесман, 1979; Хасанов, 1999; Губин и др., 2003*]. В тундрах с высоким уровнем стояния грунтовых вод норы располагаются на хорошо дренированных, незаливаемых во время весеннего снеготаяния повышениях микрорельефа [*Динесман, 1975*]. Следовательно, привнос аллохтонной органики водой в норку мало вероятен. Семена в норках сохраняют всхожесть в течение десятков тысяч лет. Жизнеспособные семена ископаемых растений были выделены из погребенной норы *Urocitellus suborder* в едомных отложениях в разрезе повторно-жильного комплекса Зеленый Мыс в низовьях Колымы. Возраст норки около 30–32 тыс. лет. Камера норки не несет признаков подтопления. Извлеченные из норы луковички *Polygonum viviparum* и семена *Caryophyllaceae, Brassicaceae, Carex* sp., *Potentilla* sp., *Ranunculus* sp. (два вида), *Draba cinerea* Adam., *Poa* sp., *Bromus* sp. были очень хорошей сохранности и сохранили все морфологические особенности и окраску. Эксперименты по проращиванию семян *in vitro* дали возможность прорастить семена гвоздик и осок [*Яшина и др., 1997, 2002*]. Ранее на Аляске тоже из норы лемминга были успешно пророщены семена *Lupinus arcticus* Wats., датированные 10 тыс. лет. Органический материал в норках всегда автохтонный и радиоуглеродные датировки по этому материалу надежны.

Норы грызунов часто встречаются в разрезах ледового комплекса. При изучении разреза полигонально-жильного комплекса в озерно-болотной вкладке в разрезе второй террасы у фактории Матюйсале на п-ове Мамонта, который характеризуется высокой степенью переотложения органического вещества [*Васильчук А.К., 2005*], только датирование гнездовой норки лемминга на глубине 3,5 м позволило адекватно оценить время формирования отложений. Содержимое норки представлено мелкими веточками и датировано по ^{14}C в (8630 ± 60) лет (ГИН-3626), при этом стратиграфически выше торф датирован 10 тыс. лет и даже 11 тыс. лет [*Васильчук Ю.К., 1992*].

Отметим, что в содержимом норки не отмечено переотложенных пыльцы и спор, хотя в окружающих норку отложениях содержание переотложенных доплейстоценовых пыльцы и спор превышает 20–25 %. Пыльца деревьев в полученном из норки образце единична (*Pinus silvestris* – 1 %). Пыльца кустарников составляет 37 %: карликовая березка (30 %) и ольховник (7 %). Пыльца трав и кустарничков представлена в основном пыльцой злаков (9 %), полыни (8 %), осок (2 %), морошки (1 %), лютиковых (1 %). Среди спор преобладают споры сфагновых (23 %) и зеленых мхов (14 %), единичны споры хвощей и папоротников, а также споры *Lycopodiella innundata*. Эти данные позволяют предположить, что датирование пыльцевого концентрата из подобных норок весьма перспективно для определения времени формирования отложений.

Норка грызуна в разрезе Дуванного Яра датирована (31 800 ± 1400) лет (Beta-157195), однако в образце органики из нее содержатся переотложенные пыльца и споры в количестве 2,6 % [*Васильчук А.К., 2005*]. Для разрезов низовий Колымы это высокое содержание переотложения, поэтому можно предположить, что в норку попала более древняя органика, например, во время паводка или половодья после того, как она была оставлена грызуном.

Следовательно, даже такой надежный для датирования объект с автохтонной органикой, как норки, необходимо проверять дополнительно, если имеются признаки подтопления.

Имеется множество примеров возрастных инверсий, полученных по разрезам, без очевидных признаков переотложения или по заведомо автохтонным объектам.

Примером такого датирования может служить датирование автохтонного торфа на полигональном болоте с повторно-жильными льдами в окрестностях оз. Клеарвотер в зоне гипоарктических тундр в Квебеке [*Payette et al., 1986*]. Здесь в одном и том же приповерхностном слое торфа был получен ряд датировок, отличающихся почти на 2000 лет (от (2220 ± 80) до (335 ± 75) лет назад). Вместе с тем хроностратиграфия вмещающего жилу торфа на этом же полигоне оказалась более приемлемой: на глубине 0,9 м – 3,2 тыс. лет, 0,5 м – 1,4, 0,2 м – 0,6 и 0,1 м – 0,3 тыс. лет.

По-видимому, растения, сформировавшие этот торф, использовали разные источники грунтового питания, корни деревьев проникали на бóльшую глубину по сравнению с мхами. Следовательно, даже при правильном выборе автохтонного объекта для датирования в зоне многолетнемерзлых пород может быть получен некоторый разброс датировок.

Датирование микровключений органики из ледяных жил методом ускорительной масс-спектрометрии

Прямое ^{14}C-датирование времени формирования сингенетических повторно-жильных льдов [*Васильчук Ю.К., 2006; Васильчук А.К., 2007*] стало возможным при использовании техники ускорительной масс-спектрометрии (AMS). Датирование повторно-жильного льда имеет ряд преимуществ, поскольку позволяет получить возраст непосредственно льда, который является закрытой системой, т. е. в данном случае исключена микробная активность.

Мы полагаем, что лед сингенетических повторно-жильных комплексов является лучшей средой и для накопления синхронных льдообразованию микрочастиц органики (которые сразу после попадания в жилы замерзают) и практически идеальной средой длительной консервации органического материала (многие десятки и сотни тысяч лет жилы не оттаивают и сохраняют все биогенные остатки неизменными). Это делает возможным адекватное радиоуглеродное датирование жил, так как обмен углеродом после попадания органики в жилы исключен.

Оценка результатов датирования органических включений из повторно-жильных льдов продемонстрировала, что и в данном случае мы часто

Таблица 3. **Сопоставление AMS радиоуглеродных датировок, полученных при датировании различных фракций органики из одних и тех же образцов льда из синкриогенных ледяных жил**

Полевой номер	Высота над ур. моря, м	Глубина, м	^{14}C-датировка*		
			органических микровключений	щелочной вытяжки	пыльцевого концентрата
Сеяхинский полигонально-жильный комплекс, восточное побережье центрального Ямала, тундра					
363-YuV/27	+20,2	1,8	14 550 ± 100 (GrA-10538)	19 920 ± 130 (GrA-9847)	25 200 ± 150 (SNU01-214)
363-YuV/87	+10,0	12,0	**14 720 ± 100** (GrA-10539)	23 620 ± 160 (GrA-9848)	22 400 ± 100 (SNU01-215)
Полигонально-жильный комплекс Бизон, низовья Колымы, северная тайга					
378-YuV/195	+18,0	2,6	**26 460 ± 350** (GrA-16803)	27 790 ± 400 (GrA-16793)	31 400 ± 500 (SNU02-128)
378-YuV/90	+16,6	4,0	29 500 ± 500 (GrA-16802)	32 200 ± 650 (GrA-16785)	**26 200 ± 300** (SNU02-147)
378-YuV/100	+13,0	7,6	32 600 ± 700 (GrA-16808)	36 300 ± 1000 (GrA-16792)	**28 200 ± 600** (SNU02-150)
378-YuV/102	+13,0	7,6	**30 750 ± 550** (GrA-16804)	33 500 ± 750 (GrA-16788)	35 600 ± 800 (SNU02-124)
378-YuV/146	+9,6	11,0	**30 500 ± 550** (GrA-16805)	>38 400 (GrA-12891)	43 600 ± 1100 (SNU02-125)

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее достоверные датировки.
* В скобках после датировки указан лабораторный номер.

сталкиваемся с неоднородным концентратом, т. е. проблемой “bulk”* образца по аналогии с датированием по стандартной процедуре.

Так, при датировании органического вещества из мощных сингенетических льдов в разрезе 24-метровой террасы у пос. Сеяха оказалось, что датировки фракции органических включений более 200 мкм наиболее молодые (табл. 3). Степень закрытости повторно-жильного комплекса как системы можно оценить, измерив концентрацию трития во льду, что и было сделано.

Данные этих измерений показали, что современные воды в повторно-жильный лед не проникали. Микроорганические включения датированы по ^{14}C на глубине 1,8 м в 14 550 лет, а на глубине 12 м в 14 720 лет. В то же время датировки щелочной вытяжки также были безинверсионными и составили 19 920 и 23 620 лет соответственно.

Таким образом, полученные различия в 5 и 9 тыс. лет между датировками микроорганических включений и щелочной вытяжки могут быть объяснены только весьма интенсивным процессом накопления повторно-жильных льдов в период около 15–14 тыс. лет назад. Несколько позднее был датирован концентрат пыльцы и спор из этих же образцов. При этом была получена возрастная инверсия: датировка спорово-пыльцевого концентрата верхнего образца на 3 тыс. лет древнее нижней и древнее датировки щелочной вытяжки.

Это подтвердило высокую степень участия переотложенной органики в осадконакоплении в период интенсивного накопления повторно-жильных льдов. Состав пыльцы и спор датированного концентрата продемонстрировал высокое содержание доплейстоценовых палиноморф (19–20 %).

Палинологический анализ вмещающих льды отложений позволил реконструировать открытые ландшафты, близкие к арктическим тундрам. Достоверной является только датировка 14 720 лет.

Датирование льда из сингенетического повторно-жильного комплекса Бизон в низовьях р. Колымы также показало несовпадение датировок по разным фракциям (см. табл. 3). Однако ситуация с распределением наиболее молодых датировок здесь несколько иная. Все датировки щелочной вытяжки древнее, чем микроорганические включения (размером более 400 мкм) в каждом из датированных образцов, возрастная инверсия отсутствует, ^{14}C-датировки находятся в диапазоне от запредельной до 27 790 лет. Датировки по микроорганическим включениям находятся в диапазоне 32 600–26 460 лет. На глубине 7,6 м отмечена инверсия, где полученная датировка 32 600 лет древнее датировки образца на глубине 11 м (30 500 лет). Следуя принципу выбора самой молодой датировки как наиболее достоверной, предполагаем, что формирование повторно-жильного комплекса в данном фрагменте началось не ранее 30 500 лет. Датирование концентрата пыльцы и спор также дало инверсию датировок в верхней части на глубине 2,6 м. Однако на глубине 4 м получена дата 26 200 лет, которую можно считать базовой, т. е.

* Термином “bulk samples” в англоязычной литературе обозначается вся совокупность органического материала в образце. К сожалению, русского эквивалента этому термину нет.

формирование повторно-жильного комплекса закончилось не ранее 26 200 лет. Полученная по нижнему ярусу дата 43 600 лет слишком древняя, об этом свидетельствует высокое содержание частиц угля менее 1 мкм в концентрате пыльцы и спор.

Сопоставление радиоуглеродных датировок, полученных по различной органике из одних и тех же образцов

Сформулированный ранее [*Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1998*] принцип о предпочтительном использовании наиболее молодых ^{14}C-датировок из серии дат с одной и той же глубины подтвердился в 2001 г., когда нам удалось датировать разные фракции макроостатков органики, полученные из одного и того же “bulk” образца, отобранного в 1985 г. и датированного стандартным способом в 44 200 тыс. лет. Для датирования под микроскопом из смеси разнородного органического материала были отобраны морфологически однородные макроостатки: черные остатки органики, остатки трав и белые веточки без коры. По ним методом AMS были получены три совершенно различные даты: и более чем на 1,5 тыс. лет старше (45 700 лет) исходной датировки по смешанной органике из исходного образца, и датировки на 4–5 тыс. лет моложе исходной – 40 500 и 39 000 лет (рис. 4, табл. 4). Конечно, последняя датировка ближе ко времени формирования отложений, вмещающих эту органику (интересно, что близкие даты (38 660 + 1370/–1170) лет и (41 590 + 740/–680) лет примерно из этого же горизонта получили недавно Й. Штраус с соавторами [*Strauβ et al., 2010*]). Измерения ^{14}C-методом AMS остатков роговицы глаз насекомых из образца, залегающего на 4 м ниже, в 34 900 лет, показали, что и самая молодая датировка по остаткам трав (39 000 лет) выполнена по переотложенному – более древнему материалу. Если выбирать из всех датировок этих двух “bulk” образцов и выделенных из них фракций однородной органики, то ближе всех к истинному времени осадконакопления этих отложений, конечно, самая молодая датировка – 34 900 лет.

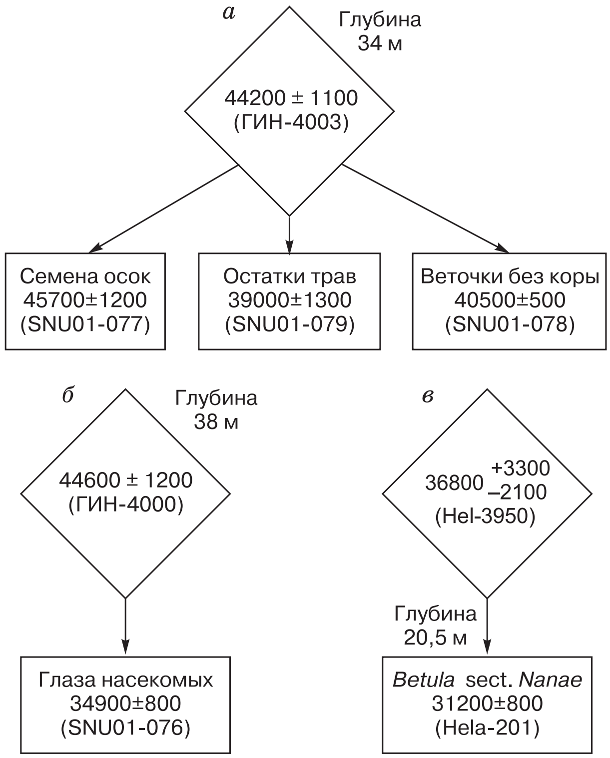

Рис. 4. ^{14}C-датировки монолитных образцов, состоящих из смешанной органики (в ромбах) и датированных методом AMS экстрагированных из них образцов однородного органического материала (в прямоугольниках).

а, б – образцы с разных глубин из едомной толщи разреза Дуванный Яр; *в* – образец из придонной части едомной толщи Сеяхинского разреза.

Такая же ситуация отмечена при датировании основания Сеяхинской едомы, когда сборный образец (датированный 36,8 тыс. лет) продемонстрировал возраст на 5,5 тыс. лет старше, чем экстрагированная из него веточка карликовой березки (датированная 31,2 тыс. лет). Естественно, что дата по этой веточке ближе к истинному времени накопления этих отложений, но есть основания полагать, что и она на 1–3 тыс. лет древнее, чем нача-

Таблица 4. **AMS ^{14}C-датировки разных фракций образца аллохтонного торфа из разреза Дуванный Яр [*Васильчук Ю.К., 2006*]**

Полевой номер образца	Абс. высота, м	Глубина, м	Датировка неразделенного образца	Состав фракции	AMS-дата и лаборат. номер	δ^{13}C, ‰
316-YuV/9	+14,0	34,0	44 200 ± 1100 (ГИН-4003)	Черные остатки органики (корешки осок?)	45 700 ± 1200 (SNU01-077)	–32,4
				Остатки трав	**39 000 ± 1300 (SNU01-079)**	Не измер.
				Белые веточки без коры	40 500 ± 500 (SNU01-078)	–25,6

Примечание. Жирным шрифтом выделена наиболее достоверная датировка.

ло формирования Сеяхинской едомы [*Васильчук Ю.К., 2006*].

Сопоставление радиоуглеродных датировок в едомных толщах

Анализ всех имеющихся рядов датировок в синкриогенных отложениях Российской Арктики [*Сулержицкий, 1982; Авдалович, Биджиев, 1984; Васильчук, Трофимов, 1984; Каплина, 1986; Котов, Рябчун, 1986; Томирдиаро, Чёрненький, 1987; Васильчук Ю.К., 1991, 1992, 2006; Астахов, Мангеруд, 2005, 2007; Астахов и др., 2007; Большиянов и др., 2007; Васильчук А.К., 2007, 2009; Питулько и др., 2007; Басилян и др., 2009; Pewe et al., 1977; Fukuda et al., 1997; Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1997, 1998; Vasil'chuk et al., 2000, 2001; Schirrmeister et al., 2002a,b, 2003, 2008, 2010; Wetterich et al., 2009*] позволил выявить важнейшую роль переотложенного древнего материала в синкриогенных отложениях на всей территории Российской Арктики, а также предложить принцип отбора наиболее молодых датировок как наиболее достоверных.

Радиоуглеродное датирование органических микрочастиц, пыльцы и спор с использованием техники ускорительной масс-спектрометрии позволило предложить методы для фиксации вторичного загрязнения синкриогенных мерзлых пород древним органическим материалом [*Васильчук Ю.К., 2006; Васильчук А.К., 2007, 2009*], а следовательно, и для оценки надежности полученных радиоуглеродных датировок.

Для оценки датирования синкриогенных толщ с мощными сингенетическими повторно-жильными льдами применялась модель мезо- и макроциклического формирования синкриогенных повторно-жильных льдов [*Васильчук Ю.К., 1999, 2006*]. Согласно этой модели, главным детерминирующим механизмом ярусности полигонально-жильных структур была неоднократно повторяющаяся смена характера осадконакопления на поверхности полигонального массива – субэрального и супрааквального.

В качестве примера датирования синкриогенных отложений с мощными повторно-жильными льдами приведем один из наиболее представительных разрезов Колымской низменности – Дуванный Яр и разрез в дельте р. Лены – Мамонтова Хайота. В каждом из этих разрезов число ^{14}C-датировок приближается к 100.

Дуванный Яр. По разрезу Дуванного Яра в разные годы исследователями было получено около 100 радиоуглеродных датировок [*Каплина и др., 1978; Каплина, 1986; Васильчук Ю.К., 1991, 2006; Васильчук Ю.К. и др., 2001; Томирдиаро, Чёрненький, 1987; Губин, 1999; Strauβ et al., 2010*]. Однако не все они могут быть сопоставлены между собой, так как и высота обнажения изменялась год от года, и в разные годы вскрывались различные части этого сложного гетерогенного и гетерохронного комплекса [*Васильчук Ю.К., 2006*].

Для ^{14}C-датирования толщи Дуванного Яра были использованы все виды органического материала [*Васильчук Ю.К., 2006*]. Наряду с костями были отобраны образцы торфа или рассеянных аморфных растительных остатков. Конечно, гораздо чаще здесь встречается аллохтонный материал: как более подвижный – древесина, рассеянные растительные остатки, так и несколько труднее переносимый водой материал – кости мамонтовой фауны. Для того чтобы оценить нормальность радиоуглеродной стратиграфии, мы рассмотрели серии ^{14}C-датировок образцов, отобранных в разные полевые сезоны. Маловероятно, что микробная активность может изменить даты в равной степени и омолодить равномерно, с сохранением хронологической последовательности в значительных сериях дат. Была проанализирована вся совокупность датировок, все они были расположены в соответствии с абсолютной высотой (а не с относительной, существенно менявшейся из-за разного уровня реки на момент отбора и разной высоты вскрываемого обнажения) [*Васильчук Ю.К. и др., 2001; Васильчук Ю.К., 2006*]. Среди этих датировок для каждого горизонта выбраны только наиболее молодые ^{14}C-датировки (табл. 5).

Несомненно, есть некоторая условность в использовании для оценки радиоуглеродного возраста самых молодых дат. Но отсутствие инверсии в распределении самых молодых дат и равномерность их расположения по разрезу показывают, что формирование основной части повторно-жильного комплекса началось около 37–35 тыс. лет назад и закончилось около 13–10 тыс. лет назад.

Мамонтова Хайота. Очень показательно радиоуглеродное датирование едомных отложений в разрезе Мамонтова Хайота на Быковском п-ове. Серия первых дат по едомным толщам в разрезе Мамонтова Хайота получена А.И. Фартышевым, затем по корешкам трав и костям мамонта С.В. Томирдиаро и Б.И. Чёрненьким [*1987*]. Даты хорошо коррелируют между собой: кость датируется в 22 тыс. лет, корешки трав вокруг нее – 21,6 тыс. лет,

Таблица 5. **Самые молодые ^{14}C-датировки органики в каждом из горизонтов толщи Дуванного Яра [*Васильчук Ю.К. и др., 2001; Vasil'chuk et al., 2001*]**

Дата, тыс. лет	Лаборат. номер	Высота над ур. моря, м	Датируемый материал
13 080 ± 140	ЕР-941555	~51	Почва
17 850 ± 110	МАГ-592	~42	Растительный детрит
19 480 ± 100	ГИН-4016	40,8	Кость лошади
28 600 ± 300	ГИН-3867	15,0	Кость
29 900 ± 400	ГИН-4588	10,0	Черный торф
35 400 ± 900	ГИН-3996	7,5	Растительный детрит

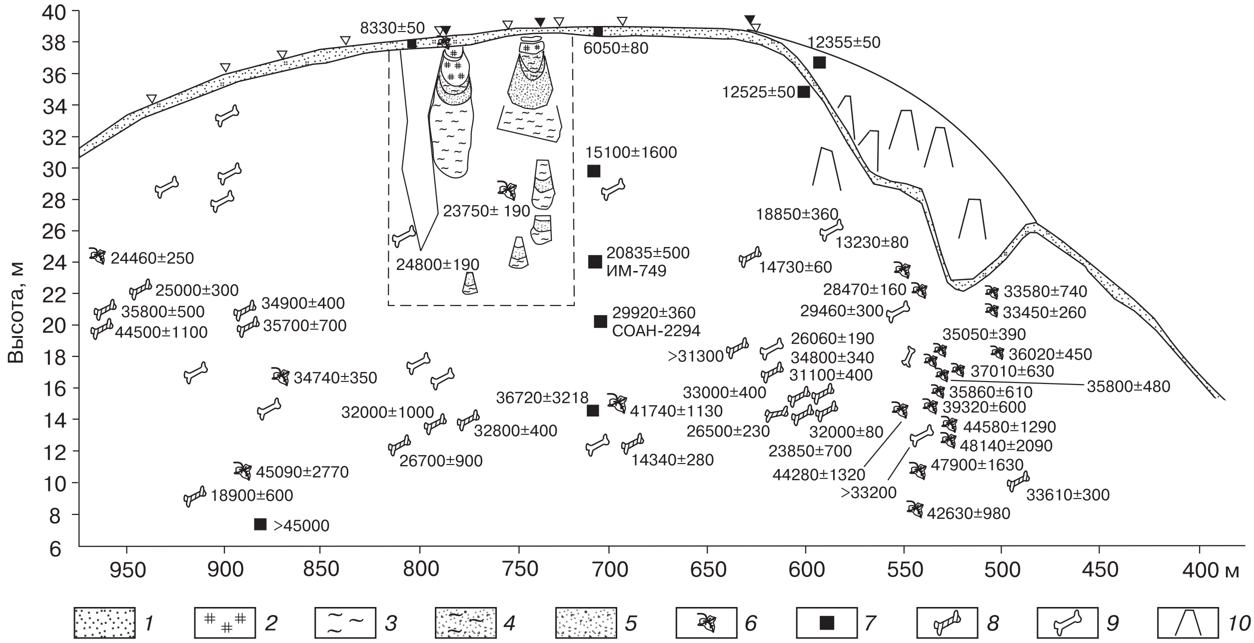

Рис. 5. Радиоуглеродные датировки, полученные К. Зигерт с соавторами [*Siegert et al., 1999*] в разрезе Мамонтова Хайота, Быковский п-ов:

1 – почвенный горизонт сезонноталого слоя; *2* – торф; *3* – ил; *4* – илистый песок; *5* – мелкозернистый песок (с линзами ила); *6* – AMS-датировки по растительной органике; *7* – сцинтилляционные ^{14}C-датировки по растительной органике; *8* – ^{14}C-датировки по коллагену костей млекопитающих (кости найдены в оползнях); *9* – ^{14}C-датировки по коллагену костей млекопитающих (кости найдены *in situ*); *10* – байджерахи.

ниже по разрезу – 28,5 и 33 тыс. лет. В верхней части обнажения получена серия датировок: (21 630 ± 240) лет (ЛУ-1328), (22 070 ± 410) лет (ЛУ-1263), (28 500 ± 1690) лет (ЛУ-1329) и (33 040 ± 810) лет (ЛУ-1330). В одном обнажении Мамонтова Хайота, также характеризующем эту едомную толщу, Е.А. Слагодой [*2004*] получена серия еще более молодых датировок: с глубины 20 м – (32 200 ± 930) лет (ИМ-748), с глубины 20 м – (19 800 ± 500) лет (ИМ-753), с глубины 17 м – (22 000 ± 1600) лет (ИМ-752), с глубины 15 м – (20 836 ± 500) лет (ИМ-749), с глубины 9 м – (15 100 ± 750) лет (ИМ-748).

В процессе работ российско-германского коллектива по разрезу получено 70 AMS-датировок и 20 новых радиоуглеродных датировок, выполненных стандартным способом по растительным остаткам (рис. 5). Они вместе с ранее полученными данными С.В. Томирдиаро и Е.А. Слагоды были использованы для хронологической привязки ледового комплекса и перекрывающего горизонта. Л. Ширмайстер с соавт. [*Schirrmeister et al., 2002b*] предположили, что эти отложения непрерывно накапливались в течение последних 80 тысяч лет. Представляется, что это сильно удревненная оценка начала формирования едомы Мамонтова Хайота. Л. Ширмайстер ссылается в своем исследовании на то, что самая древняя из полученных в Лаборатории Лейбница в Киле датировок древесины с торфом на высоте 2,7 м над уровнем моря – (58 400 + 4960/–3040) лет (KIA-6730). Однако на 2,5 м ниже по растительным остаткам получена более молодая дата (54 930 + 4280/–2780) лет (KIA-12509). Анализируя все радиоуглеродные датировки, приводимые в статье Л. Ширмайстера, и учитывая среднюю скорость накопления едомных осадков здесь – около 1,1 м в 1 тыс. лет и данные, полученные М.И. Григорьевым, о положении подошвы едомы в этом массиве – на 1,5 м ниже уровня моря, мы пришли к заключению, что возраст едомы Мамонтова Хайота не старше 55–56 тыс. лет. К выводу о том, что едомная толща здесь по крайней мере на 25 тыс. лет моложе, мы пришли на основе анализа опубликованных Л. Ширмайстером с соавт. [*Schirrmeister et al., 2002a*] радиоуглеродных датировок, из которых для каждого горизонта в качестве валидной нами была выбрана самая молодая дата (табл. 6).

Если же учесть датировки по костям, найденным Т.В. Кузнецовой *in situ* на высоте 14 м и датированным Л.Д. Сулержицким в 32 тыс. лет (т. е. полученная дата по кости моложе датировок по растительности с той же высоты примерно на 5 тыс. лет), можно ожидать, что едома здесь не

Таблица 6. **Самые молодые ^{14}С-датировки (некалиброванный возраст) органики в каждом из горизонтов толщи Мамонтова Хайота (из [*Schirrmeister et al., 2002a*], выбраны Ю.К. Васильчуком)**

Дата, тыс. лет	Лаборат. номер	Высота над ур. моря, м	Датируемый материал
10 840 ± 50	KIA-11441	~36	Торф
17 160 ± 90	KIA-9195	30,0	Растительный детрит
28 470 ± 160	KIA-6716	22,2	Древесина
35 860 +610/–570	KIA-6707	16,0	Трава
42 630 +980/–870	KIA-6701	8,8	Трава
54 930 +4280/–2780	KIA-12509	0,2	Растительный детрит

старше 48–50 тыс. лет. А вышеупомянутые данные, полученные Е. Слагодой, показывают, что едомная толща Мамонтовой Хайоты еще моложе. По-видимому, формирование основной части повторно-жильного комплекса Мамонтовой Хайоты началось около 55 тыс. лет назад (или позднее) и закончилось около 10,8 тыс. лет назад.

Попытки хронологических определений едом Дуванного Яра и Мамонтовой Хайоты обычно завершались признанием невозможности точного датирования из-за кажущегося хаоса дат. Учитывая возможность длительной сохранности органического материала в мерзлом состоянии, а также его неоднократное переотложение в результате термоэрозионного и термоабразионного размыва более древних отложений и выноса материала во вторичное переотложение в более молодые осадки, мы пришли к выводу, что более достоверными являются наиболее молодые датировки из серии дат в каждом слое этих сложных гетерохронных разрезов.

Особо следует отметить, что выбранные наиболее молодые ^{14}С-датировки в обоих рассмотренных едомных толщах закономерно удревняются с глубиной, что, несомненно, служит вполне убедительным доказательством того, что они более адекватно датируют синкриогенные едомные толщи.

Различия в датировании образцов, имеющих разную массу

Важным моментом при датировании объектов с невысоким содержанием органики является масса углерода, полученного из образца, а также тип органики. Методическая работа была проведена В.В. Освальдом с соавт. [*Oswald et al., 2005*]. Для экспериментов с массой образцов использованы порции одного и того же фрагмента древесины (рис. 6), а для экспериментов с типом органики взяты образцы остатков листьев, стеблей и древесины в озерных кернах (табл. 7).

Радиоуглеродный анализ образцов разной массы из одного и того же обломка древесины из отложений оз. Малый Кречет показал, что дати-

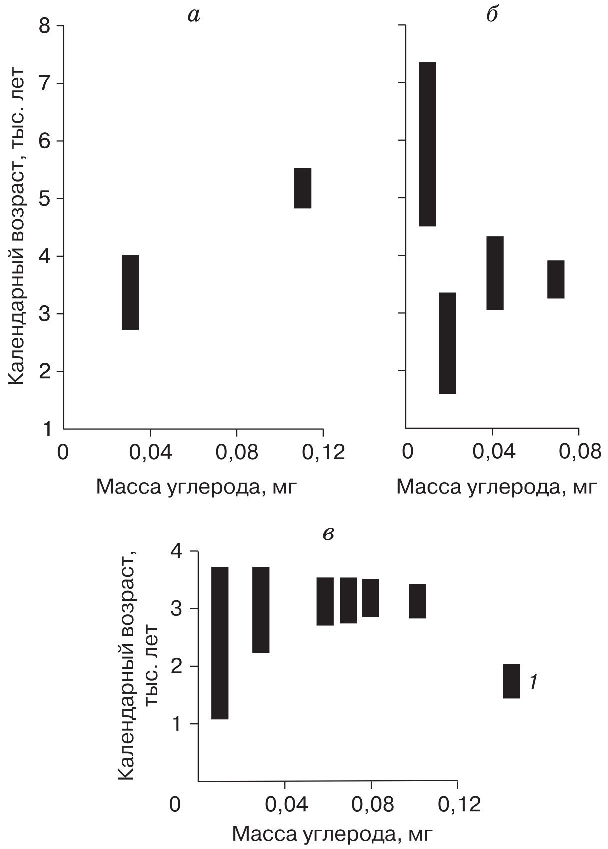

Рис. 6. Зависимость точности датирования от массы углерода в образце для образцов из разрезов озерных отложений:

а – оз. Малый Кречет, первый образец; *б* – оз. Малый Кречет, второй образец; *в* – оз. Водопадное; *1* – диапазон датирования при калибровке радиоуглеродного возраста образцов [*Oswald et al., 2005*].

ровки значительно различаются (см. рис. 6, *а*, *б*). Наиболее крупный образец с массой углерода 0,11 мг был датирован (4500 ± 90) лет, а образец с массой углерода 0,03 г датирован (3170 ± 240) лет, еще более легкий образец массой 0,01 мг дал датировку (5190 ± 550) лет. Датировки для древесины из отложений оз. Водопадное близки по всем образцам, но две наиболее маленькие части образца с массой углерода 0,04 мг дали слишком большой диапазон при калибровке датировок, т. е. показали недопустимо большую ошибку датирования. Авторы пришли к выводу, что для древесины представительными являются только образцы, в которых содержится более 0,05 мг углерода, а образцы, масса углерода из которых меньше 0,05 мг, могут давать либо завышенный, либо заниженный результат датирования.

При экспериментах с разным типом органики из озерных отложений рассматривались только образцы с массой углерода более 0,05 мг

Таблица 7. **Точность радиоуглеродного датирования в зависимости от типа датируемых макрофоссилий из разрезов озерных отложений [*Oswald et al., 2005*]**

Номер образца	Датируемый материал	Масса углерода в образце, мг	Лаборат. номер (CAMS)	^{14}C-возраст, лет назад
		Озеро Аппер Капсул		
UC155-157	Фрагменты листьев	0,05	66741	3670 ± 120
	Фрагменты листьев и стеблей злаков	0,05	66742	5250 ± 130
	Обломки древесины	0,08	66743	3720 ± 80
UC250-251	Фрагменты листьев и стеблей злаков	0,11	66745	8470 ± 90
	Мох	1,09	66744	8200 ± 50
UC310-311	Мох	0,80	66747	9270 ± 120
	Злаки	0,11	66749	9710 ± 100
	Семена	0,07	66748	9920 ± 150
	Древесина	1,04	66746	1010 ± 50
		Озеро Гризли		
GY39-40	Мох	0,10	82319	100 ± 70
	Перидерма хвойных	0,17	82318	95 ± 45
	Перидерма лиственных	0,30	82317	175 ± 40
	Древесина	0,32	82314	150 ± 40
	Иголка ели	0,37	82313	180 ± 40
	Уголь	0,93	82316	1685 ± 30
GY133-135	Чешуйка шишки ели	0,37	82322	4125 ± 35
	Мох	0,42	82326	4160 ± 40
	Перидерма хвойных	0,89	82325	4190 ± 40
	Иголка ели	0,94	82320	4225 ± 40
	Древесина	0,95	82321	4800 ± 45
	Уголь	0,97	82323	4955 ± 40
	Перидерма лиственных	1,01	82324	4180 ± 40
GY292-293	Древесина	0,94	59340	6910 ± 40
	Древесина	0,95	59339	7100 ± 50
	Уголь	0,99	59341	7430 ± 50

(см. табл. 7). Были датированы остатки мхов, злаков, иглы, древесина, чешуйка шишки и кора ели, семена, кора лиственных деревьев и уголь. Наиболее существенные различия дат получены из образца GY 39-40, где по обрывку коры ели получена дата (95 ± 45) лет, а по углю (1685 ± 30) лет. Естественно, здесь валидной является датировка по обрывку коры. В образце GY 292-293 датировка по углю также была наиболее древней – 7430 лет, а по древесине – 6910 лет, здесь явно достовернее датировка по древесине. Таким образом, авторы показали, что, датируя даже с применением столь высокоэффективного метода, как AMS-датирование, надо очень точно подбирать синхронный материал для возрастных определений, при этом образцы, масса углерода из которых меньше 0,05 мг, могут давать неточный результат.

ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований нами сформулированы новые положения, которые могут быть использованы при разработке стратегии адекватного радиоуглеродного датирования синкриогенных толщ.

• Показано, что переотложение органики в криолитозоне обычное явление, поэтому в синкриогенных отложениях аллохтонный органический материал встречается значительно чаще, чем автохтонный.

• Продемонстрировано, что образцы, имеющие запредельные датировки, в полигонально-жильных комплексах обычно переотложены; поэтому следует тщательно отбраковывать заведомо более древние образцы.

• Доказано, что самая молодая датировка из всей серии дат, полученных из того или иного горизонта, ближе всех к истинному времени седиментации и синкриогенного промерзания.

• Показано, что наиболее молодые ^{14}C-датировки в едомных толщах закономерно удревняются с глубиной, что служит доказательством того, что они более адекватно датируют синкриогенные едомные толщи.

• Установлено, что лучшей средой для накопления синхронных льдообразованию микрочастиц органики и практически идеальной средой для длительной консервации органического материала служат сингенетические повторно-жильные льды.

• Подтверждено, что образцы, масса углерода из которых меньше 0,05 мг, как правило, могут давать неточный результат датирования.

• Посредством выбора самых молодых датировок как наиболее достоверных выполнен анализ двух едомных массивов, содержащих по сто ^{14}C-дат. Показано, что формирование видимой части повторно-жильного комплекса Дуванного Яра началось около 37–35 тыс. лет назад и закончилось около 13–10 тыс. лет назад, а формирование едомной толщи Мамонтовой Хайоты началось около 55 тыс. лет назад (или позднее) и закончилось около 10,8 тыс. лет назад.

Авторы выражают благодарность Н.А. Буданцевой и С.М. Фотиеву за конструктивную критику.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (проект № 08-05-01068) и Федерального агентства по науке и инновациям (госконтракт 02.740.11.0337).

Литература

Авдалович С.А., Биджиев Р.А. Каргинские морские террасы на севере Западной Сибири и проблемы сартанского оледенения // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1984, № 1, с. 89–100.

Астахов В.И., Мангеруд Я. О возрасте каргинских межледниковых слоев на Нижнем Енисее // Докл. РАН, 2005, т. 403, № 1, с. 63–66.

Астахов В.И., Мангеруд Я. О геохронометрическом возрасте позднеплейстоценовых террас на Нижнем Енисее // Докл. РАН, 2007, т. 416, № 4, с. 509–513.

Астахов В.И., Мангеруд Я., Свенсен Й.-И. Трансуральская корреляция верхнего плейстоцена Севера // Регион. геология и металлогения, 2007, № 30–31, с. 190–206.

Басилян А.Э., Анисимов М.А., Павлова Е.Ю. и др. Опорный разрез квартера Яно-Индигирской низменности в нижнем течении реки Яна // Материалы VI Всерос. конф. по изучению четвертичного периода. Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований (Новосибирск, 19–23 окт. 2009 г.). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2009, с. 63–65.

Большиянов Д.Ю., Григорьев М.Н., Шнайдер В. и др. Колебания уровня моря и формирование ледового комплекса пород на побережье моря Лаптевых в позднем неоплейстоцене // Материалы V Всерос. совещания по изучению четвертичного периода. М., ГЕОС, 2007, с. 45–49.

Васильчук А.К. Особенности формирования палиноспектров в криолитозоне России. М., Изд-во Моск. ун-та, 2005, 245 с.

Васильчук А.К. Палинология и хронология полигонально-жильных комплексов в криолитозоне России / Под ред. Ю.К. Васильчука. М., Изд-во Моск. ун-та, 2007, 488 с.

Васильчук А.К. Палинология и хронология повторно-жильных льдов: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2009, 50 с.

Васильчук Ю.К. Позднечетвертичные синкриогенные толщи севера Евразии: Строение, изотопно-кислородный состав и условия формирования: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1991, 48 с.

Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). В 2-х т. М., Изд-во отд. РАН; МГУ; ПНИИИС, 1992, т. 1, 420 с.; т. 2, 264 с.

Васильчук Ю.К. Модель циклически-пульсирующего формирования сингенетических толщ с мощными повторно-жильными льдами // Криосфера Земли, 1999, т. III, № 2, с. 3–12.

Васильчук Ю.К. Повторно-жильные льды: гетероцикличность, гетерохронность, гетерогенность. М., Изд-во Моск. ун-та, 2006, 404 с.

Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Сулержицкий Л.Д. и др. Возраст, изотопный состав и особенности формирования позднеплейстоценовых синкриогенных повторно-жильных льдов Дуванного Яра // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 1, с. 24–36.

Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Юнгнер Х. и др. Гидробиохимический состав сингенетических льдов Сеяхинской толщи как индикатор уровня Обской губы в позднем плейстоцене // Криосфера Земли, 1998, т. II, № 1, с. 48–54.

Васильчук Ю.К., Трофимов В.Т. Изотопно-кислородная диаграмма повторно-жильных льдов Западной Сибири, ее радиологический возраст и палеогеокриологическая интерпретация // Докл. АН СССР, 1984, т. 275, № 2, с. 425–428.

Губин С.В. Позднеплейстоценовое почвообразование на лессово-ледовых отложениях Северо-Востока Евразии: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пущино, 1999, 36 с.

Губин С.В., Занина О.Г., Максимович С.В. и др. Реконструкция условий формирования отложений ледового комплекса по результатам изучения позднеплейстоценовых нор грызунов // Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 3, с. 13–22.

Динесман Л.Г. Авторадиографическое определение возраста нор и захоронений млекопитающих. М., Наука, 1975, 30 с.

Динесман Л.Г. Изучение истории биогеоценозов по норам млекопитающих // Общие методы изучения истории современных экосистем. М., Наука, 1979, с. 76–101.

Каплина Т.Н. Закономерности развития криолитогенеза в позднем кайнозое на аккумулятивных равнинах Северо-Востока Азии: Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1986, 475 с.

Каплина Т.Н., Гитерман Р.Е., Лахтина О.В. и др. Дуванный Яр – опорный разрез верхнеплейстоценовых отложений Колымской низменности // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода, 1978, № 48, с. 51–65.

Котов А.Н., Рябчун В.К. Криогенный комплекс позднеплейстоценовых отложений долины р. Майн. Магадан, 1986. (Препр. / СВКНИИ; ч. 1, 54 с.; ч. 2, 46 с.).

Питулько В.В., Павлова Е.Ю., Кузьмина П.А. и др. Природно-климатические изменения на Яно-Индигирской низменности в конце каргинского времени и условия обитания людей верхнего палеолита на севере Восточной Сибири // Докл. РАН, 2007, т. 417, № 1, с. 103–108.

Слагода Е.А. Криолитогенные отложения Приморской равнины моря Лаптевых: литология и микроморфология. Тюмень, ИП центр “Экспресс”, 2004, 120 с.

Сулержицкий Л.Д. Достоверность радиоуглеродного возраста и надежность дат // Антропоген Таймыра. М., Наука, 1982, с. 10–17.

Томирдиаро С.В., Чёрненький Б.И. Криогенно-эоловые отложения Восточной Арктики и Субарктики. М., Наука, 1987, 198 с.

Хасанов Б.Ф. Ботанический анализ кормовых запасов нор плейстоценового арктического суслика из Колымско-Индигирской низменности // Зоол. журн., 1999, т. 78, № 2, с. 240–244.

Яшина С.Г., Губин С.В., Шабаева Э.В. и др. Жизнеспособность семян высших растений позднеплейстоценового возраста из вечномерзлых отложений, обнаруживаемая в культуре *in vitro* // Докл. РАН, 2002, т. 383, № 5, с. 714–717.

Яшина С.Г., Шабаева Э.В., Розанов С.И. Проблема создания и размещения криобанка семян редких и исчезающих видов растений в условиях вечной мерзлоты // Итоги фундаментальных исследований криосферы Земли в Арктике и Субарктике. Новосибирск, Наука, 1997, с. 188–192.

Broecker W., Barker S., Clark E. et al. Anomalous radiocarbon ages for foraminifera shells // Paleoceanography, 2006, vol. 21, PA2008, p. 5.

Brown J. Radiocarbon dating, Barrow, Alaska // Arctic, 1965, vol. 18, No. 1, p. 37–48.

Dyke A.S., Savelle J.M. Holocene driftwood incursion to Southwestern Victoria Island, Canadian Arctic Archipelago, and its significance to paleoceanography and archeology // Quatern. Res., 2000, vol. 54, No. 1, p. 113–120.

Fukuda M., Nagaoka D., Saijyo K. et al. Radiocarbon dating results of organic materials obtained from Siberian permafrost areas // Rep. of Inst. of Low Temperature Science. Sapporo, Hokkaido Univ., 1997, p. 178–187.

Hamilton T.D., Craig J.L., Sellmann P.V. The Fox permafrost tunnel: A Late Quaternary geologic record in central Alaska // Bull. Geol. Soc. Amer., 1988, vol. 100, No. 6, p. 948–969.

Meyer H., Yoshikava K., Schirrmeister L., Andreev A. The Vault Creek tunnel (Fairbanks Region, Alaska): A Late Quaternary Palaeoenvironmental Permafrost Record // Proc. of the Ninth Intern. Conf. on Permafrost. Fairbanks, Inst. of North. Eng., Univ. of Alaska Fairbanks, 2008, vol. 2, p. 1191–1196.

Nelson R.E., Carter L.D., Robinson S.W. Anomalous radiocarbon ages from a Holocene detrital organic lens in Alaska and their implications for radiocarbon dating and paleoenvironmental reconstructions in the Arctic // Quatern. Res., 1988, vol. 29, iss. 1, p. 66–71.

Oswald W.W., Anderson P.M., Brown T.A. et al. Effects of sample mass and macrofossil type on radiocarbon dating of arctic and boreal lake sediments // The Holocene, 2005, vol. 15, iss. 5, p. 758–767.

Payette S., Gauthier L., Grenier I. Dating ice-wedge growth in subarctic peatlands following deforestation // Nature, 1986, vol. 322, No. 6081, p. 724–727.

Pewe T.L., Journaux A., Stuckenrath R. Radiocarbon dates and Late-Quaternary stratigraphy from Mamontova Gora, unglaciated Central Yakutia, Siberia, U.S.S.R. // Quatern. Res., 1977, vol. 8, No. 1, p. 51–63.

Rick T.C., Vellanoweth R.L., Erlandson J.M. Radiocarbon dating and the "old shell" problem: direct dating of artifacts and cultural chronologies in coastal and other aquatic regions // J. Archaeol. Sci., 2005, vol. 32, p. 1641–1648.

Schirrmeister L., Grosse G., Kunitsky V. et al. Periglacial landscape evolution and environmental changes of Arctic lowland areas for the last 60,000 years (Western Laptev Sea coast, Cape Mamontov Klyk) // Polar Res., 2008, vol. 27, No. 2, p. 249–272.

Schirrmeister L., Grosse G., Kunitsky V.V. et al. The mystery of Bunge Land (New Siberian Archipelago): implications for its formation based on palaeoenvironmental records, geomorphology, and remote sensing // Quatern. Sci. Rev., 2010, vol. 30, iss. 2, p. 1–17.

Schirrmeister L., Grosse G., Schwamborn G. et al. Late Quaternary history of the accumulation plain north of the Chekanovsky Ridge (Lena Delta, Russia): a multidisciplinary approach // Polar Geography, 2003, vol. 27, No. 4, p. 277–319.

Schirrmeister L., Siegert Ch., Kunitsky V.V. et al. Late Quaternary ice-rich permafrost sequences as an archive for the Laptev Sea Region paleoenvironment // Intern. J. Earth Sci., 2002a, vol. 91, No. 1, p. 154–167.

Schirrmeister L., Siegert C., Kuznetsova T. et al. Paleoenvironmental and paleoclimatic records from permafrost deposits in the Arctic region of Northern Siberia // Quatern. Intern., 2002b, vol. 89, iss. 1, p. 97–118.

Siegert C., Derevyagin A.Y., Shilova G.N. et al. Paleoclimate indicators from permafrost sequences in the Eastern Taymyr Lowland // Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic. Dynamics and History. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999, p. 477–499.

Strauβ J., Schirrmeister L., Wetterich S. Paleoenvironmental dynamics of Western Beringia – New studies from the Yedoma key site Duvanny Yar (Lower Kolyma River, Siberia) // Europ. Geosci. Union General Assembly. Vienna, Austria, 2010. (Abstr. EGU2010-300).

Stuckenrath R., Miller G.H., Andrews J.T. Problems of radiocarbon dating Holocene organic bearing sediments, Cumberland Peninsula, Baffin Island N.W.T. Canada // Arctic and Alpine Res., 1979, vol. 11, No. 1, p. 109–120.

Vasil'chuk Yu.K., van der Plicht J., Jungner H. et al. First direct dating of Late Pleistocene ice-wedges by AMS // Earth and Planet. Sci. Lett., 2000, vol. 179, No. 2, p. 237–242.

Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Radiocarbon dating and oxygen isotope variations in Late Pleistocene syngenetic ice-wedges, northern Siberia // Permafrost and Periglacial Processes, 1997, vol. 8, iss. 3, p. 335–345.

Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. ^{14}C and ^{18}O in Siberian syngenetic ice wedge complexes // Radiocarbon, 1998, vol. 40, No. 2, p. 883–893.

Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C., Rank D. et al. Radiocarbon dating of $\delta^{18}O$–δD plots in Late Pleistocene ice-wedges of the Duvanny Yar (Lower Kolyma River, norhtern Yakutia) // Radiocarbon, 2001, vol. 43, No. 2B, p. 541–553.

Wetterich S., Schirrmeister L., Andreev A.A. et al. Eemian and Late Glacial/Holocene palaeoenvironmental records from permafrost sequences at the Dmitry Laptev Strait (NE Siberia, Russia) // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2009, vol. 279, iss. 1–2, p. 73–95.

Поступила в редакцию
18 мая 2010 г.