

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.345:557.79

ФОРМИРОВАНИЕ СИНГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ  
ЛЬДОВ ВО ВРЕМЯ ГОЛОЦЕНОВОГО ОПТИМУМА В УСЛОВИЯХ  
БЫСТРОГО НАКОПЛЕНИЯ ТОРФА НА ЦЕНТРАЛЬНОМ ЯМАЛЕ

Ю.К. Васильчук, А.К. Васильчук, Х. Юнгнер\*, Й. ван дер Плихт\*\*

*Московский государственный ун-т, геол. и географ. ф-ты, 119899, Москва, Воробьевы Горы  
и Отдел теоретических проблем РАН, 121002, Москва, Денежный переулок, 12, Россия*

*\* Университет Хельсинки, 00014, г.Хельсинки, ул. Снеллманинкату, 3, Финляндия*

*\*\* Центр изотопных исследований университета г. Гронинген, Голландия*

В устье р.Сеяха (Зеленая) на восточном побережье центрального Ямала на побережье Обской губы обнаружены сингенетические повторно-жильные льды, интенсивно формировавшиеся в период голоценового „оптимума“, и мощный торфяник (4,5—5 м), в разрезе которого имеется несколько явно выраженных слоев, содержащих многочисленные остатки деревьев. Радиоуглеродные определения выполнены более чем в 60 образцах. Наиболее древние датировки древесины и торфа — 8700—8800 лет назад. Завершение аккумуляции торфа датируется 7800 лет назад, т.е. более чем 4,5 м торфа накопились в течение 700—800 лет. Были выполнены определения содержания стабильных изотопов кислорода, дейтерия и углерода, химического состава и ферментативной активности повторно-жильных и сегрегационных льдов. Выделены общие и локальные особенности развития древесной растительности, торфяников и повторно-жильных льдов. Реконструированы зимние и летние температуры периода оптимума голоцена.

*Мерзлый торфяник, повторно-жильные льды, радиоуглеродные датировки, стабильные изотопы кислорода и дейтерия, гидрохимия, ферменты*

THE SYNGENETIC ICE WEDGE FORMATION DURING HOLOCENE OPTIMUM  
IN FAST ACCUMULATED PEAT IN CENTRAL YAMAL PENINSULA

Yu.K. Vasil'chuk, A.K. Vasil'chuk, H. Jungner\*, J. van der Plicht\*\*

*Laboratory of Engineering Geology, Faculty of Geology and Department of Cryolithology and Glaciology, Faculty of Geography,  
Lomonosov's Moscow State University, Vorob'yovy Gory, 119899 and The Theoretical Problems Department,  
Russian Academy of Sciences, Denezhnyi pereulok, 12, 121002 Moscow, Russia,*

*\* Radiocarbon Dating Laboratory, University of Helsinki, Snellmaninkatu 3, 00014, Box 11 Helsinki, Finland,*

*\*\* Center for Isotope Research, Groningen, the Netherlands*

Syngenetic ice-wedges have been found in the mouth of the Seyaha (Zelyonaya) River in the Ob Bay, at the Eastern coast of Central Yamal Peninsula. They formed with extensive speed during the climatic optimum of the Holocene. A 4.5—5 m thick layer of peat accumulated very fast during 700—800 years. There are several layers with an abundance of tree remains such as trunks with bark, branches and stumps with roots. We have made 60 radiocarbon determinations. The oldest dates of the wood and host peat are 8700—8800 BP. The completion of the peat accumulation is dated about 7800 BP. These results show that more than 4.5 m of peat accumulated during 700—800 years. This is an extremely rapid rate of peat accumulation. We note that the peat is ice saturated; the ice content is more than 40%. Thus, it is possible that only 2.5 m of pure peat accumulated. Especially for autochthonous peat formation, this accumulation velocity is very fast. Stable oxygen, deuterium and carbon isotopes, chemical composition and enzymatic activity in the ice-wedges and segregated ice have been analysed. We established global and local features of tree vegetation development, formation of peatbogs and ice-wedges.

*Freezing peatbog, ice-wedge, radiocarbon datings, stable oxygen and deuterium isotopes, hydrochemistry, enzymes*

ВВЕДЕНИЕ

Нам удалось обнаружить мощный торфяник (4,5—5 м), располагающийся далеко за полярным кругом, который накопился очень быстро,

менее чем за 1 тыс. лет. Радиоуглеродная летопись мерзлого раннеголоценового торфяника очень важна по ряду причин. Во-первых, такие

мощные торфяники в заполярных районах, хотя и встречаются (и в отдельных случаях даже мощнее, например, 7-метровый торфяник с сингенетическими жилами в долине р. Мессояха на п-ове Гыдан [Васильчук, Трофимов, 1984] или 6-метровые торфяники с сингенетическими жилами в районе пос. Яптиксале и у пос. Харасавэй [Васильчук и др., 1983]) все же достаточно редки. Во-вторых, именно во время голоценового оптимума происходила дальняя миграция леса в тундровые районы и предполагается, что в течение этого времени климат был теплее, а многолетнемерзлые породы деградировали на обширных пространствах тундровой зоны. Однако мы обнаружили многочисленные доказательства суровых зимних условий этого времени. В-третьих, сингенетически промерзший торф содержит неизмененную обширную палеоклиматическую и палеоботаническую информацию.

### МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ

Изученный торфяник расположен неподалеку от поселка Сеяха (70°с.ш., 73°в.д.) на Восточном Ямале на побережье Обской губы. Это типичная тундра, кустарники — карликовая береза и ива высотой более 30 см, встречается только по долинам рек, северная граница леса расположена в 450 км к югу. Район соответствует Арктической зоне. Климат континентальный со среднегодовой температурой около -9,8°С, среднезимняя температура -16,4°С, среднеянварская температура -22,9°С, среднелетняя температура +5,6°С, среднеиюльская температура +7,2°С.

### СТРОЕНИЕ КРИОЛИТОГЕННОЙ ТОЛЩИ

Нами изучено несколько интересных фрагментов обнажения голоценовых криолитогенных объектов (рис. 1), среди них: 1) сингенетические повторно-жильные льды в парагенезе с торфяными жилами, залегающими параллельно с ледяными; 2) сингенетические повторно-жильные льды в парагенезе с торфяными жилами, продолжающими ледяные, или залегающими параллельно им; 3) мощный торфяник (на поверхности террасы встречено несколько идентичных торфяников, более детально мы описываем один из них); 4) слоистая пачка, где превалируют горизонты с обугленной черной органической массой. Каждый из этих четырех фрагментов детально описан и опробован.

Сингенетические повторно-жильные льды в парагенезе с торфяными жилами (менее вероятно, что это псевдоморфозы, хотя исключить это полностью нельзя, так как помимо торфа в сложении грунтовых жил участвуют мелкие веточки и древесина березы с корой, для проникновения

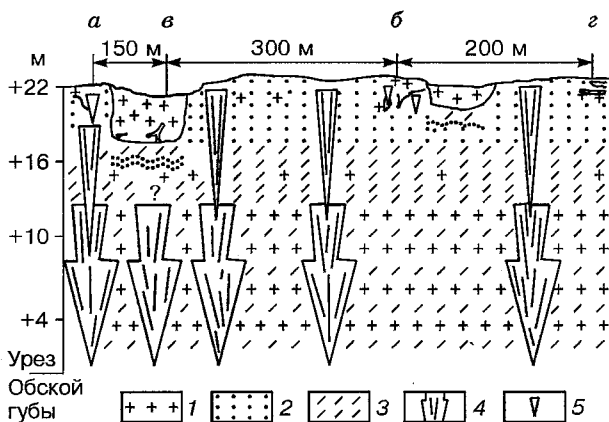


Рис. 1. Схема расположения основных фрагментов голоценовых разрезов на третьей лагунно-морской террасе в устье р. Сеяха (Зеленая) на восточном побережье Центрального Ямала.

1 — торф; 2 — песок; 3 — супесь; 4 — лед сингенетических позднеплейстоценовых повторно-жильных льдов; 5 — лед сингенетических голоценовых повторно-жильных льдов; а—г — см. на рис. 2. (Строение нижней позднеплейстоценовой части разреза показано схематически, знак вопроса стоит на том фрагменте разреза, который был закрыт осыпью.)

которых требуется значительное раскрытие морозобойных трещин) в первом из описываемых фрагментов залегают практически параллельно с торфяными (рис. 2, а). Головы тех и других располагаются на одной глубине — около 0,5—0,7 м. Ледяные жилы здесь достигают по высоте 2—2,5 м, они представлены розовато-коричневатым льдом, ширина головы жил более 1,6 м, на боковых контактах жил отмечается белый сахаристый лед (примерно 0,1 м в ширину). Торфяные жилы достигают 2 м по вертикали, они сложены мерзлым опесчаненным торфом слабо-разложившимся с веточками с сохранившейся корой, листьями дриад, камнеломом и карликовой березки. Вмещающие жилы отложения представлены желтоватым мелким оторфованным песком с включениями веточек и гнездами оторфования. Слоистость выражена вариациями цвета от темно-коричневого до желтовато-серого и степенью оторфования прослоев, мощность этих прослоев от 0,15—0,01 м. Слои загораются сверху на контакте с ледяными или грунтовыми жилами. Непосредственно над головой жил залегает серовато-коричневый оторфованный тонкослоистый песок (мощность прослоев 0,3—0,03 м), слоистость выражена колебаниями степени оторфования и изменением гранулометрического состава. Выше залегает слой коричневого мерзлого торфа, который похож на тот торф, который вместе с песком выполняет грунтовые жилы,

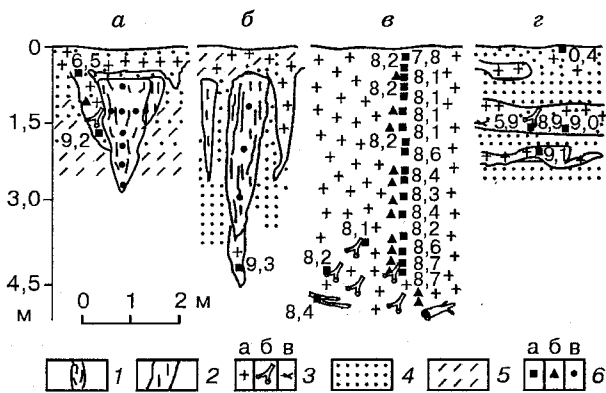


Рис. 2. Криогенное строение, радиоуглеродные датировки и схема опробования четырех фрагментов разреза Сеяхинского голоценового торфяника.

а — сравнительно крупные повторно-жильные льды в парагенезе с торфяными жилами (псевдоморфозами?); б — относительно узкие повторно-жильные льды в парагенезе с торфяными жилами (псевдоморфозами?); в — мощный торфяник; г — горизонты с обугленной черной органической массой. 1 — вертикально-полосчатый лед сингенетических повторно-жильных льдов; 2 — сахарно-белый лед „каймы“; 3 — растительные остатки: торф (а), стволы, ветки и корни берез (б) и хвоя лиственницы (в); 4 — песок; 5 — супесь; 6 — места отбора образцов: органики на радиоуглеродный анализ (а), сегрегационных (б) и повторно-жильных (в) льдов на изотопный, гидрохимический и энзиматический анализы. (На разрезе торфяника (фрагмент в) показаны не все датировки, здесь все датировки отобраны в мерзлом состоянии строго по вертикали, их полный список см. в табл.1).

нижняя граница этого слоя неровная карманообразная, мощность прослоя 0,3 м. Интересно, что в 10—20 м от края обнажения в шурфе вскрыт слой серовато-желтого песка горизонтально-слоистого (вероятнее всего эолового) залегающего на коричневом торфе. Ледяная жила, скорее всего, развивалась сингенетично накоплению грунтовой торфяной жилы, об этом свидетельствует изгиб вверх слоев вмещающих слоистых песков на боковом контакте с ледяной жилой. На это также указывает согласный характер залегания ледяной и торфяной жил.

Во втором фрагменте (рис. 2,б) ледяные жилы часто располагаются над торфяными жилами (псевдоморфозами?) в толще желтовато-серого горизонтально-слоистого песка, слоистость выражена степенью оторфованности, мощность прослоев 0,8—1 см. Ледяные жилы перекрыты пачкой сложно переслаивающихся коричневой и желтой супесей мощностью 0,6—0,7 м, над жилами мощность пачки увеличивается до 0,8—0,9 м. В основании слоистой пачки встречаются линзы мерзлого черного торфа (мощностью до 0,5—0,7 м), который замещает лед в части жил, образуя

торфяные жилы. Ледяная жила, из которой произведен отбор образцов, имеет в верхней части ширину около 0,5 м, она состоит из 55—60 элементарных жилок, жила имеет продолжение внизу в виде торфяной жилы высотой более 1 м. Торф черного цвета, очевидно обуглен в результате пожара. Лед жил коричневого цвета, с большим количеством включений супеси, включения расположены в теле ледяной жилы практически параллельно друг другу и ориентированы вертикально, ширина вертикальных включений 0,1—0,3 см; на глубине 2,0 м в теле жилы обнаружен ксенолит размером 3×5 см, состоящий из тонкозернистого серого песка. Наиболее крупная ледяная жила развивалась сразу же вслед за завершением формирования грунтовой торфяной жилы, так как трудно представить, что после перерыва в образовании грунтовой жилы и ее погребения на глубине 3,5—4 м, заложение ледяной жилы так точно наследовало грунтовую.

Торфяник залегает в виде вкладки в 22—24-метровую морскую террасу. Он представлен несколькими линзами, обнажающимися в верхней части террасы. Мощность этих линз варьирует от 3 до 5 м, по простираюнию в разрезе они достигают ширины 100—200 м. Наиболее детально описанная нами линза (рис. 2,в) выражена в виде некоторого понижения на поверхности террасы (ее поверхность на 1,5—2 м ниже поверхности террасы). В разрезе торфяника имеется несколько явно выраженных слоев, содержащих многочисленные остатки деревьев, в том числе стволы с корой, ветками, пни с корнями и т.д. Иногда стволы залегают субвертикально в прижизненной позиции.

Строение наиболее типичного разреза одной из торфяных линз таково (сверху—вниз):

Слой 1 (от 0 до 0,1 м). Почвенный слой, супесь с корнями современных растений.

Слой 2 (от 0,1 до 0,35 м). Пылеватый мелкозернистый серый песок.

Слой 3 (от 0,35 до 0,8 м). Коричневато-черный торф с корешками и листьями карликовой березки.

Слой 4 (от 0,8 до 2,15 м). Мерзлый коричневый гипново-осоковый торф с веточками.

Слой 5 (от 2,15 до 2,6 м). Мерзлый коричневый гипново-осоковый торф с остатками деревьев и пни с корнями. Березовый пенек с корнями и ствол березы диаметром 0,4 м обнаружены на глубине 2,5 м. Слой характеризуется высоким содержанием сегрегационного (текстурообразующего) льда.

Слой 6 (от 2,6 до 3,1 м). Мерзлый коричневый гипново-осоковый торф с мелкими окатанными веточками, обломками древесины, стволами берез, залегающими субвертикально на глубине 2,65 м. Слой характеризуется высоким содержанием текстурообразующего льда.

Слой 7 (от 3,1 до 3,2 м). Мерзлый черный торф с древесиной.

Слой 8 (от 3,2 до 3,6 м). Мерзлый шоколадный вязкий торф с древесиной, залегающий субвертикально ствол обнаружен на глубине 3,6 м.

Слой 9 (от 3,6 до 4,5 м). Мерзлый коричневый осоковый торф с обилием остатков древесины с пнями и корнями, стволы деревьев с ветвями.

Слой 10 (от 4,5 до 5,5 м). Серая озерная супесь. Вверху оторфованная, торф, как правило, залегает гнездами.

Слой 11 (от 5,5 до 6,5 м). Песок серовато-желтый слоистый, толщина прослоев разного цвета от 1 до 5 см. Слоистость сложного характера с сильно дислоцированными волнистыми слоями со следами ожелезнения.

Нам не привелось встретить сколько-нибудь мощные повторно-жильные льды в пределах наиболее мощных торфяников, однако полигональный характер поверхности этих торфяных линз свидетельствует о том, что они, скорее всего, содержат небольшие ледяные жилы.

В краевой части торфяных массивов описано несколько иное строение разреза (рис. 2, г), здесь отмечено сложное переслаивание черного торфа и серого и серовато-желтого мелкого песка, отмечены также гнезда торфа и пятна оторфованного торфа. В гнездах торфа в нижней части песчаного слоя обнаружены хвоинки лиственницы. Нами отмечено два нечетко выраженных прослоя торфа: верхний прослой черного торфа с довольно постоянной мощностью 0,2 м со следами обугливания, который залегает на глубине 1,5 м под слоем мелкого серого песка и нижний прослой черного торфа, также со следами обугливания, который расположен в толще серого оторфованного песка на глубине 1,8 м, он имеет непостоянную мощность от 0,1 до 0,5 м. Здесь обнаружены мелкие веточки лиственницы, ивы и березы, с хорошо сохранившейся корой. Вероятнее всего, сравнительно мало оторфованные слои песка имеют эоловую природу и фиксируют периоды иссушения массива, тогда как накопление торфа — результат большего увлажнения поверхности. Возможно, перерывы в торфонакоплении здесь были связаны с активизацией эоловых процессов, которые в условиях небольшой влажности подавляли торфонакопление.

## РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ДАТИРОВАНИЕ

Образец торфа с маленькими веточками в торфяной жиле в первом фрагменте (см. рис. 2, а) в верхней части разреза датирован  $9280 \pm 140$  лет (Hel-4031). Торфяная жила, продолжающая ледяную жилу снизу во втором фрагменте была датирована  $9300 \pm 100$  лет (ГИН-2472). Таким образом, торфяные грунтовые жилы активно формировались в начальную фазу голоценового оптимума, определяемого для Ямала от 9,0 до 4,5 тыс. лет назад [Васьчук, 1992]. Более того, торфяные жилы сформировались, очевидно, в результате значительного иссушения слоя сезонного протаивания в начале голоценового оптимума.

Суровые зимние условия были причиной промерзания накопившихся озерных и болотных отложений и роста повторно-жильных льдов.

Начало заполнения торфом увлажненных депрессий (судя по отмечаемому в настоящее время понижению рельефа над торфяниками и по характеру подошвы торфяных линз, эти участки весь период формирования торфа были постоянно сниженными участками, где накапливалась влага) фиксируется мощным слоем (до 1,5 м), насыщенным древесиной в основании торфяника. Наиболее древние датировки древесины в основании мощных торфяных линз — 8700—8800 лет назад (табл.1). Датировки старше 8700 лет назад получены из придонных частей торфяника. Они фиксируют стадию деградации лесной растительности в результате активного болотообразования после интенсивного термокарстового протаивания. На активное протаивание под торфяником указывает изменение характера слоистости в позднеплейстоценовых первично горизонтально-слоистых песках на глубине 4—5 м под подошвой торфяника (см. рис. 1, в). Здесь слои серого и желтого песка переплетаются, образуя сложные волнообразные фигуры, что вполне вероятно было связано с таберированием первично сильно льдистых песков под дном болота-озера (к сожалению глубину протаивания точно определить не удалось из-за осыпи, но на то, что оно было не очень глубоким указывают сохранившиеся от протаивания сингенетические позднеплейстоценовые жилы, непосредственно под торфяником, идентифицируемые по четким байджехам примыкающим к осыпи). Начало формирования торфа, датировано 8500—8600 лет назад. Завершение аккумуляции торфа датируется 7800 лет назад. Из этого следует, что более чем 4 м торфа накопились в течение 700—800 лет. Это экстремально высокая скорость аккумуляции торфа. Следует правда заметить, что торфяник насыщен льдом, содержание которого составляет более чем 40%; таким образом можно сказать, что за 700 лет накопились не более 2,5 м чистого торфа, однако это тоже чрезвычайно высокая скорость аккумуляции торфа.

Если бы накопление торфяника было исключительно автохтонным, то на глубине 1 м торф должен иметь датировки около 8000 лет, на глубине 2 м — около 8200 лет, а на глубине 3 м — около 8400 лет. Закономерное залегание в согласии с моделью автохтонного накопления наблюдается на глубине 1—2 м, где торф датируется периодом 8000—8200 лет назад. Однако датировка древнее 8800 лет получена на глубине 2,5 м. Очевидно, что часть торфа здесь переот-

Таблица 1.

Радиоуглеродные датировки органического материала в мощном торфянике около пос. Сеяха (Восточный Ямал)

| Полевой номер | Материал датирования                   | Высота над уровнем моря (+м) / глубина от поверхности, м | Лабораторный номер | $^{14}\text{C}$ дата | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰ |
|---------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|
| 363-YuV/147   | Торф черный                            | +21,5/0,5                                                | Hel-3945           | $7850 \pm 150$       | -29,4                     |
| 363-YuV/152   | Торф коричневый                        | +21,0/1,0                                                | Hel-3946           | $8220 \pm 140$       | -28,3                     |
| 363-YuV/154   | Торф коричневый                        | +20,8/1,2                                                | Hel-3947           | $8180 \pm 140$       | -28,6                     |
| 363-YuV/155   | Торф коричневый                        | +20,6/1,4                                                | Hel-4035           | $8230 \pm 140$       | -26,5                     |
| 363-YuV/161   | Торф коричневый                        | +20,1/1,9                                                | Hel-4036           | $8110 \pm 130$       | -28,1                     |
| 363-YuV/162   | Торф коричневый                        | +21,0/1,9                                                | Hel-4024           | $8120 \pm 120$       | -28,8                     |
| 363-YuV/163   | Торф коричневый с ветками              | +19,9/2,1                                                | Hel-4037           | $8210 \pm 130$       | -28,5                     |
| 363-YuV/165   | Торф коричневый с ветками              | +19,7/2,3                                                | Hel-4025           | $8440 \pm 130$       | -28,7                     |
| 363-YuV/166   | Торф коричневый с древесиной и ветками | +19,5/2,5                                                | Hel-4038           | $8820 \pm 140$       | -28,5                     |
| 363-YuV/169   | Торф коричневый с древесиной           | +19,35/2,65                                              | Hel-4039           | $8260 \pm 140$       | -29,0                     |
| 363-YuV/171   | Береза (ствол)                         | +19,35/2,65                                              | Hel-4048           | $8210 \pm 160$       | -25,6                     |
| 363-YuV/170   | Торф коричневый с древесиной           | +19,32/2,68                                              | Hel-4040           | $8520 \pm 130$       | -28,8                     |
| 363-YuV/172   | Торф коричневый с древесиной           | +19,3/2,7                                                | Hel-4026           | $8370 \pm 120$       | -28,1                     |
| 363-YuV/173   | Торф коричневый с древесиной           | +19,2/2,8                                                | Hel-4049           | $8240 \pm 110$       | -28,1                     |
| 363-YuV/174   | Торф черный с древесиной               | +19,0/3,0                                                | Hel-4027           | $8330 \pm 130$       | -28,8                     |
| 363-YuV/175   | Торф черный с древесиной               | +18,9/3,1                                                | Hel-4028           | $8180 \pm 140$       | -28,9                     |
| 363-YuV/177   | Шоколадный торф                        | +18,8/3,2                                                | Hel-4029           | $8320 \pm 110$       | -29,2                     |
| 363-YuV/179   | Стволы деревьев (вертикальные)         | +18,6/3,4                                                | Hel-4041           | $8610 \pm 130$       | -28,3                     |
| 363-YuV/180   | Шоколадный торф                        | +18,5/3,5                                                | Hel-3948           | $8490 \pm 130$       | -29,1                     |
| 363-YuV/181   | Шоколадный торф с древесиной           | +18,4/3,6                                                | Hel-4051           | $8350 \pm 110$       | -28,9                     |
| 363-YuV/182   | Стволы деревьев (вертикальные)         | +18,4/3,6                                                | Hel-4042           | $8400 \pm 140$       | -28,5                     |
| 363-YuV/184   | Торф коричневый                        | +18,37/3,65                                              | Hel-4030           | $8260 \pm 140$       | -29,0                     |
| 363-YuV/186   | Торф коричневый                        | +18,1/3,9                                                | Hel-3949           | $8600 \pm 140$       | -29,1                     |
| 363-YuV/133   | Береза (ствол)                         | +18,0/4,0                                                | Hel-3944           | $8740 \pm 130$       | -27,8                     |
| 363-YuV/134   | Торф вокруг березы                     | +18,0/4,0                                                | Hel-3934           | $8790 \pm 170$       | -28,3                     |

ложена, тем более, что здесь встречены слабо окатанные веточки и обломки древесины. В данном случае наблюдается сочетание автохтонного и аллохтонного торфонакопления.

По всей видимости на глубине от 3 до 4 метров датировки находятся в согласии с моделью автохтонного торфонакопления. Хотя датировка  $8260 \pm 140$  (Hel-4030) на глубине 3,65 м несколько моложе, но нижний ее предел — 8400 лет подходит для закономерного ряда датировок.

Мы и ранее наблюдали переотложение торфа даже при преимущественно автохтонном режиме накопления торфяников. Так в торфе в верхней части 12—15-метровой террасы реки Салемлекабтамба две датировки старше 11000 лет назад расположены выше датировки 8630 лет назад (напомним, что там нами была обнаружена и датирована по радиоуглероду около

8,6 тыс. лет автохтонная растительная масса из норки грызуна [Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1995]).

Это аллохтонное переотложение торфа в обеих торфяных синкриогенных толщах, очевидно, было вызвано кратковременным подъемом уровня воды в болоте и установлением озерного режима. Этот процесс привел к размыву и переотложению более древнего торфяника.

Периферийные части торфяника (см. рис. 2,з) представлены оторфованными песчано-супесчаными пачками со следами обугливания, что заставляет предположить неоднократное возникновение пожаров на торфянике. Красные части торфяника интересны тем, что здесь найдены веточки и даже сочлененные иглы лиственницы, остатков которой не отмечается в основном разрезе торфяника. При этом в самом нижнем слое черного обугленного торфа веточки лиственницы, ивы и березы с белой корой датированы в

9110±120 лет (Hel-4057), чуть выше залегающий торф вокруг обугленных веток датируется 9020±130 лет (Hel-4059), обугленные веточки из верхнего прослоя торфа имеют датировку 8940±130 лет назад (Hel-4058) и иглы лиственницы из гнезда торфа над верхним торфяным прослоем датированы на tandemном масс-спектрометре в Оорусе (Дания) 5990±80 лет (Hela-200).

В различных видах льдов выполнен комплекс аналитических определений, содержащий анализ содержания стабильных изотопов кислорода и дейтерия, анализ химического состава и энзиматической активности льдов.

## СОДЕРЖАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ

Анализ изотопно-кислородного состава производился в Изотопной лаборатории Хельсинского университета (аналитик Э.Соннинен). Ранее несколько определений было выполнено в ИВП АН (А.Д. Есиковым), определения дейтерия в Изотопном центре в Гронингене.

$\delta^{18}\text{O}$  в мерзлом торфянике (в сегрегационном — текстуроформирующем льду из торфа) варьирует от -14,6 до -12,5 ‰ (табл. 2). Эти значения гораздо больше (изотопически тяжелее), чем в голоценовых ледяных жилах (как правило, в них  $\delta^{18}\text{O}$  составляет от -20,3 до -19,1 ‰, а  $\delta\text{D}$  от -143,4 до -137,6 ‰) на этой же территории. Это демонстрирует активную роль фракционирования стабильных изотопов в воде, послужившей ресурсом для текстурообразующего льда, из-за интенсивного испарения в течение теплого лета в голоценовом оптимуме. Нам представляется, что увеличение испарения — это следствие летнего потепления, однако, как мы упоминали ранее (и это подтвердили и выполненные новые изотопные определения состава ледяных жил, формировавшихся в оптимум голоцена, которые оказались изотопически легче льда современных жильных ростков), зимы в оптимум голоцена часто были холоднее современных [Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1995].

Как было показано С.К.Чатвином [Chatwin, 1983], в автохтонных условиях размыв и перерыв накопления торфа может иметь место. Изменения в типе аккумуляции приводят к изменениям состава торфа, а также к изменению изотопного состава торфа. Минимальное значение  $\delta^{18}\text{O}$  соответствует перерыву в аккумуляции торфа, возможно, в результате осушения торфяного массива (в описанном С.К.Чатвином случае это зафиксировано облесением болота).

Осушение болота привело к временному промерзанию болота и торф лесного типа формировался в субэаральных условиях.

Таблица 2. Содержание изотопов кислорода и дейтерия в сегрегационных и повторно-жильных льдах в мощном голоценовом торфянике около пос. Сеяха (Восточный Ямал)

| Полевой номер                                                   | Высота над уровнем моря (+м) / глубина от поверхности, м | $\delta^{18}\text{O}$ , ‰ SMOW | $\delta\text{D}$ , ‰ SMOW |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| <i>Сегрегационный лед из мерзлого торфяника, рис. 1, в</i>      |                                                          |                                |                           |
| 363-YuV/148                                                     | +21,4/0,6                                                | -12,5                          | —                         |
| 363-YuV/154                                                     | +20,8/1,2                                                | -12,5                          | —                         |
| 363-YuV/159                                                     | +20,2/1,8                                                | -13,8                          | —                         |
| 363-YuV/172                                                     | +19,3/2,7                                                | -14,6                          | —                         |
| 363-YuV/181                                                     | +18,4/3,6                                                | -13,9                          | —                         |
| <i>Сингенетический повторно-жильный лед, рис. 1 а</i>           |                                                          |                                |                           |
| 363-YuV/193                                                     | +21,0/1,0                                                | -19,3                          | —                         |
| 363-YuV/192                                                     | +20,7/1,3                                                | -19,5                          | -143,3                    |
| 363-YuV/190                                                     | +19,8/2,2                                                | -20,1                          | —                         |
| 363-YuV/189                                                     | +19,0/3,0                                                | -19,1                          | -137,6                    |
| <i>Сингенетический повторно-жильный лед, рис. 1, б</i>          |                                                          |                                |                           |
| 383-YuV/5*                                                      | +20,45/1,55                                              | -19,9                          | —                         |
| 383-YuV/4*                                                      | +19,95/2,05                                              | -19,4                          | —                         |
| 383-YuV/2*                                                      | +18,95/3,05                                              | -20,3                          | —                         |
| <i>Сегрегационный лед из вмещающих жилы отложений рис. 1, а</i> |                                                          |                                |                           |
| 363-YuV/200                                                     | +21,0/1,0                                                | -12,8                          | —                         |
| 363-YuV/199**                                                   | +20,4/1,6                                                | -17,4                          | —                         |

Примечание. Определения  $\delta^{18}\text{O}$  выполнены в изотопной лаборатории Университета г.Хельсинки. Определения  $\delta\text{D}$  выполнены в Гронингемском изотопном центре.

\* Определения  $\delta^{18}\text{O}$  выполнены в ИВПАН.

\*\* Образец из сахаровидного клина примыкающего к ледяной жиле. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  в трех образцах из современных жил этого района составили: -18,7‰, -18,3‰ и 16,6‰.

Анализ  $\delta^{13}\text{C}$  был проведен для каждого датированного по радиоуглероду образца.  $\delta^{13}\text{C}$  изменяется от -29,4 до -25,5 ‰ (см. табл. 1), как правило, более положительные значения  $\delta^{13}\text{C}$  присущи древесине, что отражает процесс биологического изотопного фракционирования при образовании древесины.

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Определен химический состав во всех видах встреченных льдов (табл. 3). Самым интересными оказались данные по химическому составу и минерализации сегрегационных текстурообразующих льдов в мощном торфянике. Здесь отмечено весьма последовательное изменение минерализации с глубиной. В придонных частях торфяной залежи минерализация ледяных шпиров составляет 576—430 мг/л, в средней части — 189 мг/л, а в приповерхностных ее частях — 76—18 мг/л. При этом столь же закономерно уменьшается снизу вверх содержание бикарбонатов от 467—340 до 24—2 мг/л. Обращает на себя внимание стабильное невысокое содержание

Таблица 3. Минерализация и химический состав воднорастворимых солей в сегрегационных и повторно-жильных льдах в мощном голоценовом торфянике около пос. Саяха (Восточный Ямал)

| Полевой номер                                             | Высота над уровнем моря (+м)/ глубина от поверхности, м | Минерализация, мг/л | Ионный состав воднорастворимых солей, мг/л |                 |                               |                  |                  |                                  | pH   |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|------|
|                                                           |                                                         |                     | анионы                                     |                 |                               | катионы          |                  |                                  |      |
|                                                           |                                                         |                     | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>              | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> |      |
| Сегрегационный лед из мерзлого торфяника, рис. 1, в       |                                                         |                     |                                            |                 |                               |                  |                  |                                  |      |
| 363-YuV/148                                               | +21,4/0,6                                               | 18                  | 2                                          | 9               | 4                             | 2                | 1                | 2                                | 4,57 |
| 363-YuV/154                                               | +20,8/1,2                                               | 76                  | 24                                         | 9               | 4                             | 28               | 8                | 4                                | 6,83 |
| 363-YuV/162                                               | +20,0/2,0                                               | 71                  | 44                                         | 5               | 4                             | 14               | 3                | 2                                | 7,93 |
| 363-YuV/169                                               | +19,4/2,6                                               | 189                 | 148                                        | 5               | 4                             | 30               | 1                | 2                                | 8,59 |
| 363-YuV/172                                               | +19,3/2,7                                               | 430                 | 340                                        | 14              | 4                             | 38               | 28               | 7                                | 9,15 |
| 363-YuV/173                                               | +19,1/2,9                                               | 452                 | 377                                        | 14              | 6                             | 14               | 33               | 8                                | 8,97 |
| 363-YuV/180                                               | +18,5/3,5                                               | 576                 | 467                                        | 14              | 4                             | 56               | 27               | 9                                | 9,12 |
| Сингенетический повторно-жильный лед, рис. 1, а           |                                                         |                     |                                            |                 |                               |                  |                  |                                  |      |
| 363-YuV/194                                               | +21,7/1,3                                               | 24                  | 7                                          | 7               | 4                             | 4                | 1                | 1                                | 6,48 |
| 363-YuV/191                                               | +20,3/1,7                                               | 24                  | 6                                          | 7               | 4                             | 4                | 1                | 3                                | 7,03 |
| Сегрегационный лед из вмещающих жилы отложений, рис. 1, а |                                                         |                     |                                            |                 |                               |                  |                  |                                  |      |
| 363-YuV/200                                               | +21,0/1,0                                               | 24                  | 7                                          | 5               | 6                             | 3                | 1                | 2                                | 7,50 |
| Современный росток повторно-жильного льда в торфянике     |                                                         |                     |                                            |                 |                               |                  |                  |                                  |      |
| 363-YuV/216                                               | +21,4/0,6                                               | 25                  | 5                                          | 7               | 8                             | 4                | 1                | 2                                | 5,80 |

Примечание. Определения выполнены в химико-аналитической лаборатории Почвенного института РАСХН.

сульфатов, заметное присутствие ионов кальция и магния, причем содержание первых также очень плавно и закономерно уменьшается с глубиной. Весьма примечательно и изменение pH с глубиной: в придонных частях торфяника сегрегационные льды характеризуются явно выраженным щелочным типом, в средней части близки к нейтральным, а в верхней они кислого типа.

В верхних частях торфяника, также как в современных жилках, в голоценовых сингенетических жилах и в текстуробразующих льдах из вмещающих их отложений, минерализация и химический состав практически идентичны и указывают на атмосферное питание всех этих типов льдов.

## ЭНЗИМАТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Сравнительно небольшой объем измерений активности ферментов в различных типах голоценовых льдов (табл. 4) позволяет только говорить о сравнительно однородной по степени азрации среде торфонакопления, возможно, чуть более закисной в период накопления торфа в основании залежи, здесь немного выше протеолитическая активность (т.е. активность ферментов способствующих разложению белков) и выше амилолитическая активность (т.е. активность ферментов, способствующих разложению крахмала).

Таблица 4. Энзиматическая активность сегрегационных и повторно-жильных льдов в мощном голоценовом торфянике около пос. Саяха (Восточный Ямал)

| Полевой номер                                                    | Высота над уровнем моря (+м)/глубина от поверхности, м | Протеолитическая активность, ферм. ед./л | Амилолитическая активность, ферм. ед./л. |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| <i>Сегрегационный лед из мерзлого торфяника, рис. 1, в</i>       |                                                        |                                          |                                          |
| 363-YuV/162                                                      | +20,0/2,0                                              | 26                                       | —                                        |
| 363-YuV/178                                                      | +18,6/3,4                                              | 62                                       | 122                                      |
| <i>Сингенетический повторно-жильный лед, рис. 1, а</i>           |                                                        |                                          |                                          |
| 363-YuV/194                                                      | +20,7/1,3                                              | 104                                      | —                                        |
| 363-YuV/196                                                      | +20,7/1,3                                              | 76                                       | —                                        |
| 363-YuV/191                                                      | +20,3/1,7                                              | 84                                       | 58                                       |
| <i>Сегрегационный лед из вмещающих жилы отложений, рис. 1, а</i> |                                                        |                                          |                                          |
| 363-YuV-200                                                      | +21,0/1,0                                              | 154                                      | 38                                       |
| 363-YuV-199*                                                     | +20,4/1,6                                              | 70                                       | —                                        |

Примечание. Протеолитическая активность — активность ферментов, расщепляющих белок; амилолитическая активность — активность ферментов, расщепляющих крахмал. Определения энзиматической активности выполнены в Институте океанологии РАН Н.А. Буданцевой и Г.А. Корневой.

\* Образец из сахаровидного клина, примыкающего к ледяной жиле. Протеолитическая активность в современном жильном ростке равна 48 ферментных единиц на 1 л. (ферм. ед./л.), амилолитическая активность — 38 ферментных единиц на 1 л.

## ДИСКУССИЯ

Интересно обсудить три принципиальные проблемы, которые получили новое освещение при изучении разреза. Первый — уточнение периода и масштабов иммиграции в зону тундры древесной растительности. Второй — обсуждение темпов торфонакопления в тундре. Третий — рассмотрение возможностей сингенетического роста жил в торфяниках оптимального голоценового возраста и конкретизация климатических условий их формирования.

Первая из указанных проблем нами ранее обсуждалась [Васьичук, Трофимов, 1983, 1984; Васьичук и др., 1983]. Полученные новые данные в определенной мере уточняют и конкретизируют ранее полученные выводы. Напомним, что ранее мы получили свидетельства о дальнем проникновении деревьев в тундру Ямала, однако, как правило, это основывалось на редких находках отдельных древесных остатков в торфяниках в долине Юрибея, Сеяхи (Зеленой), в устье р. Ерьяха и др. [Васьичук и др., 1983]. Самая дальние северные находки — это два обломка древесины, погребенные в разрезе первой надпойменной террасы р. Пухучаяха (71°с.ш.), датированные 8250±80 лет (ЛУ-1139) на глубине 7 м и 6580±60 лет (ЛУ-1141) на глубине 4,5 м (сборы геологов ПГО Аэрогеология [Васьичук и др., 1983]). Однако эти две находки можно сейчас использовать как предварительные ввиду их явной аллохтонности; существует хотя и небольшая, но все же реальная возможность их дальнего водного заноса, даже возможен занос вверх по долине реки во время более высокого уровня моря, о вероятности которого в середине голоцена мы не раз упоминали [Васьичук, Трофимов, 1983, 1984; Васьичук, 1992]. К таким же ориентировочным находкам, вероятно, следует отнести и упомянутые Н.И. Пьявченко [1955] находки В.Н. Андреевым остатков лиственницы на Северном Ямале и обнаруженные Б.Н. Городковым и И.Я. Ермаиловым стволы и ветки берез в долине Гыданского Юрибея.

В отличие от всех этих упомянутых находок древесных остатков „древесный“ горизонт в Сеяхинском торфянике не вызывает каких-либо сомнений в своей автохтонности. Во-первых, он располагается более чем на 20 м выше уреза Обской губы и р.Сеяха (Зеленая). Во-вторых, он прекрасно выражен и представлен разнообразными формами остатков — от корней и стволов с ветками до коры и хвоинок. Это указывает не только на достоверность наличия деревьев здесь в начале голоценового оптимума, но и на сам характер растительности — это не отдельно стоящее угнетенное дерево, а скорее всего редколесье, которое в защищенных от ветра долинах

рек и в озерных котловинах возможно представляло собой перелески с высоким бонитетом. Появление древесной растительности в районе р.Сеяха (Зеленой), очевидно, следует датировать несколько древнее 9 тыс. лет, поскольку ранняя находка В.В. Соловьевым [Васьичук и др., 1983] древесины в средней части террасы высотой около 13 м, датированная 9280±70 лет (ЛУ-1152), после нашей находки древесных „мостовых“ в Сеяхинском торфянике получила новое освещение — уже не как случайный факт, а как указание на одно из первых свидетельств появления деревьев в Ямальской тундре севернее 70°с.ш.

Говоря о темпах торфонакопления, следует прежде всего, пожалуй, сказать о том, что когда мы проводим редкое единичное датирование, то полученные даже без инверсий датировки все же указывают на некую среднюю скорость осадконакопления, которая, возможно, и приближается к 1 м за одну тысячу лет. Однако, скорее всего, сам процесс прироста торфяной массы очевидно более активен, и периоды активного торфонакопления во многих случаях могут прерываться длительными периодами его отсутствия, которые затем вновь сменяются стремительным накоплением торфяной массы. В редких случаях, к которым мы относим и описываемый здесь Сеяхинский торфяник, такой быстрый период роста имеет единичный пик активности во время которого и может сформироваться 4—5-метровый торфяник. Скорее всего, и такая сравнительно большая мощность торфа, накопившаяся за период менее 1000 лет, не предел. Л.Д. Сулержицкий датировал на Таймыре (северный склон Путорана) в среднем течении р. Боярка (приток р. Хета), торфяник, более чем 8-метровой мощности, лежащий на обнажении меловых пород над рекой на высоте около 40 м, накопившийся в период от 2 до 1 тыс. лет назад, причем, если в нижней своей части он представлен возможно аллохтонными древесными обломками с торфом, то сверху — это почти чистая сфагновая толща (устное сообщение Л.Д. Сулержицкого во время обсуждения нашего доклада на Пушкинской конференции [Vasil'chuk et al., 1998]).

Такая высокая скорость торфонакопления заставляет думать, что и в тех случаях, когда мы оцениваем скорость накопления минеральных осадков, мы также получаем очень сильно осредненные значения. Возможно, уже в ближайшее время, используя детальное послойное датирование разрезов, мы сможем кардинально пересмотреть эту позицию и многие противоречивые данные по датированию голоценовых и позднелейстоценовых отложений, могут получить свое сравнительно простое объяснение.

Тем не менее, даже столь детально датированный и всесторонне изученный торфяник требует еще дальнейшего изучения, так как сейчас нельзя с полной однозначностью реконструировать историю его формирования. В частности, трудно определенно утверждать, была ли озерная котловина первоначально такой глубины, как наблюдающаяся сейчас мощность торфа, т.е. 5 м, или она постепенно углублялась по мере торфонакопления. Последнее предположение, невзирая на его видимую неправдоподобность, все же нельзя полностью отвергать, поскольку такой эффект как постепенное понижение уже сформировавшейся котловины в принципе возможен в результате постепенного вытаивания подземных льдов и дренажа котловины. Этому, конечно, противоречит, скорее всего, сингенетический характер промерзания торфяной залежи; в противном случае нельзя объяснить великолепную сохранность древесины и коры. Как известно, даже непродолжительное в течение нескольких лет пребывание отмирающих деревьев на поверхности болот превращает древесину в сильно-разложившуюся деструктурированную массу. Возможно такая хорошая сохранность могла бы объясняться и анаэробной средой консервации древесных остатков в течение 600—700 лет, и последующим промерзанием толщи. Однако этому противоречат некоторые особенности торфяника. Мы не обнаружили каких-либо следов закисных процессов в толще, т.е. наличия синевато-сизого оттенка торфа, запаха метана и сероводорода. Этому в некоторой степени противоречат и аналитические данные, и прежде всего изменение минерализации текстурообразующих льдов в толще торфяника — ее закономерное плавное снижение снизу вверх (от 576 до 18 мг/л) указывает на то, что причиной образования озерно-болотной котловины (или, скорее, нескольких небольших котловин) было вытаивание больших масс сильно-минерализованного сегрегационного льда, содержащегося в верхней части разреза лагунно-морской террасы [Васильчук и др., 1998; Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1997; Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1998 а,с]. На это указывает прежде всего близкий качественный характер сегрегационного текстурообразующего голоценового и позднелейстоценового льда в верхней части разреза в тех фрагментах террасы, которые не испытали каких-либо преобразований в голоцене. Его минерализация составляет от 470 до 810 мг/л, преобладают карбонаты магния и кальция, льды высокощелочные (рН более 9). Эти хотя и несколько превышают отмечаемые в голоценовых сегрегационных текстурообразующих льда в нижней части торфяника, но это легко объяснимо участием атмос-

ферных осадков в составе льдов сезонно-талого слоя уже на первой стадии формирования торфяника. В дальнейшем роль атмосферных осадков все возрастала и на заключительной фазе образования льда в верхней части торфяной залежи атмосферные осадки уже полностью доминировали.

Нам кажется уместным предположить, что столь высокая скорость аккумуляции чаще всего присуща торфяникам с мощным древесным горизонтом в толще, что объяснимо даже просто физико-механическими свойствами древесины (малой сжимаемостью при захоронении и т.п.), но, возможно, это связано и с характером развития таких болотных массивов, сменой залесенных участков сильно заболоченными пространствами.

О возможности и даже о доказанном факте сингенетического роста повторно-жильных льдов в течение всего голоцена (включая и период оптимума) в заполярных районах Западной Сибири мы уже неоднократно писали [Васильчук, Трофимов, 1984; Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1995]. В описываемой здесь голоценовой толще у пос. Сеяха это нашло особенно яркое отражение. В этом плане убедительны и ледяные жилы, развивавшиеся параллельно с формированием грунтовых жил, датируемых в интервале 9,2—6,5 тыс. лет назад (см. рис. 2, а) и ледяные жилы, унаследовавшие грунтовые, сразу же после их заложения 9,3 тыс. лет назад (см. рис. 2, б).

Климатические условия периода интенсивного формирования ледяных жил (в том числе и в оптимуме голоцена) очень конкретно и уверенно можно реконструировать по изотопно-кислородным и дейтериевым характеристикам льда, как несколько более суровые для зимних периодов (среднезимние температуры ниже современных на 2—4°C) среднезимние температуры составляли -19—-20°C, а среднеянварские около -26—-30°C. Судя по интенсивному росту деревьев, здесь в период оптимума голоцена, летние температуры были заметно выше современных. Среднелетние температуры были выше современных, даже более чем на 2—3°C, а среднеиюльские температуры должны были быть выше +12°C (иначе суммы эффективных температур было бы недостаточно для полного цикла развития деревьев).

Хотя сейчас еще нельзя говорить о полной ясности в понимании криолитологической истории Сеяхинских голоценовых толщ, попробуем все же хотя бы схематически представить себе хронологию развития голоценовых криолитогенных образований и торфяников в первой половине голоцена.

**1 этап: 9,3—8,7 тыс. лет назад.** Этот этап практически фиксирует начало термического оптимума голоцена, с его началом связано увеличение летних температур и вызванное им увеличение глубины сезонного протаивания на поверхности террасы. Это вызывает зарождение эмбриональных озер на месте протаивавших линз сегрегационного льда и интенсивную вегетацию как мохово-травяной, так и древесной растительности.

Разнос семян деревьев, очевидно, мог осуществляться ветром и птицами. Древесная растительность в этот период почти исключительно представлена березой. Березовая растительность была очень редкой, на поверхности террасы произрастали единичные угнетенные деревья. Иссошение верхних горизонтов в отдельные наиболее теплые летние сезоны вело к активизации пожаров. Однако низкие зимние температуры (возможно даже более холодные зимы, чем отмечаемые сейчас) приводили к интенсивному росту повторно-жильных льдов на поверхности торфяных болот. На участках, где неглубоко от поверхности залегали большие скопления позднелейстоценовых текстуробразующих льдов появились глубокие до 4—6 м котловины диаметром первые сотни метров, на дне которых накапливаются озерные супеси.

**2 этап: 8,7—7,8 тыс. лет назад.** Начало этапа знаменуется дренированием озерных котловин и активным заселением их древесной растительностью — это своеобразные мини-рефугиумы, в которых деревья защищены от ветра. Это благоприятствовало развитию полноценных стволов шириной до 30—40 см. В этот период, вероятно, периодически происходит обводнение и осушение этих котловин в зависимости от колебаний глубины сезонного протаивания — ее увеличение на протяжении нескольких сезонов подряд ведет к вытаиванию больших масс подземного льда и стоку талых вод по подошве сезонно-талого слоя в котловины. В этот период на дне котловин образуются неглубокие озера. Их периодический дренаж осуществляется небольшими водотоками, периодически возникающими на поверхности террасы. Следует отметить, что описанные торфяники сейчас имеют прибрежное положение, а в раннем голоцене они находились на расстоянии нескольких километров от берега. Периодический подъем зеркала вод приводил к отмиранию древесной растительности и ее захоронению. Деревья в этот период сохранялись лишь на мерзлых грядах или на небольших буграх в центре котловин или на окраинах.

Произрастание деревьев в период 8,4—8,2 тыс. лет назад в пределах озерно-болотных

котловин, вероятно, напоминало картину „пьяного“ леса. Деревьями были заняты более возвышенные гряды и бугры болотного комплекса, неравномерная просадка которых происходила в результате частичного протаивания сбоку. Усиление обводнения ослабляло механическую связь корневой системы с почвой, деревья опрокидывались под воздействием ветра и силы тяжести. При этом часть деревьев гибла, а часть продолжала развиваться. Рост деревьев на поверхности котловин и в непосредственной близости от них около 8 тыс. лет назад прекратился.

Заполнение котловин мхами, осоками и остатками трав и кустарничков происходило очень быстро, вероятно, не только за счет активного роста болотной растительности *in situ*, но и за счет аллохтонного сноса с более высоких участков. Именно этим можно объяснить появление более древних датировок в пределах массивов более молодых дат.

Говоря о характере промерзания торфяника можно утверждать, что многолетнемерзлые породы даже непосредственно под озерной котловиной никогда не протаивали более чем на 5 м, об этом свидетельствует залегание под торфяниками пород позднелейстоценового ледового комплекса (нами установлено, что даже в горных районах под формирующимися в оптимум голоцена мощными торфяниками ледовый позднелейстоценовый комплекс не протаивал более чем на 1—2 м [Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1998 b]), хотя контраст зимних и летних температур там и сейчас, и в голоцене был очень существенным, а летом там и сейчас (и, безусловно, в период оптимума голоцена) среднеиюльские температуры превышают +15°C).

Промерзание вновь накапливающихся масс торфа происходило в целом сингенетически, хотя в периоды большего обводнения котловин, вновь накапливающиеся торфяные массы (мощностью до 0,5—1,0 м) могли десятки, а, возможно, и первые сотни лет находиться в талом состоянии; при этом под ними торф продолжал оставаться мерзлым. Активному росту ледяных жил непосредственно в массиве накапливавшегося торфа, вероятно, препятствовали эти периоды заметного обводнения. По периферии этих озерных котловин рост повторно-жильных льдов все время достаточно активен.

Заметим, что в принципе даже в мощных торфяниках крупные ледяные жилы нередки: вспомним мощную 5-метровую залежь в устье р. Салемлекабтамба, пронизанную сингенетическими жилами [Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1995] или еще более мощные торфяники в долинах рек Щучья и Мессояха, вмещающие крупные сингенетические жилы [Васильчук, Трофимов,

1984]. Однако нами замечено, что в тех частях торфяных массивов, где встречаются древесные горизонты, крупные ледяные жилы, как правило, не обнаруживаются, тогда как на некотором расстоянии от древесной „мостовой“ в той же торфяной залежи ледяные жилы могут быть очень крупными. Вероятнее всего, это связано с локальными условиями увлажнения массива.

3 этап: 7,8—6,0 тыс. лет назад. Рост торфа в пределах котловин практически прекращается, торфяник с поверхности подвергается морозобойному растрескиванию, в его пределах формируются небольшие ледяные жилы. На тех периферийных участках, где ранее сформировались крупные ледяные жилы они продолжают активно расти. Однако постепенное сокращение локального увлажнения приводит к интенсивному росту грунтовых торфяных жил, растущих параллельно с ледяными. Примечательной ландшафтной особенностью этого периода является появление лиственницы в растительном покрове. Напомним, что древесина лиственницы относится к числу очень устойчивых пород к разложению [Нащокин, 1966], поэтому ее отсутствие в составе древесных „мостовых“ в торфянике можно уверенно интерпретировать и как ее отсутствие в растительном покрове того времени.

Полученные данные подтверждают, что аккумуляция даже на первый взгляд автохтонного торфяника несколько раз прерывалась во времени, при этом тип торфонакопления изменялся. Повторное промерзание и протаивание торфяных массивов даже в однородных климатических и геоэкологических условиях может быть обусловлено осушением и увлажнением торфяника.

## ВЫВОДЫ

Криолитологическое и химико-аналитическое обследование Сеяхинского торфяника показало: 1) быстрая, даже катастрофическая аккумуляция торфа, превышающая 4—5 м в тысячу лет, могла происходить в тундре; 2) растительный покров в пределах тундровой зоны в раннем голоцене сильно отличался от современного, в течение этого периода наблюдалось проникновение лесной растительности в зону современной арктической тундры п-ова Ямал, появление березы севернее 70° с.ш., скорее всего, предшествовало появлению лиственницы и, очевидно, было более массовым, березы формировали небольшие рощи, в пределах которых лиственницы встречались единично; причиной облесения тундры было летнее потепление; 3) сингенетический рост повторно-жильных льдов происходил в течение голоценового оптимума, причинами препятствующими сингенетическому росту жил в торфяниках было не глобальное потепление, а

локальные условия повышенного обводнения, при этом на менее обводненных участках рост жил в это же время был очень активным; 4) климатические условия периода оптимума голоцена, реконструированы по изотопно-кислородным и дейтериевым характеристикам льда сингенетических жил: среднезимние температуры составляли  $-19$ — $-20^{\circ}\text{C}$ , а среднеянварские около  $-26$ — $-30^{\circ}\text{C}$ . Судя по интенсивному росту деревьев, здесь в период оптимума голоцена, летние температуры были заметно выше современных. Среднеиюльские температуры должны были быть выше  $+12^{\circ}\text{C}$  (иначе суммы эффективных температур вегетационного периода было бы недостаточно для полного цикла развития деревьев).

Исследования финансируются Российским фондом фундаментальных исследований (гранты 96-04-50038, 97-05-64320, 97-05-96508 и 96-05-65528), частично программой поддержки ведущих научных школ (грант 96-15-98457), программой „Интеграция“ (гранты 5.1-425 и 2.1-КО-802). Аналитические исследования выполнены в рамках научных программ Хельсинского и Гронингенского университетов. Мы благодарим Надежду Буданцеву и Галину Корнееву за определения ферментной активности в подземных льдах и Яна Хайнемаера за помощь в AMS-датировании органики. Особую благодарность мы приносим Элони Соннинен за тщательный изотопно-кислородный анализ образцов подземных льдов и В.Т. Трофимову за обсуждение статьи.

## Литература

- Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав повторно-жильных льдов (опыт палеогеоэкологических реконструкций). В 2-х т. М., Отдел теоретических проблем РАН, МГУ, ПНИИИС, 1992. Т.1. 420 с., Т. 2. 264 с.
- 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, том 2, № 1, с. 48—54.
- Васильчук Ю.К., Петрова Е.А., Васильчук А.К. Некоторые черты палеогеографии голоцена Ямала // Бюлл. комис. по изучен. четвертичного периода. № 52. М., Наука, 1983, с.73—89.
- Васильчук Ю.К., Трофимов В.Т. Многолетнемерзлые породы Западно-Сибирской плиты в эпоху голоценового „оптимума“ // Докл. АН СССР, 1983, том 270, № 1, с.168—172.
- Васильчук Ю.К., Трофимов В.Т. Особенности криолитологического развития севера Западной Сибири в голоцене // Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы. Отдел. геол. 1984, т. 59, вып. 4, с. 134—143.
- Нащокин В.Д. Остатки ископаемой древесины из четвертичных отложений Сибири и значение их изучения для стратиграфии и палеогеографии // Четвертичный период Сибири. М., Наука, 1966, с. 335—339.
- Пьявченко Н.И. Бугристые торфяники. М., Изд-во АН СССР, 1955, 280 с.
- Chatwin S.C. Holocene temperatures in the upper Mackenzie valley determined by oxygen isotope analysis of peat cellulose // Permafrost, Fourth Int. Conf., Fairbanks, Alaska. Proceedings. National Academy Press, Washington, 1983, p. 127—130.

Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Ice-wedge formation in Northern Asia during the Holocene // Permafrost and Periglacial Processes, 1995, vol. 6, № 3, p. 273—279.

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, № 3, p. 335—345.

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

Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Oxygen-isotope and  $^{14}\text{C}$  data associated with Late Pleistocene syngenetic ice wedges in mountains of Magadan Region, Siberia // Permafrost and Periglacial Processes, 1998b, vol. 9, № 2, p. 177—183.

Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk A.C. Oxygen-isotope and enzymatic activity variations in the syngenetic ice-wedge complex Seyaha of the Yamal Peninsula // Permafrost. Seventh Inter. Conf. Yellowknife, Canada. Proceedings. Collection Nordicana, Centre d'etudes nordiques, 1998c, p. 1077—1082.

Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk A.C., Jungner H., et al. Radiocarbon age and stable isotope composition of unicum Holocene peat in Yamal Peninsula // Inter. Conf. on the problems of Earth Cryology, Pushchino, 20—24 April 1998, Abstracts, 1998, p. 99—100.

*Поступила в редакцию  
6 мая 1998 г.*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

# КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ

# 1

ЯНВАРЬ–МАРТ  
ТОМ III, 1999

ИЗДАТЕЛЬСТВО СО РАН  
НИЦ ОИГГМ СО РАН  
Новосибирск