

Васильчук Ю.К., Буданцева Н.А., Бартова А.В., Зимов С.А. Вариации стабильных изотопов кислорода в повторно-жильных льдах циклитной едомы Станчиковского Яра на реке Малый Анюй // Арктика и Антарктика. — 2018. - № 3. - С. 37-56. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27121. URL: http://e-notabene.ru/arctic/article_27121.html

Vasil'chuk Yu.K., Budantseva N.A., Bartova A.V., Zimov S.A. Variations of stable oxygen isotopes in ice wedges of the cyclite yedoma of Stanchikovsky Yar on the Maly Anyuy River. Arctic and Antarctic. — 2018. - N 3. - P. 37-56. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27121. URL: http://e-notabene.ru/arctic/article_27121.html

Вариации стабильных изотопов кислорода в повторно-жильных льдах циклитной едомы Станчиковского Яра на реке Малый Анюй

Васильчук Юрий Кириллович

доктор геолого-минералогических наук

профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ)

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2009

Vasil'chuk Yuriy Kirillovich

Doctor of Geology and Mineralogy

Professor, the department of Geochemistry of Landscapes and Soil Geography, Lomonosov Moscow State University

119991, Russia, Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, of. 2009

✉ vasilch_geo@mail.ru



Буданцева Надежда Аркадьевна

кандидат географических наук

старший научный сотрудник, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2007

Budantseva Nadine Arkad'evna

PhD in Geography

119991, Russia, g. Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, of. 2007

✉ nadin.budanceva@mail.ru



Бартова Арина Викторовна

ведущий геолог (начальник отряда) ФГБУ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, отдел региональной геологии и полезных ископаемых Восточных районов России

199106, Россия, г. Санкт Петербург, ул. Средний Проспект, 74

Bartova Arina Viktorovna

199106, Russia, g. Sankt Peterburg, ul. Srednii Prospekt, 74

✉ arina_bartova@mail.ru



Зимов Сергей Афанасьевич
научный руководитель, заказник Плейстоценовый парк
678830, Россия, Республика Якутия (саха) область, г. Черский, ул. Малиновы Яр, 1

Zimov Sergey Aphanasievich
678830, Russia, Respublika Yakutiya (sakha) oblast', g. Cherskii, ul. Malinovyi Yar, 1

✉ sazimov55@mail.ru



Аннотация

Предметом исследования являются криолитологические и изотопно-геохимические особенности повторно-жильных льдов вскрытых в едомной толще Станчиковского Яра на реке Малый Анюй - левого притока реки Колымы. Исследования выполнены в августе 2018 г. Едома высотой от 25 до 35 м вскрыта на протяжении 4 км, ниже по течению реки от пос. Анюйск. Повторно-жильные льды вскрыты более чем в 20 фрагментах едомы на разных высотах - от 10 до 35 м. Основными методами исследования являются криолитологическое изучение вскрытых ледяных жил, анализ вариаций стабильных изотопов кислорода в жильном льду. Проведенное исследование продемонстрировало, что полигонально-жильный комплекс едомной толщи Станчиковского яра, по всей вероятности, представлен ледяными жилами, располагающимися 3-4 ярусами. Головы ледяных жил залегают на высотах приблизительно 35, 25, 15 и 10 м. На ярусность строения комплекса также указывают узкие погребенные ледяные жилки толщиной 0,5 м. Возраст исследованных авторами двух ледяных жил более 30-34 и 25-29 тыс. лет. В этот период, судя по стабильно низким значениям изотопно-кислородного состава повторно-жильного льда, климатические условия были довольно суровыми, среднезимние температуры воздуха составляли -31, -33°C, а среднеянварские могли достигать -46, -47°C.

Ключевые слова: река Малый Анюй, циклитность, радиоуглеродный возраст, изотопы кислорода, поздний плейстоцен, повторно-жильные льды, едома, река Колыма, Якутия, палеотемпературы

DOI:

10.7256/2453-8922.2018.3.27121

Дата направления в редакцию:

09-10-2018

Дата рецензирования:

09-10-2018

Дата публикации:

26-10-2018

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №№17-05-00793 и 18-05-60272 Арктика – изотопные определения и интерпретация результатов) и РНФ (проект №14-27-00083-П - полевые работы) с использованием масс-спектрометрического оборудования, приобретенного на средства Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

Abstract

The subject of the study are cryolithological and isotope-geochemical features of ice wedges exposed in the yedoma of Stanchikovsky Yar on the Maly Anyuy River - the left tributary of

the Kolyma River. The study was carried out in August 2018. Yedoma 25 to 35 m high was exposed along 4 km downstream of the river from the Anyuysk village. Ice wedges are exposed in more than 20 fragments of yedoma complex at different heights - from 10 to 35 m. The main methods are cryolithological study of the exposed ice wedges, the analysis of stable oxygen isotope variations in ice wedge. It was demonstrated that yedoma complex of the Stanchikovsky Yar is probably represented by 3-4 units with ice wedges. The heads of ice wedges are located approximately at the altitudes of 35, 25, 15 and 10 m above the level of Maly Anyuy River. Narrow buried ice wedges 0.5 m thick also indicate the cyclic structure of the complex. The age of the studied ice wedges is between 25 and 35 ka BP. Low values of stable oxygen composition of the ice wedges indicate severe geocryological environment during this period, with average winter air temperature about -31 , -33°C , mean January air temperatures could reach -46 , -47°C .

Keywords:

Kolyma River, Maly Anyui River, cyclicity, radiocarbon age, oxygen isotope, Late Pleistocene, ice wedges, yedoma, Yakutia, palaeotemperatures

ВЕДЕНИЕ

Цель работы авторов: 1) рассмотреть особенности строения и состава позднеплейстоценовых повторно-жильных льдов в обнажении едомы Станчиковского Яра ($69^{\circ}21'56''$ с.ш., $161^{\circ}31'20''$ в.д.), расположенном в долине р.Малый Анюй (рис. 1), близ пос. Анюйск ($68^{\circ}20'37''$ с. ш. $161^{\circ}33'37''$ в. д.) 2) исследовать их изотопно-кислородный состав и 3) оценить изменения палеоклиматических характеристик в позднем плейстоцене в этом регионе.



Рис. 1. Местоположение едомной толщи Станчиковского Яра на правобережье р. Малый Анюй, близ пос. Анюйск: а - общий план долины р. Колымы и ее притоков в низовьях, б - фрагмент долины р. Мал. Анюй с пос. Анюйск и обрывом едомы выше по течению

Циклитность едомной толщи Станчиковского Яра

Г.С.Константинова [1] одной из первых детально исследовала циклически построенную едомную толщу Станчиковского Яра (рис. 2) в долине р.Малый Анюй: она пришла к выводу, что повторно-жильные льды залегают циклитно. Г.С.Константинова так описывает строение едомной толщи Станчиковского Яра: «Особенностью четвертичных отложений, выходящих в обнажении Станчиковского Яра, является то, что полигонально-жильные льды, содержащиеся в них, не прорезают всю осадочную толщу, а залегают несколькими ярусами, расположенными друг над другом.

Ярусы ледяных жил разделены слоем грунта иногда сильно оторфованного или торфянистого мощностью около 2 м. Верхний ярус льдов залегает на высоте в интервале между 18-27 м над урезом р. Малый Анюй, нижний - на высоте от 7-8 до 16 м... Судя по тому, что по склону холмов над обнажением расположены байджерахи, можно считать, что существует еще, по крайней мере, один ярус жильных льдов, залегающий на высоте от 30 до 40-45 м».

А.В. Шер [2, 3] также отметил ярусность Станчиковского Яра и выделил три яруса повторно-жильных льдов.

Несколько позднее криогенное строение разреза Станчиковского Яра детально исследовала Т.П. Кузнецова [4]. Относительно ярусности Т.П.Кузнецова высказала мнение, что это вопрос спорный. Она мотивировала это тем, что, так как в таком плохо обнаженном разрезе, как Станчиковский Яр, трудно установить истинную картину расположения повторно-жильных льдов. Ей представляется, что во вскрытом разрезе едомы существует обычная одноярусная система мощных повторно-жильных льдов, имеющих вертикальное протяжение около 15-30 м и более. Это и нашло отражение на общем рисунке едомы, особенно в нижнем по течению фрагменте (рис. 3).

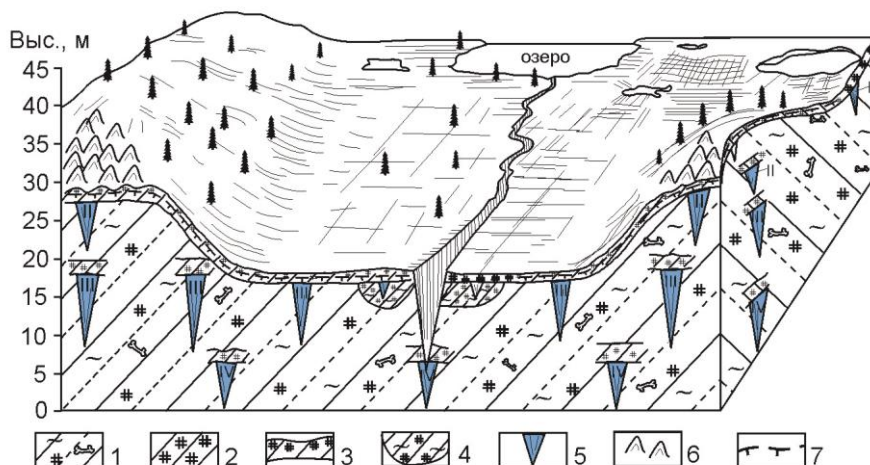


Рис. 2. Схематическая блок-диаграмма Анюйско-Колымской равнины на участке обнажения правого берега р.М.Аньюй в районе Станчиковского Яра, по Г.С.Константиновой [1]: 1 – суглинок пылеватый, местами оторфованный, местами заиленный, пронизанный корнями и стеблями травянистых растений, с костными остатками животных позднеледникового возраста; суглинок между жилами льда светло-коричневый, подо льдом – серо-сизый, как правило, заметна тонкая слоистость; 2 – сильнооторфованный коричневый суглинок, местами – сильноразложившийся торф; 3 – суглинок светло-коричневый, оподзоленный, перекрыт слоем торфа мощностью около 10 см; 4 – аласные отложения: суглинки пылеватые, со стеблями и корнями трав и кустарников, с прослоями ила и торфа; 5 – жила льда (римская цифра обозначает ярус жильного льда); 6 – байджерахи; 7 – граница многолетнемерзлых пород.

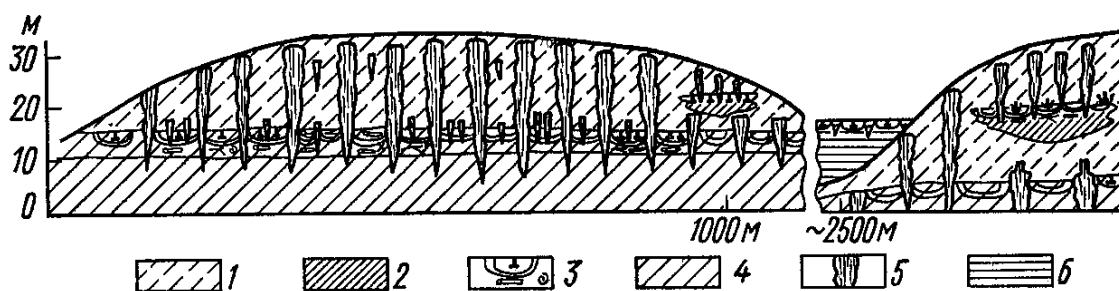


Рис. 3. Схематический разрез Станчиковского Яра по Т.П.Кузнецовой [4]: 1 – коричневые суглинки и супеси; 2 – темно-серые озерные отложения; 3 – болотные отложения, местами с торфяниками, с древесными растительными остатками, с вогнутыми ледяными прослоями; 4 – серо-сизые озерные супеси; 5 – повторно-жильные льды; 6 – комплекс аласных отложений

Но в работе Т.П.Кузнецовой [4] содержатся и сомнения в монолитности жил и строения в разрезе едомы. Так, она указывает [4, стр. 37], что в одном из цирков в толще коричневых супесей (м.б. легких суглинков) ею и М.А.Коняхиным встречены погребенные ледяные жилы, перекрытые озерными осадками и торфом. Причем в примечании к этому наблюдению она указывает, что это не выдержанный по простиранию горизонт торфа, он не прослеживается по всему разрезу, и такие торфяники встречаются на разных уровнях. Вместе с тем она отметила, что помимо основной системы мощных повторно-жильных льдов внутри ее существуют мелкие системы небольших ледяных жил более поздних генераций. Это Т.П. Кузнецова отмечает во многих цирках (рис. 4). Вот эти системы более мелких генераций ледяных жил, по мнению Т.П.Кузнецовой [4], располагаются в несколько ярусов. Но она также делает еще одно важное замечание, что наблюдаются локальные участки, где существует двухъярусность в системе мощных повторно-жильных льдов в разрезе Станчиковского Яра; например, в одном из цирков в толще коричневых суглинков и супесей прослеживались погребенные ледяные жилы, перекрытые линзой озерных осадков, которая уже в задернованной части склона с байджерами завершалась небольшим торфяником (см. рис. 4, б, в).

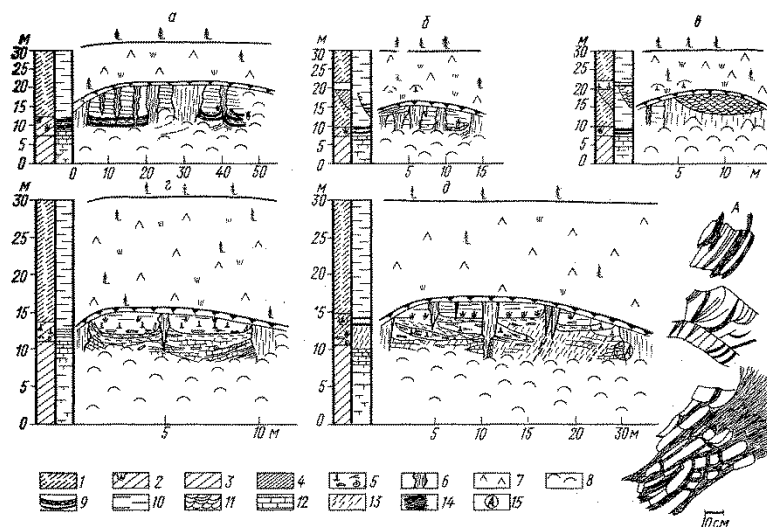


Рис. 4. Цирки Станчиковского Яра по Т.П.Кузнецовой [4]: 1 – коричневые суглинки и супеси; 2 – зеленовато-серые супеси с оторфованными (размытыми) пятнами, сильнольдистые; 3 – серо-сизые озерные супеси; 4 – торф; 5 – темно-серые сильнольдистые супеси, с торфом, крупными и мелкими растительными остатками. 6 – повторно-жильные льды, 7 – байджерах; 8 – осыпи. Криогенная текстура; 9 – вогнутые ледогрунтовые и ледяные прослои; 10 – тонкогоризонтально-прерывистая; 11 – толстошлировая линзовидно-плетенчатая; 12 – решетчатая; 13 – косолинзовидная; 14 – лед прозрачный, пузырчатый; 15 – детали криогенной текстуры

Т.Н.Каплина указывает на то, что следы чаш протавания, подобные тем, какие прослеживаются под аласами, а толще едомной свиты Станчиковского Яра отсутствуют, однако наблюдаются перестройки систем ледяных жил (рис. 5), сопровождающиеся срезами (подтаиванием) голов ледяных жил (такие же она отмечает в разрезах Дуванный Яр и правобережья р.Хромы).

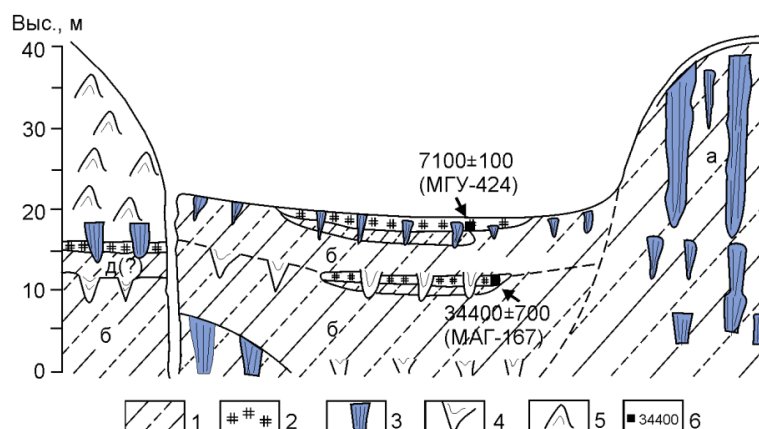


Рис. 5. Схематический разрез Станчиковского Яра по О.В.Лахтиной и Т.Н.Каплиной. Из [6]: 1 – супеси и суглинки едомной свиты; 2 – торф; 3 – ледяные жилы; 4 – псевдоморфозы; 5 – байджерахи; 6 – радиоуглеродные датировки

По мнению Т.Н. Каплиной [6] вполне вероятно, что эти срезы и перестройки являются продуктом блуждания русел в своеобразных крайне суровых геоэкологических условиях. В разрезе верхнего по течению фрагмента едомы Станчиковского Яра Т.Н. Каплина и О.В. Лахтина зафиксировали три яруса ледяных жил, указывающих на неоднократную перестройку формирования полигонально-жильных структур.

Д.В. Михалев, обследовавший Станчиковский Яр с коллегами в 2005 г. также указывает, что разрезе сочетаются отложения циклитной едомной и аласных толщ [7, 8]. В основании обнажения (рис. 6) он описал [8] горизонт сизовато-серых суглинков видимой мощностью 3–5 м, располагающийся на высоте от 7 до 9 м над урезом реки Мал. Анюй. Кровля горизонта неровная, что, обусловлено локальным размывом верхних слоев толщи. Отложения льдистые, с атакситовыми, линзовидно-плетёнными и массивными криотекстурами. В этом горизонте вскрывается ярус небольших ледяных жил шириной от 0,3–0,4 до 1,0–1,5 м, иногда более. Верхняя часть головы большинства жил срезана.

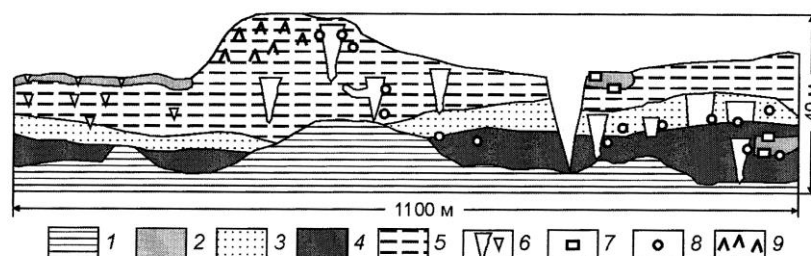


Рис. 6. Схема разреза Станчиковский Яр по В.И.Николаеву и Д.В.Михалеву с соавторами [8]: 1 – осыпи; 2 – торф; 3 – желтовато-серые суглинки и супеси с сетчатой криогенной текстурой; 4 – сизовато-серые суглинки и супеси с растительным детритом и линзовидно-плетёнными криогенными текстурами; 5 – бурые суглинки и супеси едомной свиты с растительным детритом; 6 – ледяные жилы; 7 – точки отбора образцов на радиоуглеродное датирование; 8 – участки отбора образцов на изотопно-кислородный анализ; 9 – байджерахи

Выше по разрезу на высоте от 10 до 14 м над урезом реки вскрывается толща желтовато-серых супесей и суглинков мощностью 2–4 м с линзами и прослоями торфа. Этот горизонт вмещает ледяные жилы с оплавленной головой, которая чаще приурочена к прослоям торфа. Характер залегания отложений, форма и строение ледяных жил, а также наличие сетчатых криотекстур позволили Д.В. Михалеву предположить, что при формировании отложений происходили их локальное протаивание и повторное промерзание. Выше до самого верха обнажения залегает толща типичных едомных бурых супесей мощностью до 30 м (см. рис. 6).

С.В. Губин и О.Г.Занина ^[9] установили, что в разрезе присутствует несколько горизонтов погребенных почв (рис. 7), при это они указывают на падение поверхностей погребенных почв к руслу реки более, чем на 5 м (рис. 8, А), а падение в сторону большого аласа, примыкающего к обнажению с верхней по течению реки части обнажения, на 2,0–2,5 м (см. рис. 8, Б).

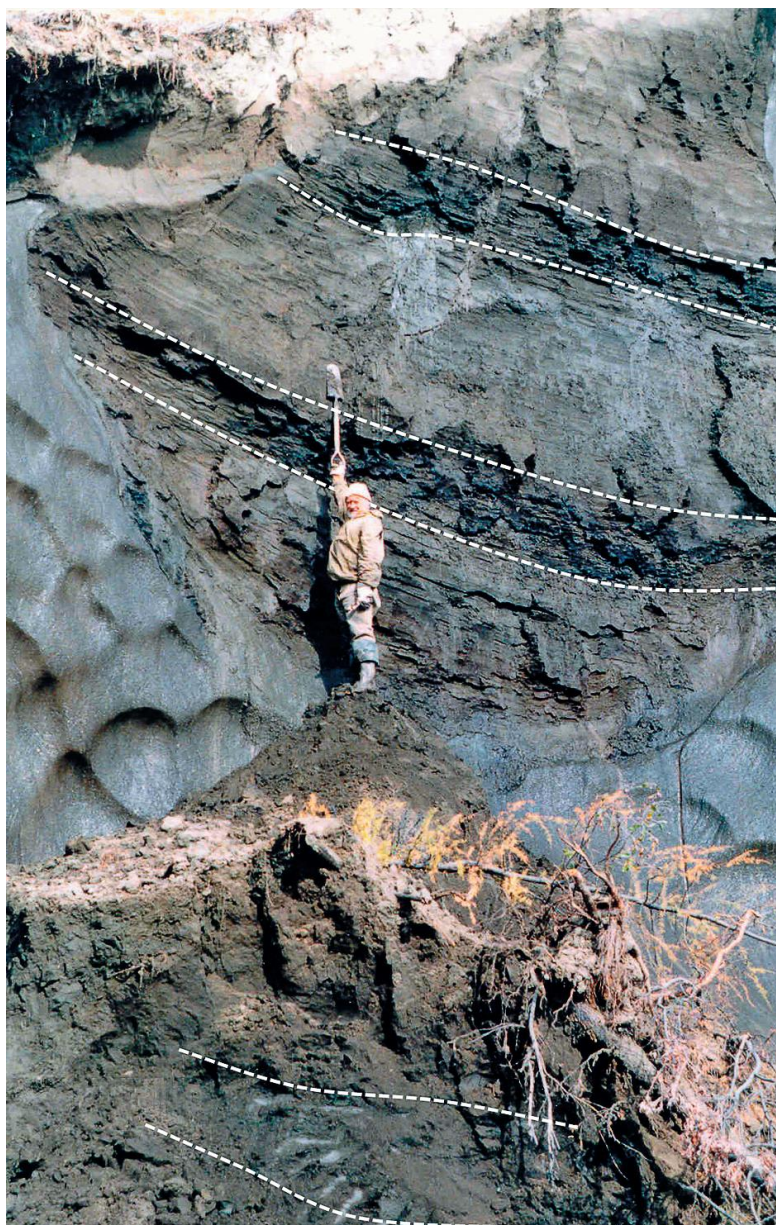


Рис. 7. Погребенные почвы в едоме Станчиковского Яра, р. Малый Анюй. Фото О.Г.Заниной

В стенках обнажения С.В. Губиным и О.Г.Заниной ^[9] изучено более 30 профилей погребенных почв, расположенных на трех высотных уровнях. Нижняя погребенная

почва в стенке обнажения находится на высоте около 24 м над уровнем реки и формируется в едомной буроватой толще криопедолита, она несет признаки оглеения средних и нижних частей профилей. В этом обнажении на близких глубинах А.В. Шер [2, 3] отмечал нахождение прослоя торфа. В почвенных горизонтах С.В. Губиным и О.Г.Заниной [9] встречены фрагменты веточек кустарничков, скопления нор мелких грызунов с разветвленной системой горизонтальных ходов. Это, по их мнению [9] указывает на существовавшие различия в степени увлажненности поверхности формировавшихся в этот период полигонов на очень ограниченном пространстве, что отражено в строении почв, почвенного и растительного покровов.

Полученные С.В.Губиным и О.Г.Заниной [9] радиоуглеродные даты по растительным остаткам из этой почвы (рис. 9) делятся на две группы. Первая определяет время ее формирования в диапазоне 37–34 тыс. лет назад, вторая имеет даты, близкие к запредельным.

Из материала торфянистого горизонта для вышележащей почвы получена [9] радиоуглеродная дата $33\,900 \pm 750$ лет (ГИН 12873), что позволяет связать ее формирование с третьей стадией почвообразования (второй погребенной почвой).

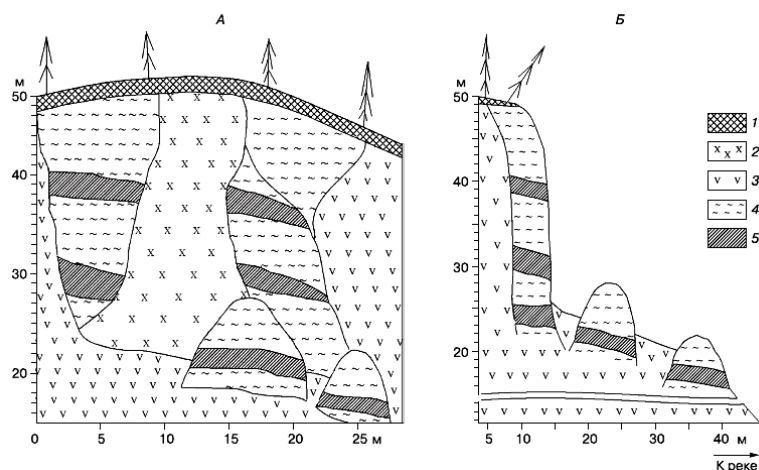


Рис. 8. Падение уровней профилей погребенных почв в едоме Станчиковского Яра к р. Малый Анюй. Из С.В. Губина и О.Г.Заниной [9]: А – параллельно руслу реки; Б – в глубь обнажения; 1 – современная почва и покровный слой; 2 – ледяные жилы; 3 – осыпь; 4 – криопедолит; 5 – погребенная почва

Самая верхняя, первая погребенная почва на высоте около 40 м над ур. в. формировалась в серой супеси. Почвенный профиль и подстилающие его слои сильнольдистые. Материал верхних горизонтов насыщен хорошо разложившимся растительным детритом, грубый оторфованный материал имеет подчиненное значение. Горизонты обладают переходным характером – от торфянистых к перегнойным (грубогумусным) почвам. Минеральные части профиля слабо оглеены. Почва отнесена С.В.Губиным и О.Г.Заниной [9] к перегнойно-глеевым или торфянисто-глеевым (грубогумусным). Из органического материала верхней части профиля ими получена дата $27\,700 \pm 300$ лет (ГИН-10874), а из материала растительной подстилки из норы суслика, расположенной в толще подстилающей почву супеси, $28\,200 \pm 600$ (ИЭМЭЖ-1190). Это позволило С.В.Губину и О.Г.Заниной [9] формирование рассматриваемой почвы отнести к четвертой стадии почвообразования (первой погребенной почвой).

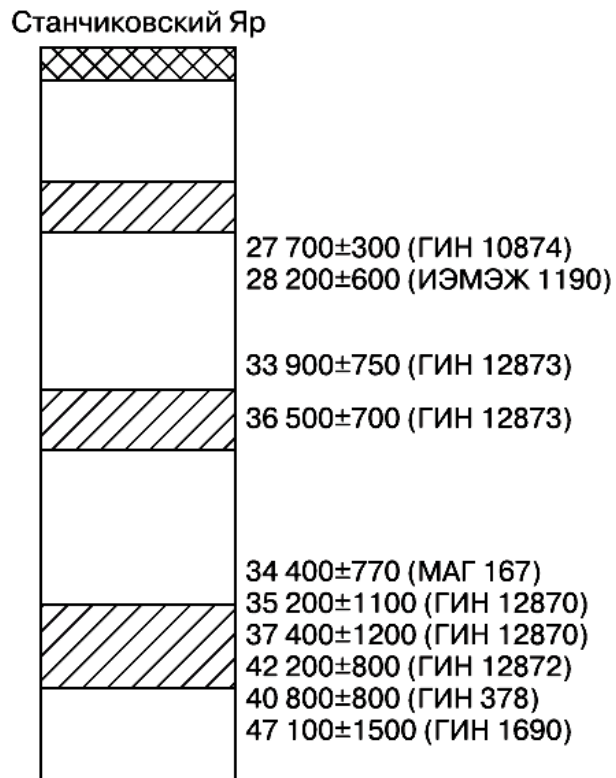


Рис. 9. Радиоуглеродные датировки Станчиковского Яра. Из С.В.Губина и О.Г.Заниной [9]

Таким образом, большинство авторов (если не все) описывают в разрезе Станчиковского Яра от 3 до 4 криоциклитов, с которыми связаны несколько ярусов погребенных жил и несколько горизонтов погребенных почв и/или торфяников.

Авторы описали и опробовали разрез Станчиковского Яра в августе 2018 г. Он был довольно хорошо вскрыт, как в верхней, так и в нижней по течению частях едомы (рис. 10-12).



Рис. 10. Общий вид едомы Станчиковского Яра в августе 2018 г. Фото Ю.К.Васильчука



Рис. 11. Сингенетические жилы верхнего яруса, едома Станчиковского Яра в августе 2018 г. Фото Ю.К.Васильчука



Рис. 12. Сингенетические жилы среднего яруса, едома Станчиковского Яра в августе 2018 г. Фото Ю.К.Васильчука

Авторами зафиксировано не менее трех ярусов криоциклитов, представленных жилами, сложенными серым (реже желтовато-серым) вертикальнослоистым льдом (рис. 13-14).



Рис. 13. Вертикальная слоистость повторно-жильного льда серого и желтовато-серого цвета, в точке 18-St-VB, Станчиковский Яр. Фото Ю.Васильчука



Рис. 14. Вертикальная слоистость повторно-жильного льда в точке 140, Станчиковский Яр. Фото А.Бартовой

В самой верхней части обнажения авторами встречены хорошо выраженные типичные голоценовые повторно-жильные льды, сложенные желтовато-белым и белым вертикальнослоистым льдом (рис. 15).



Рис. 15. Голоценовые жилы в верхней части разреза Станчиковского Яра в августе 2018 г. Фото Ю.К.Васильчука

Изотопно-кислородный состав повторно-жильных льдов

Значения $\delta^{18}\text{O}$ повторно-жильных льдов в основании обнажения Станчиковский Яр меняются от $-30,1$ до $-32,1$ ‰. При этом существенной разницы в изотопном составе ледяных жил разных генераций не наблюдается. В текстурообразующих льдах этого горизонта по В.И.Николаеву и Д.В.Михалеву с соавторами [8] значения $\delta^{18}\text{O}$ варьируют от $-26,4$ ‰ в нижней части горизонта до $-30,8$, $-31,5$ ‰ в верхней.

В толще желтовато-серых супесей с линзами и прослоями торфа и для текстурообразующих льдов, и для повторно-жильных льдов характерен сравнительно «тяжёлый» изотопный состав значения $\delta^{18}\text{O}$ изменяются от $-23,7$ до $-23,8$ ‰ в текстурообразующих льдах, и от $-24,1$ до $-26,0$ ‰ в повторно-жильных льдах.



Рис. 16. Отбор образцов из сингенетической жилы нижнего яруса, едома Станчиковского Яра в августе 2018 г. Фото Ю.К.Васильчука

Выше залегает едомная толща мощностью до 30 м. Значения $\delta^{18}\text{O}$ повторно-жильных льдов в толще типичных едомных бурых супесей варьируют от $-28,2$ до $-30,5$ ‰. Для верхней пачки отложений едомы, венчающих обнажение, зафиксированы очень низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ в текстурообразующих льдах ($-32,5$ ‰). Величины $\delta^{18}\text{O}$ повторно-жильных льдах в верхней пачке отложений едомы варьируют от $-29,9$ до $-30,8$ ‰.

Текстурообразующие льды покровного слоя (располагающегося на высотах 39,5–41,0 м над урезом реки выше кровли ледяных жил до подошвы сезонно-талого слоя) характеризуются «тяжёлым» изотопным составом – $\delta^{18}\text{O}$ от $-21,4$ до $-22,9$ ‰.

Авторами выполнен отбор образцов для изотопных определений в жилах нижнего и среднего ярусов, вскрытых в августе 2018 г. (рис. 16-19).

В одной из жил нижнего яруса (см. рис. 16, а), отбор образцов выполнен по горизонтали в интервалах высот от +10 до +11 м над урезом р.Малый Анюй (рис. 17)

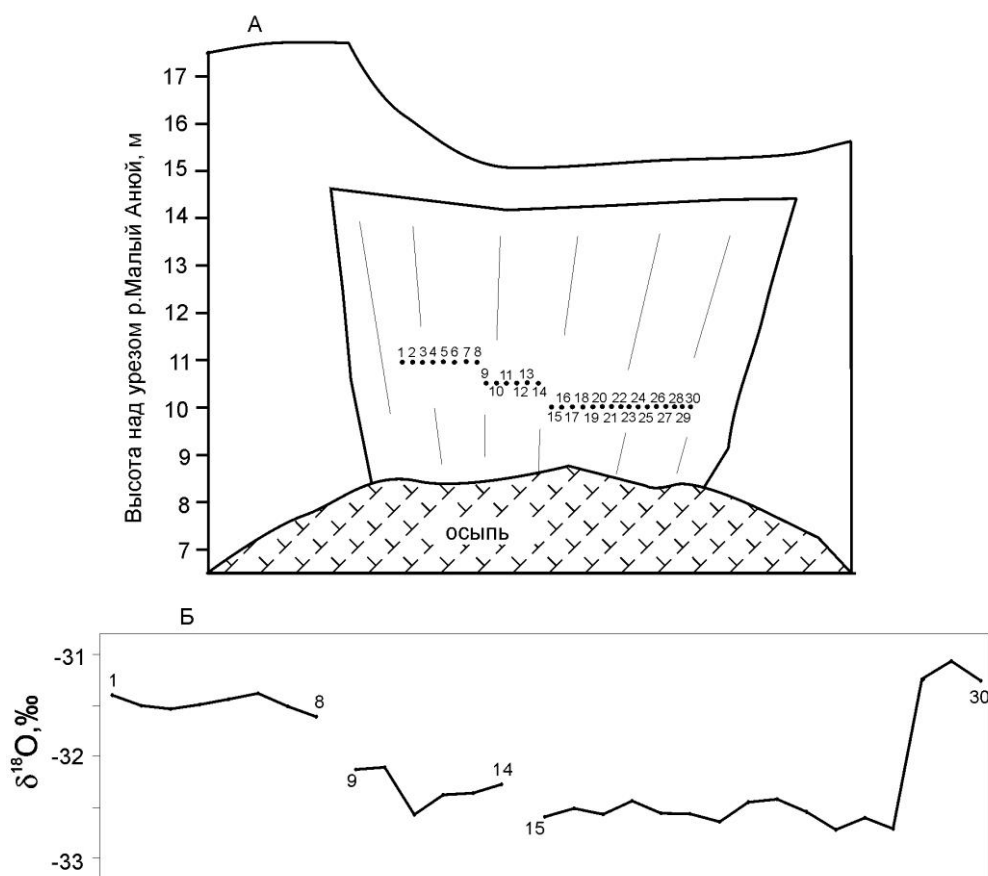


Рис. 17. Отбор образцов из жилы нижнего яруса, едома Станчиковского Яра в августе 2018 г. Выполнили отбор Н.Буданцева и С.Зимов

Вторая исследованная ледяная жила (см. рис. 18), расположена на высотах от 19 до 23 м (глубина от бровки термоцирка - около 5,5 - 6 м). Лед жилы вертикально-слоистый с чередованием мутного белесого, чистого прозрачного льда и льда, содержащего пылеватые частицы (ширина элементарных жилок от 1 мм до 1 см, преобладают жилки шириной около 0,5 см), с включениями вертикальных линз супесей (см. рис. 14). В этой ледяной жиле отбор образцов льда выполнен как по вертикали, так и по горизонтали (рис. 19).

а



б

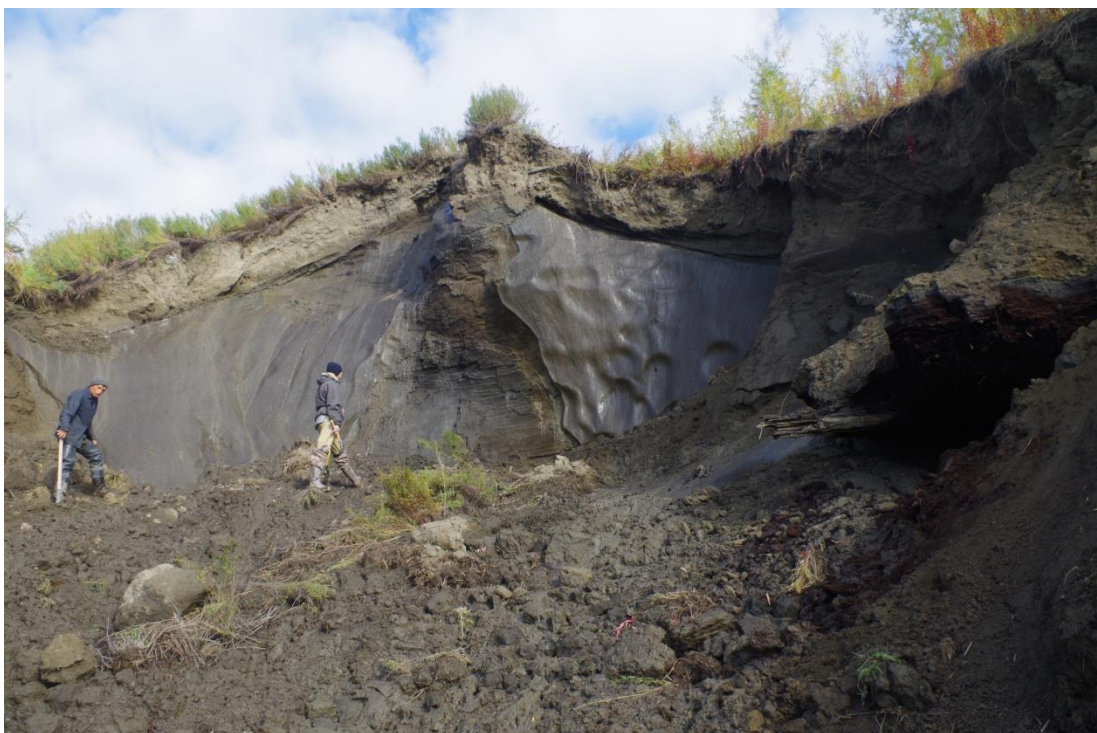


Рис. 18. Жилы среднего яруса, едома Станчиковского Яра в августе 2018 г. Фото А. Бартовой

В точке 140, где проведены детальные работы по изучению ледяных жил (см. рис. 18), в жиле наблюдался вертикально-слоистый лед с чередованием мутного белесого льда, чистого прозрачного льда и льда, содержащего пылеватые частицы, с мощностями

слоек от 1 мм до 1 см, преобладанием около 0,5 см, с включениями вертикальных линз супесей (см. рис. 14).

В этом едомном фрагменте отбор образцов в ледяной жиле выполнен как по вертикали так и по горизонтали (рис. 19).

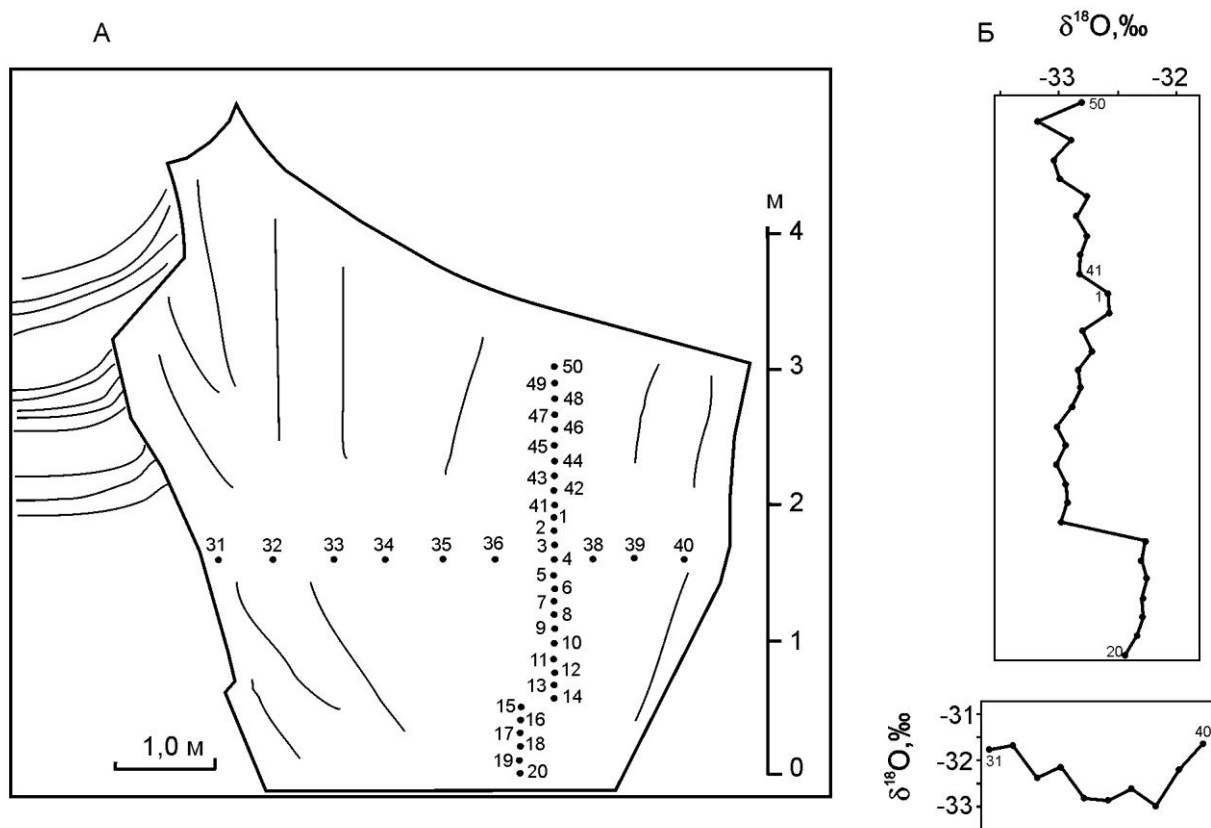


Рис. 19. Отбор образцов из жилы среднего яруса, едома Станчиковского Яра в августе 2018 г. Выполнила отбор А.Бартова

В ледяной жиле нижнего яруса (см. рис. 16; 17) значения $\delta^{18}\text{O}$ вдоль горизонтальной оси варьируют в диапазоне около 1,7 ‰ – от -31,06 до -32,62 ‰. Наиболее высокие значения $\delta^{18}\text{O}$ (от -31,06 до -31,62 ‰) получены в краевых частях жилы, наиболее низкие (от -32,11 до -32,74 ‰) – в центральной части жилы. В ледяной жиле среднего яруса (см. рис. 18, 6; 19) наиболее высокие значения $\delta^{18}\text{O}$ также получены в краевых частях жилы (-31,62 и -31,76 ‰), в центральной части жилы и вдоль вертикальной оси значения $\delta^{18}\text{O}$ варьировали между -32 и -33 ‰ (см. табл. 1). Полученные нами значения изотопно-кислородного состава льда жил коррелируют с данными Д.В.Михалева и В.И.Николаева с соавторами [8] по ледяным жилам нижнего фрагмента обнажения Станчиковского Яра, по которым ими были получены наиболее низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ от -30,1 до -32,1 ‰. Учитывая радиоуглеродные датировки нижнего горизонта погребенных почв, полученные С.В.Губиным и О.Г.Заниной [9], можно предположить, что возраст исследованных нами ледяных жил нижнего яруса более 30-34 тыс. лет, а среднего яруса близок к 25-29 тыс. лет.

Для количественной палеотемпературной оценки изотопных вариаций использовано соотношение полученное Ю.К. Васильчуком [10], который на основании опробования современных ледяных жил из разных районов криолитозоны России получил коэффициент в современных жилых ростках со среднезимней температурой воздуха $T_{\text{ср.зим}}$ равный 1,0, с погрешностью ± 2 .

Таблица 1. Вариации $\delta^{18}\text{O}$ в позднеплейстоценовых повторно-жильных льдах из едомной толщи Станчиковского Яра

Высота над урезом р.М.Анью,			Высота над урезом р.М.Анью,		
№ образца	м	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	№ образца	м	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
<i>Образцы Н. Буданцевой и Ю.Васильчука</i>			140-05	+20,6	-32,83
18-St-VB/1	+11	-31,40	140-06	+20,5	-32,81
18-St-VB/2	+11	-31,50	140-07	+20,4	-32,90
18-St-VB/3	+11	-31,54	140-08	+20,3	-33,02
18-St-VB/4	+11	-31,49	140-09	+20,2	-32,94
18-St-VB/5	+11	-31,44	140-10	+20,1	-33,02
18-St-VB/6	+11	-31,38	140-11	+20	-32,94
18-St-VB/7	+11	-31,52	140-12	+19,9	-32,93
18-St-VB/8	+11	-31,62	140-13	+19,8	-32,98
18-St-VB/9	+10,8	-32,14	140-14	+19,7	-32,27
18-St-VB/10	+10,8	-32,11	140-15	+19,6	-32,30
18-St-VB/11	+10,8	-32,59	140-16	+19,5	-32,25
18-St-VB/12	+10,8	-32,39	140-17	+19,4	-32,30
18-St-VB/13	+10,8	-32,38	140-18	+19,3	-32,29
18-St-VB/14	+10,8	-32,28	140-19	+19,2	-32,34
18-St-VB/15	+10	-32,60	140-20	+19,1	-32,44
18-St-VB/16	+10	-32,53	140-31	+20,7	-31,76
18-St-VB/17	+10	-32,58	140-32	+20,7	-31,68
18-St-VB/18	+10	-32,44	140-33	+20,7	-32,38
18-St-VB/19	+10	-32,57	140-34	+20,7	-32,14
18-St-VB/20	+10	-32,58	140-35	+20,7	-32,82
18-St-VB/21	+10	-32,65	140-36	+20,7	-32,87
18-St-VB/22	+10	-32,46	140-37	+20,7	-32,61
18-St-VB/23	+10	-32,43	140-38	+20,7	-32,97
18-St-VB/24	+10	-32,56	140-39	+20,7	-32,19
18-St-VB/25	+10	-32,74	140-40	+20,7	-31,62
18-St-VB/26	+10	-32,62	140-41	+21,1	-32,82
18-St-VB/27	+10	-32,73	140-42	+21,2	-32,82
18-St-VB/28	+10	-31,24	140-43	+21,3	-32,76
18-St-VB/29	+10	-31,06	140-44	+21,4	-32,84
18-St-VB/30	+10	-31,26	140-45	+21,5	-32,75
<i>Образцы А. Бартовой</i>			140-46	+21,6	-32,99
140-01	+21	-32,58	140-47	+21,7	-33,05
140-02	+20,9	-32,57	140-48	+21,8	-32,90
140-03	+20,8	-32,80	140-49	+21,9	-33,18
140-04	+20,7	-32,72	140-50	+22	-32,81

Коэффициент соотношения $\delta^{18}\text{O}$ в ростках современных ледяных жил со среднеянварской температурой воздуха $T_{\text{ср.январь}}$ составил 1,5, с погрешностью ± 3 °C. Эти зависимости имеют вид:

$$T_{\text{ср.зим}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{пл}} (\pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}); \quad (1)$$

$$T_{\text{ср.январь}} = 1.5\delta^{18}\text{O}_{\text{пл}} (\pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}). \quad (2)$$

Используя эти зависимости мы произвели пересчет изотопных данных в палеотемпературные. В период, примерно от 25 до 35 тыс. лет назад, судя по стабильно низким значениям изотопно-кислородного состава, геокриологические

условия были довольно суровыми, среднезимние температуры воздуха составляли –31, –33°C, а среднеянварские могли достигать –46, –47°C.

А. Бартова, исследовав другие береговые обнажения, выше по течению реки, включая опорные обнажения Молотковский Камень, Красивое и новое обнажение на левом берегу реки Малый Анюй в 4 км выше по течению от обн. Красивое, и несколько обнажений на р. Большой Анюй, пришла к выводу о том, что изученные разрезы схожи по строению – всюду наблюдается не менее двух уровней супесей и разделяющий их почвенный горизонт. Супеси мерзлые, очень плотные, (в некоторых местах с трудом поддаются обработке ломом), с сетчатой криотекстурой, с включениями мощных жил льда.

Верхние супеси (легкие суглинки) в большей части разрезов оторфованы, имеют горизонтальную слоистость, подчёркивающуюся прослоями и линзами торфа мощностью от 1-х мм до 1-х см, включают растительные (в том числе древесные) остатки. К верхам разреза приурочены жилы вертикально-слоистого льда, мощностью (видимой) более 4-х метров. Мощность верхней едомной толщи более 10 м.

Почвенный горизонт, разделяющий верхние и нижние супеси, представлен слоистым торфом с остатками травянистой и древесной растительности. В ряде разрезов А. Бартовой зафиксировано замещение по простираению торфяного слоя оторфованными супесями либо переслаиванием супесей и торфа с концентрацией на этом уровне остатков древесной (стволов деревьев) и более мелкой (веточки, стебли) растительности. К торфяному горизонту и верхней части нижележащих супесей в ряде разрезов приурочены находки фауны пресноводных моллюсков – двустворок, прудовиков, катушек. Мощность торфяного слоя или почвенного горизонта до 1,7 м.

Нижние супеси (суглинки) – серые, с голубоватым оттенком на свежем срезе, с тонкой (первые миллиметры) линзовидной слойчатостью, за счет чередования более светлых и более тёмных слоев (более светлые – соответствуют более крупным, иногда опесчаненным супесям, более темные – более мелким), с включениями линз торфа, рассеянными по слою растительными остатками (в основном стебли травянистых растений), с ярко-синими зёрнами вивианита и такой же минерализацией по контакту с органическими включениями. К верхней части слоя приурочены находки мелких раковин пресноводных моллюсков – двустворок, прудовиков, катушек. Размер раковин преобладает от 1 до 5 мм, редко крупнее.

В осыпях отобраны кости наземных позвоночных, в том числе – обломок мелкой челюсти мамонта с зубами, копыта (лошадь?) и др.

Жильные льды обнажаются почти во всех наблюдавшихся разрезах, вскрывающих супеси едомной свиты.

На контакте супесей и ледяных клиньев А. Бартовой часто наблюдалось «затягивание» слоев супеси вверх, что может говорить о сингенетичном образовании ледяных жил.

Восточнее, в разрезах, изученных в этом же полевом сезоне в низовьях р. Неккеивеем (побережье Восточно-Сибирского моря) и др. – А. Бартовой наблюдались низы едомной толщи, представленные схожими по строению супесями, но уже с прослоями песчаных гравийников с большим количеством щебня и плохо окатанной гальки (размером до 4 см). К гравийным прослоям на р. Неккеивеем приурочены находки фауны: нижняя челюсть мамонта с зубами, позвонок, бивень (рис. 20). Наличие косослоистых песчано-гравийных прослоев говорит, по мнению А. Бартовой, в пользу аллювиальной составляющей в формировании толщи.



Рис. 20. Бивень мамонта, приуроченный к гравийному прослою в едоме, в низовьях р. Неккеивеем. Фото А.Бартовой

Исходя из проведенных наблюдений (гранулометрический состав, тип слойчатости, находок растительности и фаунистических остатков (раковин пресноводных моллюсков), линз и прослоев торфа, зерен вивианита А. Бартова пришла к выводу о формировании толщи нижних супесей (суглинков) в условиях спокойного пресного мелководного бассейна (озерно-аллювиальные отложения), "верхних" – еще более мелкого, заболоченного (озерно-болотные отложения).

Во время формирования разделяющего супеси (суглинки) почвенного горизонта произрастала древесная растительность, в том числе мелколиственная – белая береза, по наличию раковин моллюсков в торфе/оторфованных алевритах – можно предположить накопление слоя (частично) в обводненных, заболоченных условиях.

Разделение в изученных разрезах верхних и нижних супесей на два самостоятельные геологические тела – едомную свиту и подстилающие её озёрно-аллювиальные образования, как это сделано на карте четвертичных отложений масштаба 1:1 000 000 изд. в 2000 г. [\[11, 12\]](#), по мнению А. Бартовой, вероятно, не имеет смысла.

Выводы

1. В 2018 г. в обнажении едомной толщи Станчиковского Яра было вскрыто не менее трех ярусов криоциклитов.
2. Получены весьма низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ во льду изученных жил нижнего и среднего ярусов – от $-33,18$ до $-31,06$ ‰.
3. Палеоклиматические и геокриологические условия во время формирования изученных ледяных жил (примерно от 25 до 35 тыс. лет назад) были довольно суровыми, среднезимние температуры воздуха составляли -31 , -33°C , а среднеянварские могли достигать -46 , -47°C .

Авторы благодарят Пензина Н.О., отдел четвертичной геологии ФГБУ ВСЕГЕИ за помощь в полевых исследованиях.

Библиография

1. Константинова Г.С. О полигонально-жильных льдах на Анюйско-Колымской равнине // Подземный лед. 1965. М.: Изд-во Моск. ун-та, с.104-111.
2. Шер А.В. Млекопитающие и стратиграфия плейстоцена крайнего северо-востока СССР и Северной Америки. М., Наука, 1971, 310 с.
3. Sher A.V. Pleistocene mammals and stratigraphy of the Far Northeast USSR and North America; Intern. Geology Review 16 (7-10), 1974, 1-284.
4. Кузнецова Т.П. Особенности проявления криолитогенеза в плейстоцене Колымской низменности (на примере разреза Станчиковский Яр на р. М. Анюй) // Проблемы криолитологии, 1978, вып. VII, с. 7-28.
5. Каплина Т.Н., Лахтина О.В., Рыбакова Н.О. История развития ландшафта и мерзлых толщ Колымской низменности по радиоуглеродным, криолитологическим и палинологическим данным (на примере разреза Станчиковский яр на р. Мал. Анюй) // Геохронология четвертичного периода. М., Наука, 1980, с. 243-253.
6. Каплина Т.Н. История мерзлых толщ Северной Якутии в позднем кайнозое // История развития многолетнемерзлых пород Евразии. М.: Наука. 1981, с. 153-181.
7. Михалев Д.В., Николаев В.И., Романенко Ф.А. Реконструкция условий формирования подземных льдов Колымской низменности в позднем плейстоцене – голоцене // Вестник Московского университета, серия география. 2012, №5, с. 35-42.
8. Николаев В.И., Михалев Д.В., Романенко Ф.А., Брилли М. Реконструкция условий формирования многолетнемерзлых пород Северо-Востока России по результатам изотопных исследований (на примере опорных разрезов Колымской низменности) // Лед и снег, 2010, № 4, с. 79-90.
9. Губин С.В., Занина О.Г. Изменение почвенного покрова в ходе формирования отложений ледового комплекса на Колымской низменности (Часть 1) // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 4, с. 48-56
10. Vasil'chuk Yu.K. Reconstruction of the palaeoclimate of the Late Pleistocene and Holocene of the basis of isotope studies of subsurface ice and waters of the permafrost zone // Water Resources, 1991, vol. 17, № 6, p. 640-647.
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта четвертичных образований. М-6 1:1 000 000. Лист R-(55)-57 (Нижнеколымск). СПб., ВСЕГЕИ, 2000.
12. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта четвертичных образований. М-6 1:1 000 000. Лист R-(55)-57 (Нижнеколымск). Объяснит. зап. СПб., ВСЕГЕИ, 2000, 163 с.

References (transliterated)

1. Konstantinova G.S. O poligonal'no-zhil'nykh l'dakh na Anyuisko-Kolymskoi ravnine // Podzemnyi led. 1965. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, c.104-111.
2. Sher A.V. Mlekoпитayushchie i stratigrafiya pleistotsena krainego severo-vostoka SSSR i Severnoi Ameriki. M., Nauka, 1971, 310 s.
3. Sher A.V. Pleistocene mammals and stratigraphy of the Far Northeast USSR and North America; Intern. Geology Review 16 (7-10), 1974, 1-284.
4. Kuznetsova T.P. Osobennosti proyavleniya kriolitogeneza v pleistotsene Kolymskoi nizmennosti (na primere razreza Stanchikovskii Yar na r. M. Anyui) // Problemy kriolitologii, 1978, vyp. VII, s. 7-28.
5. Kaplina T.N., Lakhtina O.V., Rybakova N.O. Istoriya razvitiya landshafta i merzlykh tolshch Kolymskoi nizmennosti po radiouglerodnym, kriolitologicheskim i palinologicheskim dannym (na primere razreza Stanchikovskii yar na r. Mal. Anyui) // Geokhronologiya chetvertichnogo perioda. M., Nauka, 1980, s. 243-253.
6. Kaplina T.N. Istoriya merzlykh tolshch Severnoi Yakutii v pozdnem kainozoe // Istoriya razvitiya mnogoletnemerzlykh porod Evrazii. M.: Nauka. 1981, s. 153-181.
7. Mikhalev D.V., Nikolaev V.I., Romanenko F.A. Rekonstruktsiya uslovii formirovaniya

- podzemnykh l'dov Kolymskoi nizmennosti v pozdnem pleistotsene – golotsene // Vestnik Moskovskogo universiteta, seriya geografiya. 2012, №5, s. 35–42.
8. Nikolaev V.I., Mikhalev D.V., Romanenko F.A., Brilli M. Rekonstruktsiya uslovii formirovaniya mnogoletnemerzlykh porod Severo-Vostoka Rossii po rezul'tatam izotopnykh issledovaniy (na primere opornykh razrezov Kolymskoi nizmennosti) // Led i sneg, 2010, № 4, s. 79–90.
 9. Gubin S.V., Zanina O.G. Izmenenie pochvennogo pokrova v khode formirovaniya otlozhenii ledovogo kompleksa na Kolymskoi nizmennosti (Chast' 1) // Kriosfera Zemli, 2013, t. XVII, № 4, s. 48–56
 10. Vasil'chuk Yu.K. Reconstruction of the palaeoclimate of the Late Pleistocene and Holocene of the basis of isotope studies of subsurface ice and waters of the permafrost zone // Water Resources, 1991, vol. 17, № 6, p. 640–647.
 11. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Karta chetvertichnykh obrazovaniy. M-b 1:1 000 000. List R-(55)-57 (Nizhnekolymsk). SPb., VSEGEI, 2000.
 12. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Karta chetvertichnykh obrazovaniy. M-b 1:1 000 000. List R-(55)-57 (Nizhnekolymsk). Ob'yasnit. zap. SPb., VSEGEI, 2000, 163 s.