

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

УДК 551.345: 551.345.3: 551.89: 902.66

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(3-14)

СИНГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫЕ ЛЬДЫ
И ВОЗРАСТ СКЛОНОВОЙ ЕДОМЫ В ПРЕДГОРЬЕ ХРЕБТА КУЛАР

Ю.К. Васильчук, А.К. Васильчук

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический и геологический ф-ты,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия; vasilch_geo@mail.ru
Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Володарского, 6, Россия

Рассмотрены особенности строения и состава позднеплейстоценовых повторно-жильных льдов в обнажении ледового комплекса на пологом склоне хребта Кулар в западной части Яно-Индибирской низменности. Установлен возраст ледяных жил, которые формировались 47–42 и 37–32 тысяч лет назад. В течение этого времени дважды фиксируются относительно высокие температуры вегетационного периода, которые повышались настолько, что были достаточны для произрастания деревьев. Относительно теплый летний сезон способствовал активизации склоновых процессов и накоплению склоновых едомных толщ.

Повторно-жильные льды, поздний неоплейстоцен, многолетнемерзлые породы, едома, радиоуглеродный возраст, хребет Кулар, Северная Якутия

SYNGENETIC ICE WEDGES AND AGE OF SLOPE YEDOMA DEPOSITS
ON THE FOOTHILL OF THE KULAR RIDGE

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

Lomonosov Moscow State University, Faculties of Geography and Geology,
1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia; vasilch_geo@mail.ru
Tyumen State University, 6, Volodarskogo str., Tyumen, 625003, Russia

The structure and composition of Late Pleistocene ice wedges in the ice complex outcropping onto gently sloping Kular ridge in the western Yana-Indigirka lowland are considered. Ice wedges are dated 47–42 and 37–32 kyr BP. Over this time, relatively high temperatures of the growing season were recorded twice. Their rise appeared to be sufficient for the growth of trees, while a relatively warm summer season activated slope processes and accumulation of slope yedoma deposits.

Ice wedges, Late Pleistocene, permafrost, yedoma, radiocarbon dating, Kular ridge, Northern Yakutia

ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящей работы – исследование особенностей строения едомных толщ и повторно-жильных льдов (ПЖЛ) в районе хр. Кулар, а также определение их радиоуглеродного возраста. В российской научной литературе термин “едома” имеет несколько значений: геоморфологическая форма, едомная свита – стратиграфическое подразделение и особый тип сингенетических сильнольдистых отложений с повторно-жильными льдами [Sher, 1997]. В зарубежной литературе принят термин “yedoma”, обозначающий именно сильнольдистые отложения с сингенетическими повторно-жильными льдами [Schirrmeister et al., 2013]. Авторы используют термин “едома” в соответствии с определением Ю.К. Васильчука: едома – это сингенетические сильнольдистые (содержащие более 50–90 % льда), как правило, богатые органическим материалом (содержащие более 1–2 % органики), иловатые и пылеватые супесчаные и мелкопесчаные позднеплейстоценовые отложения, которые вмещают мощные (высотой

до 15–20 м и более, шириной 1.0–3.5 м), нередко многоярусные, сингенетические повторно-жильные льды. В межгорных котловинах и на склонах едомные толщи могут быть насыщены дрсевой и щебнем, а в долинах и дельтах рек едомные толщи могут содержать гравий и галечник [Васильчук, 1992]. Возраст едомных толщ варьирует от 11.7 до 50 калиброванных (кал.) тысяч лет и старше. Эти отложения, как правило, издают специфический запах “старой конюшни” из-за разлагающейся органики.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ
В РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Географическое положение

Исследованный разрез едомного полигонально-жильного комплекса расположен в предгорьях хр. Кулар вблизи заброшенного поселка Кулар (70°38'02" с.ш., 134°19'57" в.д.), на склоне южной экспозиции долины р. Бургуат, относящейся к

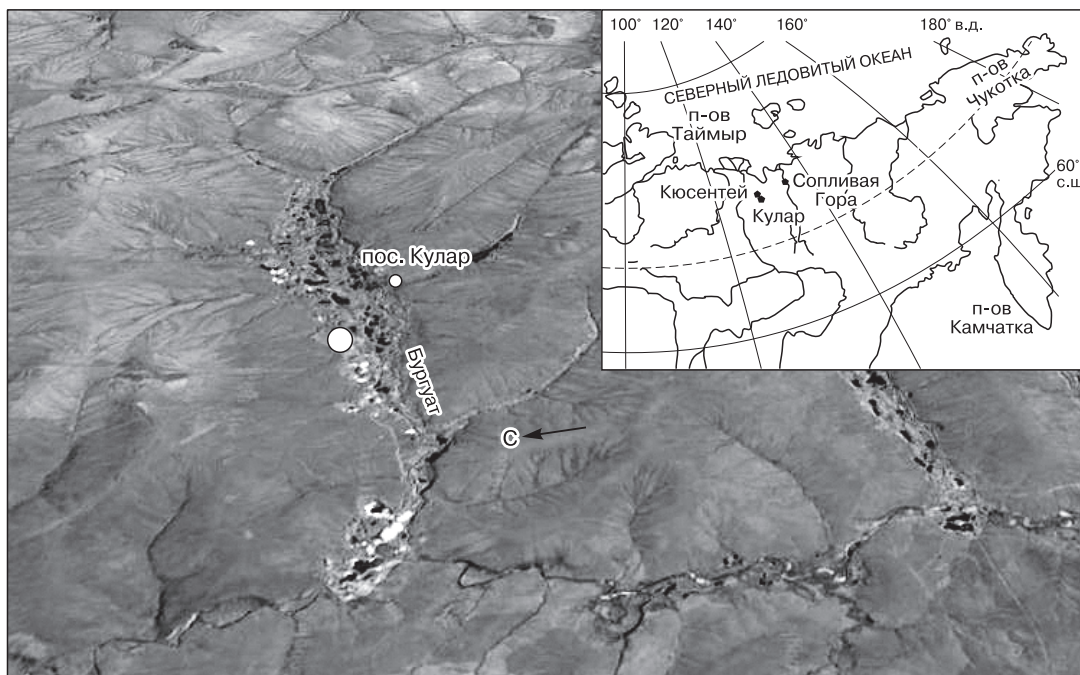


Рис. 1. Расположение разреза едомной толщи у пос. Кулар.

бассейну р. Омолой (рис. 1). Куларский золотосносный район, в пределах которого расположен объект исследования, в тектоническом плане находится на континентальном продолжении системы рифтов [Константинов и др., 2013]. Тектоническая активность, связанная с рифтом, обусловила интенсивность склоновых процессов в регионе.

Климат, рельеф и поверхностные воды

Согласно климатическому районированию [Алисов, 1956], территория исследований находится в континентальной области арктического пояса. По данным ближайшей метеостанции Казачье, средняя январская температура воздуха ($t_{я}$) за последние 20–30 лет колебалась от -36 до -39 °С, средняя температура июля – от $+4$ до $+11$ °С, а средняя годовая температура составляет около -14 °С. Количество осадков составляет 200–250 мм/год, при этом зимой выпадает около 50 мм осадков, летом – от 50 до 200 мм [http://ru.Climate-Data.org]. Отметим, что изученные авторами элементарные жилки на пойме, данные по которым являются основой для палеотемпературной интерпретации изотопного состава повторно-жильных льдов, сформировались в последние 100 лет [Vasil'chuk, 1991], поэтому важно привести также имеющиеся данные на метеостанции Казачье по более раннему периоду с 1930 по 1966 г.: $t_{я}$ составляла от -39 до -37.4 °С [Справочник..., 1966].

Аккумулятивный рельеф представлен в основном поверхностями склонового накопления, которые окружают водоразделы и наложены на

речные террасы. Для долин рек Бургуат и Кучугуй-Кюэюлюр, ширина которых достигает в искусственных расширениях 1.5 км, характерен ящикообразный асимметричный поперечный профиль с крутыми склонами, в верховьях сменяющийся на V-образный. Согласно Г.Ф. Гравису [1969], подробно описывавшему рельеф региона, в асимметричных долинах различаются три основных элемента рельефа: 1) днище, которое включает русло, пойму и иногда одну надпойменную террасу; 2) террасовал – пологую площадку, чаще всего расположенную у подножия склона южной или западной экспозиции; 3) склоны долины, сложенные коренными породами, перекрытыми маломощными рыхлыми отложениями. В верховьях мелких речек пойма и постоянное русло отсутствуют, а асимметрия склонов не выражена. Ниже по течению реки они постепенно переходят в неглубокие, но довольно широкие ложбины с задернованными стенками и днищем. В узком русле образуются мелкие излучины, внутри которых формируются небольшие сегменты поймы. Разрозненные сегменты поймы постепенно сливаются в единую террасу шириной до 100 м и более. Поверхность ее часто заболочена, на ней встречаются мелкие старичные озера. Рельеф такого типа хорошо выражен в окрестностях пос. Кулар. Террасовалы часто расчленены притоками главной реки. Напротив устьев притоков на пойме образуются обширные плоские конусы выноса, которые перегораживают все днище и оттесняют главную реку к противоположному склону.

В начале позднего неоплейстоцена рельефообразование происходило в основном за счет снижения местного базиса эрозии (рек Яна и Омолой) на фоне общего воздымания Куларского свода [Соловьев и др., 2003], следовательно, склоновые процессы играли значительную роль в осадконакоплении.

Геокриологические условия

По данным ВСЕГИНГЕО, в районе пос. Кулар мощность толщ многолетнемерзлых пород ме-

няется от 90 м в долине р. Бургуат до ~300 м на вершинных поверхностях. Среднегодовая температура многолетнемерзлых пород составляет здесь от -6 до -8 °С. Распространены процессы морозобойного растрескивания, криогенного выветривания, а также курумообразование и термокарст. Отложения, содержащие ПЖЛ, встречаются на склонах (чаще в разрезах террасоувалов) и в долинах рек. Склоновые отложения представлены буровато-серыми пылеватыми супесями и суглинками с отдельными включениями щебня, сланцев, железненными, с обилием органических остатков. Мощность отложений в средних и нижних частях склонов может достигать 10–15 м и более.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ РАЙОНА

Криолитологическое строение отложений в предгорьях хр. Кулар подробно изучалось в разрезах шахт, скважин, шурфов и карьеров в разные годы [Кузнецова, 1967; Венцкевич и др., 1969; Гравис, 1969; Конищев, 1981; Васильчук, 1990; Каневский, 2004]. Были отмечены интересные особенности, которые редко встречаются в других районах развития многолетнемерзлых пород. Подробно исследовано строение повторно-жильных льдов и псевдоморфоз в галечниково-глыбово-щебенистом горизонте, что само по себе нечасто встречающееся явление. В частности, Т.П. Кузнецова [1967] описала строение отложений с мощными повторно-жильными льдами, которые были вскрыты наклонным стволом шахты протяженностью около 50 м в долине р. Бургуат. По результатам изучения ПЖЛ, залегающих в галечниках с щебнем в шахтах Кулара, было установлено [Венцкевич и др., 1969], что нередко жилы

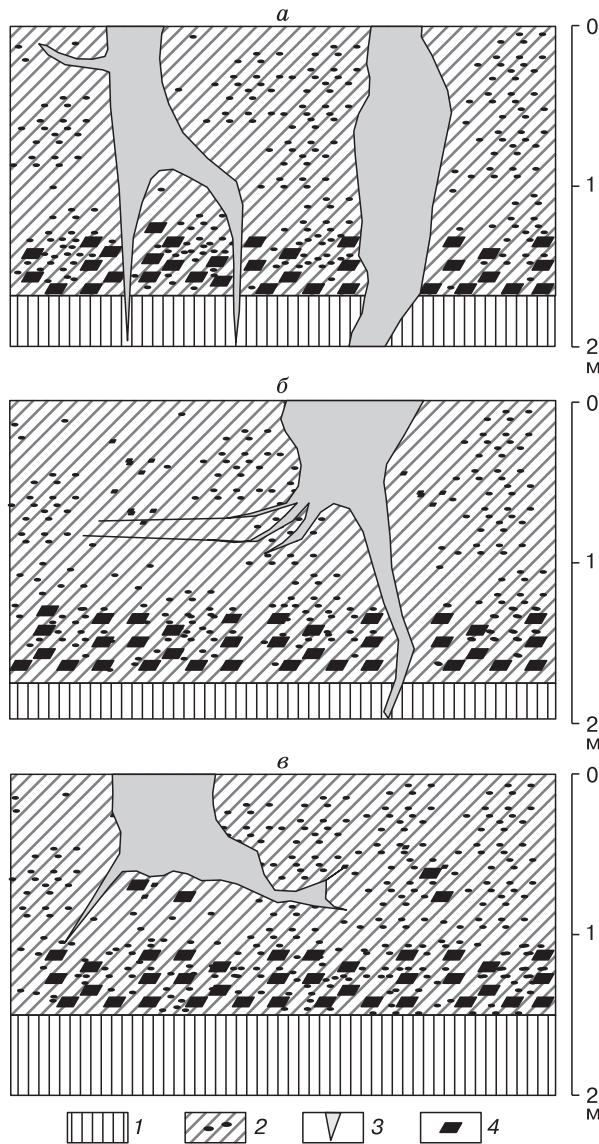


Рис. 2. Полевые зарисовки формы “хвостов” повторно-жильных льдов в шахте в толще куларской едомы, пересеченных разрезом вкрест простирацию (по: [Венцкевич и др., 1969], с упрощением).

1 – элювий коренных пород; 2 – галечник с супесчано-суглинистым заполнителем; 3 – повторно-жильный лед; 4 – щебень.

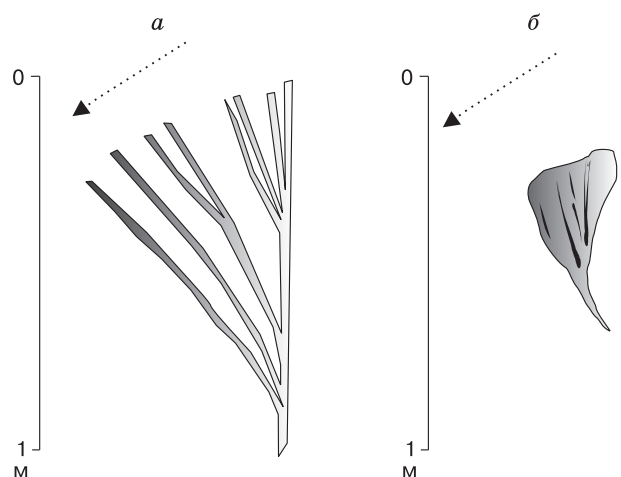


Рис. 3. Повторно-жильные льды, сформировавшиеся в склоновых отложениях (по: [Гравис, 1969], с дополнением):

а – веерные, б – асимметричные; стрелкой показано направление смещения материала.

рассекают золотоносные отложения до плотика (рис. 2, а, б). В других случаях они не достигают подошвы коренных отложений (см. рис. 2, в), но во многих случаях имеют необычную форму.

Г.Ф. Гравис [1969], который в течение четырех лет изучал криолитологическое строение предгорий Кулара не только в шахтах, но и в многочисленных шурфах, пройденных в зимнее время, выделил признаки склонового формирования ПЖЛ и солифлюкционного происхождения толщи. Он

установил, что в зависимости от скорости движения массы грунта элементарные жилки могут располагаться в виде веера при высокой скорости смещения (рис. 3, а). Если же скорость невелика, то элементарные жилки не разделяются, но ледяная жила становится асимметричной (см. рис. 3, б).

В долине р. Кюсентей, в 40 км к северо-востоку от пос. Кулар, Г.Ф. Грависом описано пять ярусов ПЖЛ (рис. 4). При этом количество ярусов ПЖЛ варьировало даже в пределах одного

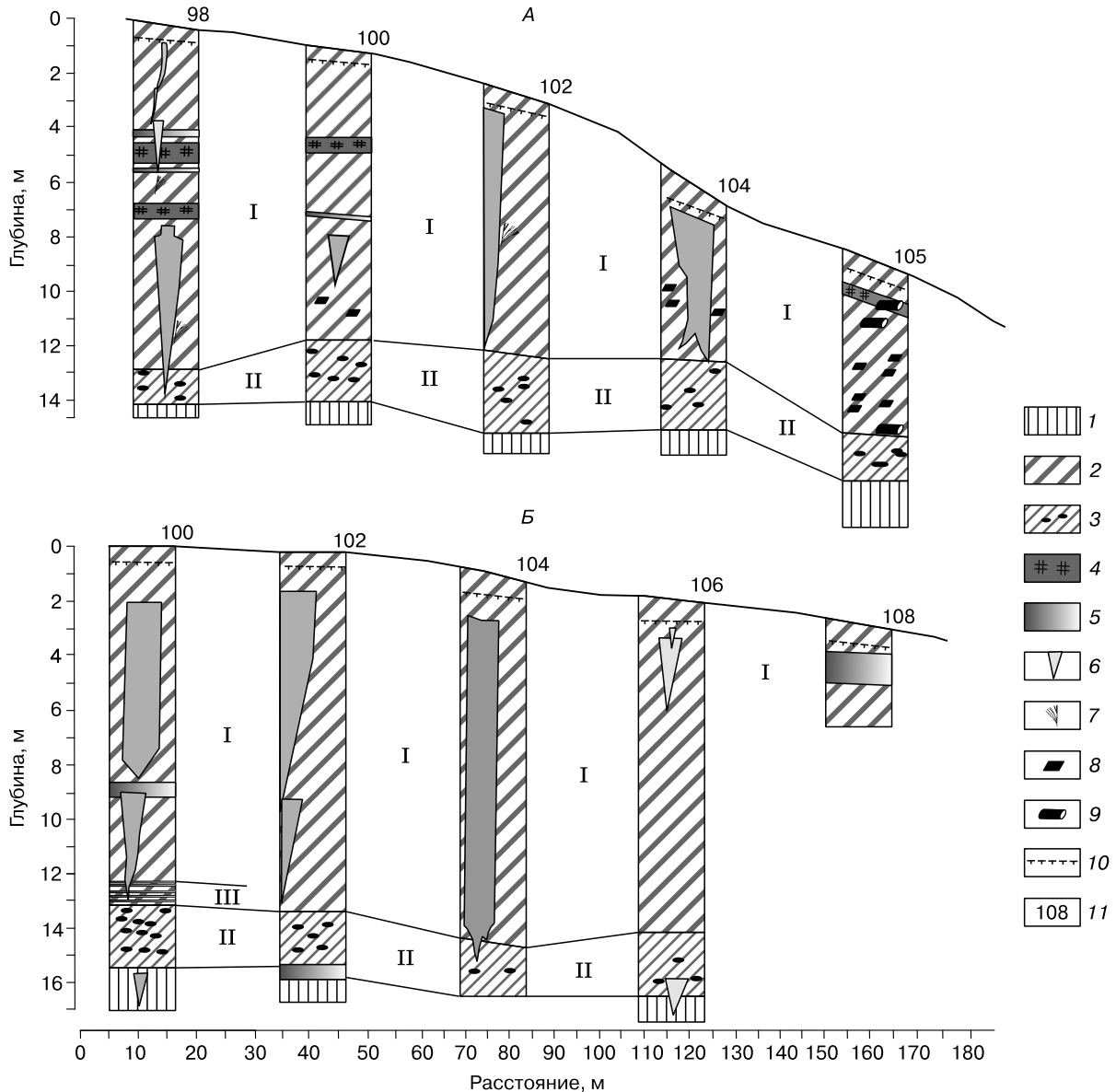


Рис. 4. Криолитологическое строение отложений склона долины р. Кюсентей в 40 км к северо-востоку от пос. Кулар (по: [Гравис, 1969], с упрощением).

А – разрезы шурфов по линии 138; Б – разрезы шурфов по линии 157.

I – делювиально-солифлюкционные отложения; II – русловый аллювий; III – пойменный аллювий; 1 – элювий коренных пород; 2 – суглинок пылеватый, мерзлый с тонколинзовидной, косослоистой и горизонтально-слоистой криотекстурой; 3 – галечник с супесчано-суглинистым заполнителем, мерзлый с преимущественно корковой криотекстурой; 4 – торф мерзлый с прерывистой слоисто-сетчатой криотекстурой; 5 – ледяная линза; 6 – повторно-жилный лед; 7 – веерные ледяные жилы; 8 – щебень; 9 – погребенные ветки крупных кустарников; 10 – подошва сезонноталого слоя; 11 – номера шурфов.

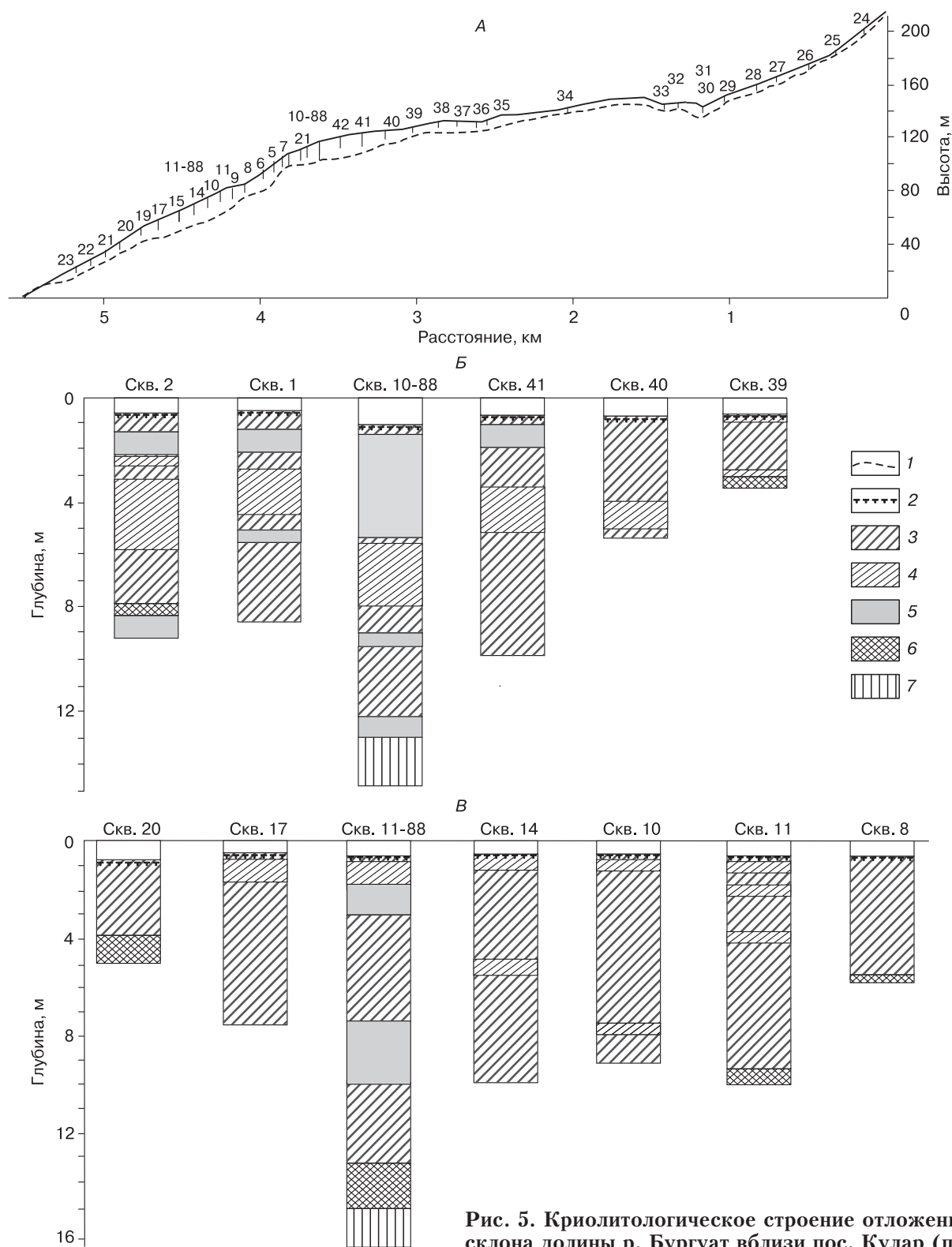


Рис. 5. Криолитологическое строение отложений склона долины р. Бургуат вблизи пос. Кулар (по: [Каневский, 2004], с упрощением).

А – схема расположения скважин; Б – разрезы скважин средней части склона; В – разрезы скважин нижней части склона. 1 – подошва склоновых отложений; 2 – подошва сезонноталого слоя; 3 – супесь серая, мерзлая с микро- и скрытошлировой частослойной криотекстурой; 4 – супесь серая, мерзлая с атакситовой и сетчатой криотекстурой; 5 – повторно-жильный лед; 6 – древесново-щебнистые отложения; 7 – элювий коренных пород.

склона, что отражает изменчивость условий накопления отложений, характерную для склонов. В основании склонов Г.Ф. Гравис выделил фации руслового и пойменного аллювия. Анализ разрезов позволил ему сделать вывод о том, что максимальное заполнение древней долины р. Кюсентей происходило в период накопления русловых и пойменных отложений, а также нижней части супесчано-суглинистых отложений. Затем произошел врез, и дальнейшее осадконакопление было связано в основном с крутыми склонами, возникшими в результате вреза.

Криолитологическое строение делювиально-солифлюкционных склоновых отложений долины р. Бургуат было исследовано М.З. Каневским [2004]. На склоне было пробурено в общей сложности около 40 скважин (рис. 5, А). В этой толще выделяются по меньшей мере две генерации повторно-жильных льдов. Мощность склоновых отложений варьирует от 3 до 20 м. Основная часть толщи склоновых отложений представлена серой супесью с микро- и скрытошлировой частослоистой криотекстурой, на разных глубинах в толще отмечаются сильнольдистые прослои той же супеси с атакситовой или сетчатой криотекстурой, мощностью от 0.1 до 3 м (см. рис. 5, Б, В). Сум-

марная влажность этих прослоев составляет 150–200 %. Эти отложения, по М.З. Каневскому, характеризуются исключительно высокой льдистостью, сравнительно небольшой мощностью и отсутствием четкой ритмичности в строении. М.З. Каневским описаны сингенетические ПЖЛ в субгоризонтальном залегании, ориентированные перпендикулярно падению склона [Kanevskiy, 2003]. М.З. Каневский [2004] показал, что отложения ледового комплекса и склоновые делювиально-солифлюкционные отложения в районе Кулара по составу практически неразличимы. Как правило, ледовый комплекс слагает террасовалы, а делювиально-солифлюкционные отложения – склоны водоразделов, у подножия которых нередко развиты террасовалы. Установлено, что в данном районе ПЖЛ залегают в несколько ярусов, отличаются разнообразием форм, а сами едомные толщи имеют сложное строение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ИХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЛАРСКОЙ ЕДОМЫ

Строение и состав едомной толщи

В детально изученном авторами фрагменте обнажения на пологом склоне южной экспозиции долины р. Бургуат, в 0.5 км к западу от устья руч. Эмись, толща с ПЖЛ располагается в виде террасовала протяженностью по склону более 1 км и уклоном поверхности 4–5°. Абсолютные отметки подошвы едомы колеблются от 95 м у ручья до 110–120 м в верхней части склона, а кровли – от 105 до 140 м.

Примерная мощность едомной толщи в описываемом фрагменте обнажения составляет 22 м, но может достигать 28 м. Строение одного из наиболее характерных участков террасовала, описанного авторами, вскрывается в карьере в средней части склона (рис. 6, а, 7). В основании террасовала обнажаются коренные скальные породы, перекрытые щебнистым элювием мощностью до 1 м. Выше залегает слой мелкого черного песка с косою слоистостью, включениями гравия и слабоокатанной гальки, имеющий мощность от 0.5 до 2–3 м. По всем признакам песок имеет аллювиальное происхождение и относится к русловой фации. На контакте с перекрывающей песок серой супесью авторы наблюдали пласт голубовато-серого сегрегационного льда с включениями мелкой гальки, мощностью до 1.5 м. Едомная толща сложена серой супесью и пылеватым суглинком с мощными линзами торфа и отдельными прослоями органического материала. Как правило, прослои торфа изогнуты и разорваны, что присуще солифлюкционным отложениям. Нечеткие, прерывистые ледяные включения и асимметричные



Рис. 6. Повторно-жильные льды в обнажении едомы у пос. Кулар.

а – общий вид карьера (на заднем плане в вертикальной стенке – повторно-жильные льды); б – вертикально-полосчатая сингенетическая ледяная жила (слева) и мощный торфяник. Фото Ю.К. Васильчука.

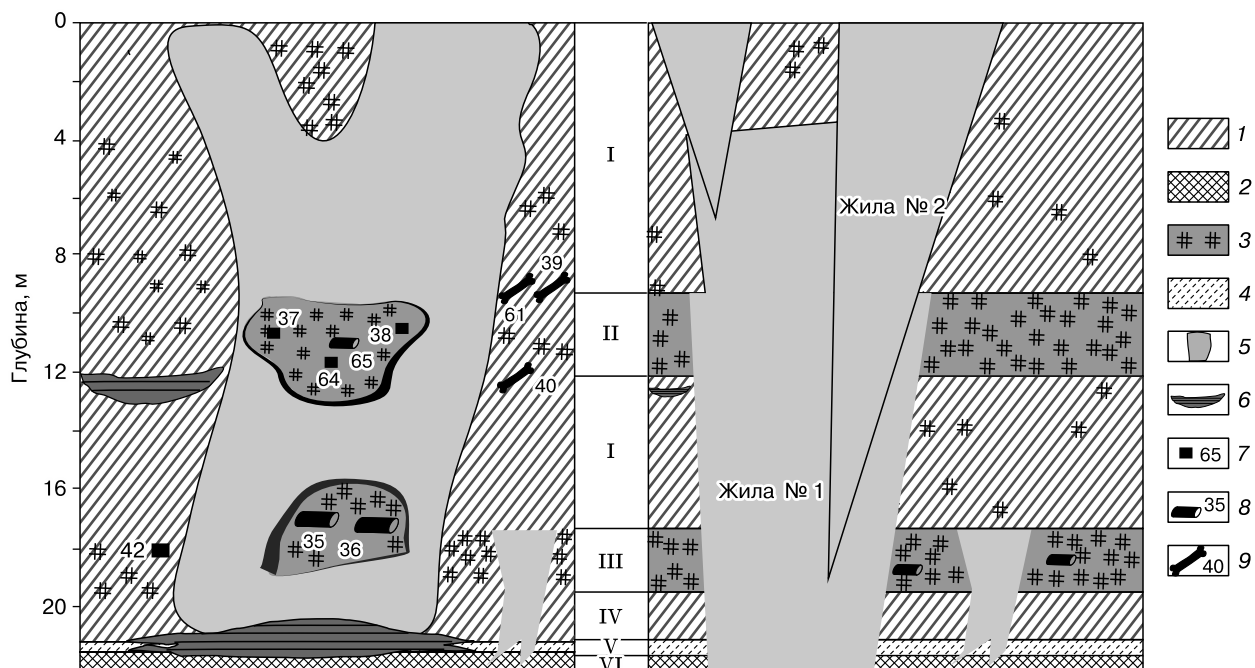


Рис. 7. Схема отбора образцов и строение разреза в обнажении едомы вблизи пос. Кулар.

I – солифлюкционно-делювиальные отложения; II – озерно-болотные отложения; III – аллювиальные и делювиальные отложения; IV – делювиальные отложения; V – аллювий; VI – элювий. 1 – супесь серая, мерзлая, оторфованная со средне-слоистой, средне- и тонкошлировой криотекстурой; 2 – древесно-щебнистые отложения; 3 – торф мерзлый с косослоистыми, решетчатыми и плетенчатыми криотекстурами; 4 – песок черный, мелкий, мерзлый; 5 – лед повторно-жильный; 6 – лед пластовый сегрегационный. Точки отбора образцов (см. таблицу): 7 – торфа на ^{14}C ; 8 – древесины на ^{14}C ; 9 – кости на ^{14}C .

ледяные жилы, отмеченные в разрезе, согласно Г.Ф. Гравису [1969], также являются признаком солифлюкционного происхождения толщи.

В разрезе встречаются как мощные сингенетические ПЖЛ, пронизывающие всю толщу, так и многоярусные ПЖЛ (см. рис. 6). Головы многоярусных жил залегают на разных глубинах: 0.7–1.0, 4–5, 8.5–10, 15–17 м. Всего прослеживается три-четыре яруса ПЖЛ. Ширина жил достигает 3.5 м, лед коричневатого-серого цвета с примесью торфа и супеси. Расстояние между ПЖЛ составляет 13–15 м. Хвосты жил залегают на разной глубине, часть пересекает элювий, часть расположена на высоте 3–5 м от подошвы едомой толщи. Ледяные жилы изогнуты, оси жил нередко смещены от вертикали на 1.0–1.2 м. Прослеживается различие между жилами, направленными вдоль и поперек склона. Расположенные вдоль склона ПЖЛ симметричны, залегают субвертикально, достигают в ширину 3.0–3.5 м. Расположенные перпендикулярно падению склона ПЖЛ, как правило, асимметричны, значительно уже, их ширина в верхней части 1.5–2.0 м, залегание наклонное вплоть до субгоризонтального. Вмещающие породы на контакте с жилами деформированы, деформации прослеживаются в виде изогнутых вверх шпиров сегрегационного льда. Криогенная структура сред-

неслоистая, средне- и тонкошлировая, иногда поясковая. В местах перекрытия супеси линзами торфа толщина ледяных шпиров в супеси уменьшается с 2–3 до 0.05 см, криотекстура торфа – микрошлировая частослоистая. В целом разрез представлен трехкратным переслаиванием пачек супесей и линз торфа. Суммарная влажность отложений в среднем составляет 70–100 %.

На глубинах 17–12 м криотекстура супеси – горизонтально-слоистая (шлиры толщиной до 3 см), осложненная вертикальными шлирами толщиной 0.1 см. В интервале глубин 10.0–4.5 м криотекстура супеси горизонтально-слоистая (шлиры толщиной 2 см), между шлирами – микрошлировая. В интервале 4.5–0 м супесь серая, малольдистая, криотекстура редкослоистая, средне- и тонкошлировая.

Одна из ледяных жил в основании едомы вклинивается в элювий коренных пород, представленный щебнем, и, изгибаясь, меняет направление. На наш взгляд, столь необычная форма ледяной жилы связана с тем, что обломочный материал элювия создавал препятствия для морозобойных трещин. Это приводило к изменению направления растрескивания, поэтому повторно-жильные льды в щебнистом элювии имеют своеобразную изогнутую форму. Отметим, что в горных котловинах

Радиоуглеродные датировки органического материала из едомных отложений в разрезе Кулар

Полевой номер	Глубина, м	Вид датированной органики	¹⁴ C-возраст, лет	Лабораторный индекс	Калибр. возраст, кал. лет назад
340-YuV/39	9.0	Кость	37 700 ± 600	ГИН-4981	43 457–40 570
340-YuV/61	9.0	Кость лошади	38 700 ± 1000	ГИН-4965	45 896–40 660
340-YuV/38	11.0	гП, торф	Более 36 900	ГИН-4980	–
340-YuV/38	11.0	Торф	Более 23 800	ГИН-4980	–
340-YuV/64	11.2	гП, торф	33 300 ± 1100	ГИН-4987	41 799–34 597
340-YuV/65	11.2	Веточки	42 400 ± 1000	ГИН-4982	49 630–43 435
340-YuV/37	11.5	Торф	35 700 ± 1500	ГИН-4979	45 935–35 911
340-YuV/40	12.0	Кость, череп	40 500 ± 1200	ГИН-4964	48 864–41 890
340-YuV/35	17.6	Древесина	41 100 ± 800	ГИН-4977	47 244–42 769
340-YuV/36	17.8	Древесина	Более 43 700	ГИН-4978	–
340-YuV/42	18.0	Торф	Более 40 000	ГИН-4983	–

Примечание. гП – горячая щелочная вытяжка.

верховий Колымы авторами [Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1998] зафиксированы сингенетические ледяные жилы, полностью залегающие в щебнистых отложениях с незначительной примесью супесчаного заполнителя, в этом случае ПЖЛ имели обычную форму.

На интервалах глубин 10–12 м залегают линзы чистого автохтонного торфа (этот торфяник едва ли не самый выразительный из всех, встреченных авторами в едомных толщах Сибири). В нем отмечено скопление среднеразложившихся веточек кустарников, корешков, стеблей трав и мхов в первичном залегании, что предполагает автохтонное происхождение торфа. Линза торфа характеризуется кослоистыми, решетчатыми и плетенчатыми криотекстурами, что свидетельствует о парасингенезе (по Е.М. Катасонову), когда всестороннее промерзание (сбоку, снизу и сверху) происходит сразу после осадконакопления. В периферической части торфяной линзы найдены кости лошади, мамонта и бизона. Очевидно, что такая мощная толща торфа могла накопиться в условиях озеро-болотных ландшафтов.

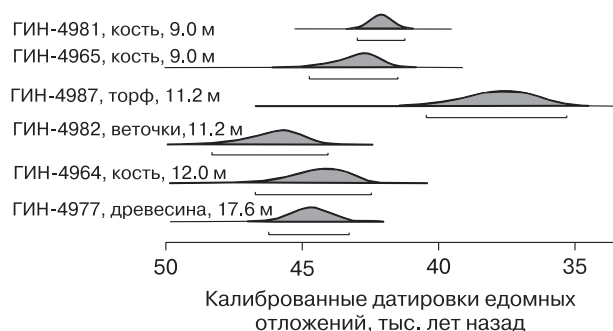


Рис. 8. Временные интервалы накопления едомных отложений вблизи пос. Кулар согласно ¹⁴C-датировкам костей, торфа и древесины.

Откалибровано по: [Bronk, 2009; Reimer et al., 2013].

В нижней части разреза, в интервале 19–17 м, в сильноотгорфованной супеси встречены обломки стволов березы и лиственницы. Признаки автохтонности отсутствуют, растительные остатки неоднородны и расположены хаотично.

Поскольку ось ледяных жил смещалась в процессе накопления едомной толщи в результате склоновых процессов, ледяные жилы смещены друг относительно друга на 1.2–1.5 м (см. рис. 7), т. е. они аналогичны описанному Г.Ф. Грависом [1969] в долине р. Кюсентей (см. рис. 4).

Радиоуглеродное датирование

Радиоуглеродное датирование выполнялось в Геологическом институте РАН, при участии Л.Д. Сулержицкого. Статистические параметры получены в результате обработки данных в программе STATISTICA 10. Получены серии датировок по чистому, практически без минеральных включений, торфу, по древесине веточек, а также по костным остаткам (см. таблицу; рис. 7). Калибровка ¹⁴C-датировок проведена с использованием калибровочной программы Oxcal [Bronk, 2009], версия 4.3, на основе массива калибровочных данных IntCal13 [Reimer et al., 2013].

Датировки древесины и торфа в нижней торфяной линзе на глубине 17.8–18.0 м оказываются за пределами радиоуглеродного метода, но на глубине 17.6 м ствол лиственницы датирован в интервале 47 244–42 769 кал. лет (рис. 8). Надежно датирована только нижняя часть разреза едомы (нижние 10 метров), где содержится большое количество разнообразного органического материала. Датировки по древесине, костному материалу и чистому торфу не противоречат друг другу, с учетом склонового характера отложений: осадки, сформировавшиеся одновременно в условиях склонового осадконакопления, могут находиться в разных частях склона.

История накопления едомной толщи

Согласно результатам датирования (см. рис. 7, 8), начало накопления едомных отложений в изученном разрезе относится к периоду около 47(50) тыс. кал. лет.

Древесина на глубине 17.6 м имеет возраст около 47 тыс. кал. лет, а торф на глубине 11.2 м – около 37 тыс. кал. лет, т. е. прирост едомных отложений происходил со скоростью около 0.7 м за 1 тыс. лет (оценка эта весьма приблизительная, так как во время накопления толщи режим седиментации существенно менялся). Эту скорость вертикального прироста ПЖЛ и вмещающих отложений авторы приняли постоянной для куларской едомы. Можно предположить, что верхние 11 метров вмещающих отложений накапливались не менее 10–17 тыс. лет. Судя по тому, что крупные сингенетические жилы начали формироваться в процессе завершения накопления торфа и затем супесчаносуглинистых отложений, период их формирования можно отнести приблизительно к интервалу 37–25 тыс. кал. лет назад. Следовательно, накопление едомных отложений завершилось не ранее 25(22) тыс. кал. лет назад, а возможно, и позднее, так как самая верхняя пачка не датирована.

Скорее всего, около 47 тыс. кал. лет назад началось интенсивное накопление торфа, которое вызвало активный синхронный рост повторно-жильных льдов, часто внедрявшихся в подстилающих элювий. Интенсивное заболачивание, вероятно, происходило внутри полигонального массива в понижении на поверхности. Понижение базиса эрозии 42–40 тыс. кал. лет назад привело к накоплению солифлюкционных супесей, которые перекрывают в разрезе нижний торфяник. Жилы в этот период, по-видимому, не росли, несмотря на суровые геохронологические условия периода формирования супеси. Около 37 тыс. кал. лет назад базис эрозии вновь повысился, что привело к накоплению мощного слоя торфа, возобновился активный рост повторно-жильных льдов. Мощность верхнего торфяника превышает 2 м, торф чистый, без минеральных включений, растительные остатки залегают *in situ*, торфяник, очевидно, сформировался автохтонно. Поздненеоплейстоценовые автохтонные торфяники такой мощности на севере криолитозоны авторам неизвестны. Налицо сочетание благоприятных факторов, обусловившее накопление торфа: достаточно высокие температуры вегетационного периода и оптимальное увлажнение. Вероятно, растрескивание происходило довольно часто и приводило к глубокому распространению трещин, что обеспечивало проникновение жил среднего яруса на глубину более 6–8 м. Хвосты многих вновь формирующихся жил среднего яруса достигали поверхности погребенных жил нижнего яруса, что способствовало формированию единого ледяного клина. Часть новых

жил не достигала погребенных, о чем говорит разновысотное положение их хвостов. Подобный процесс вновь повторился 33–27 тыс. кал. лет назад, когда накапливались супеси, а примерно 27 тыс. кал. лет назад начался интенсивный рост жил в ширину. Наиболее крупные жилы, формирующиеся в этот период, также внедрялись и сливались с ранее образовавшимся жильным комплексом, а более мелкие или расположенные несколько в стороне формировались самостоятельно.

Строение изученного разреза едомной толщи вблизи пос. Кулар и результаты проведенных исследований, а также его сопоставление со строением едомных толщ региона указывают на заметную активность делювиально-солифлюкционных процессов в формировании едомной толщи наряду с аллювиальными и озерно-болотными. Росли ПЖЛ вместе с накоплением отложений. Развитие отложений с повторно-жильными льдами изначально на базе русловых и пойменных фаций отложений, а позже с участием склоновых процессов характерно для всего региона. В строении разреза склона долины р. Кюсентей [Гравис, 1969] прослеживается определенное сходство с разрезом склоновых отложений Кулара. Так, прослой черного песка соответствует аллювию р. Бургуат, вышележащая толща оторфованной супеси со стволами деревьев сформирована, вероятно, с участием пойменного аллювия и делювиально-солифлюкционных отложений. Это, скорее всего, свидетельствует о том, что линза сформировалась в результате оползня склоновых отложений и их наложения на аллювиальные. Наличие древесной растительности в интервале 47 244–42 769 кал. лет назад отражает условия, когда довольно высокие температуры вегетационного периода, достаточные для произрастания деревьев, активизировали склоновые процессы, хотя в местах наличия древесной растительности склоновые процессы замедлялись. Таким образом, теплый летний сезон активизировал накопление склоновых едомных толщ. Древесная растительность в этот период появилась не только в районе хр. Кулар, но и севернее – на о. Котельный [Галанин и др., 2015; Васильчук и др., 2019; van Geel et al., 2017] и о. Бол. Ляховский [Wetterich et al., 2014]. Примерно в этом же интервале датированы и веточки кустарников: 49 630–43 435 кал. лет [van Geel et al., 2017]. Отметим, что подобные условия оптимума для МИС-3 для о. Большой Ляховский С. Веттерихом с соавт. [Wetterich et al., 2014] определены во временном интервале 48–38 тыс. кал. лет, а для дельты р. Лена – 40–32 тыс. кал. лет.

Помимо склоновых отложений в регионе, во время накопления отложений с ПЖЛ в Куларе сингенетически накапливались отложения едомы и в долинах рек. В разрезе Сопливая Гора, распо-

ложенном в 195 км от устья р. Яна, А.Э. Басилян с соавт. [2015] выделено 10 седиментационных циклов. Едомный комплекс формирует 40-метровую поверхность разреза Сопливая Гора и представляет собой толщу разнофациальных осадков с развитыми в них сингенетическими повторно-жильными льдами шириной 3–5 м и более. В толще прослеживается закономерное изменение литологического состава отложений вверх по разрезу. Выделенные А.Э. Басилян с соавт. [2015] седиментационные циклы завершаются горизонтами, обогащенными органикой, и фиксируются по изменению криогенных текстур: к ним приурочены уровни прекращения роста ПЖЛ, срезание поясковидных шпиров в результате понижения подошвы древнего сезонного слоя или размыва, происходящего при формировании перекрывающих отложений. В осадки, слагающие высокую 40-метровую поверхность, врезан аллювий второй речной террасы (отн. высота 16–18 м), вмещающий культурный слой Янской палеолитической стоянки возрастом 28.5–27.0 тыс. лет назад [Pitulko et al., 2004]. Отложения второй надпойменной террасы в нижнем течении р. Яна [Павлова и др., 2015] представлены синкриогенными осадками прирусловой и пойменной фаций аллювия с развитой сетью ПЖЛ двух генераций общей мощностью 14–16 м. Начало врезания [Басилян и др., 2015] и накопления едомных отложений отнесено приблизительно к 40 тыс. лет назад. ПЖЛ располагаются на уровне культурного слоя Янской стоянки на высоте 7.5–8.0 м над урезом реки.

Наиболее благоприятные условия вегетационного периода по палинологическим данным отмечены около 42 и 40–32 тыс. лет назад [Wetterich et al., 2008] на о. Курунгнах в дельте р. Лена, что соответствует датировке древесины лиственницы в разрезе куларской едомы 41 100 ± 800 лет (возрастной интервал 47 244–42 769 кал. лет). Отметим также, что благоприятные условия вегетационного периода, очевидно, привели к интенсификации солифлюкционных и делювиальных процессов, что обусловило повышенную мощность склоновых отложений, относящихся к этому периоду, а также к росту торфяников в регионе.

Приведенные описания подтверждают интенсивное формирование едомного комплекса на протяжении поздненеоплейстоценового криохрона не только на равнинах, но и в предгорьях. Сочетание в толщах комплексов ледяных жил и органического материала указывает как на возможность увеличения суровости зим, так и на некоторое улучшение условий вегетации в отдельные периоды поздненеоплейстоценового криохрона.

ВЫВОДЫ

- На склонах в районе хр. Кулар (чаще в разрезах террасоувалов) распространены поздне-

плейстоценовые многоярусные повторно-жильные льды в едомных толщах, которые накапливались с участием склонового материала.

- В течение позднего неоплейстоцена по крайней мере дважды фиксируются относительно высокие температуры вегетационного периода, которые были достаточны для существования древесных пород.

- Значительная мощность толщ склоновой едомы обусловлена большими скоростями накопления солифлюкционного материала, вероятно, из-за увеличения температур летнего сезона.

- Сингенетические повторно-жильные льды формировались преимущественно в течение двух периодов позднего неоплейстоцена – 47–42 и 37–32 тыс. кал. лет назад.

- Необычная форма ледяных жил в основании разреза связана с изменением направления растрескивания из-за включений обломочного материала.

- Для склоновых ПЖЛ в районе хр. Кулар характерно смещение осей ледяных жил относительно вертикали.

Авторы выражают благодарность Л.Д. Сулержицкому за помощь в радиоуглеродном датировании и д.г.-м.н. М.О. Лейбман за участие в полевых работах.

Анализ криолитологических и радиоуглеродных данных выполнен при поддержке РФФ (грант 19-17-00126), обобщение материалов исследований – при поддержке РФФИ (проект № 18-05-60272).

Литература

Алисов Б.П. Климат СССР. М., Изд-во Моск. ун-та, 1956, 547 с.

Басилян А.Э., Анисимов М.А., Дорожкина М.В. и др. Цикличность осадконакопления четвертичных отложений Яно-Индибирской низменности как следствие колебаний климата (опорный разрез Сопливая Гора/Яна–195 км) // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы IX Всерос. совещания по изучению четвертичного периода (Иркутск, 15–20 сент. 2015 г.). Иркутск, Изд-во ИГ СО РАН, 2015, с. 43–45.

Васьичук Ю.К. Изотопно-геохимическая характеристика позднеплейстоценового повторно-жильного комплекса Куларской котловины // Докл. АН СССР, 1990, т. 310, № 1, с. 154–157.

Васьичук Ю.К. Изотопно-кислородный состав повторно-жильных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций): В 2 т. М., ОТП РАН, МГУ, ПНИИИС, 1992, т. 1, 420 с.; т. 2, 264 с.

Васьичук Ю.К., Макеев В.М., Маслаков А.А. и др. Реконструкция поздненеоплейстоценовых и раннеголоценовых зимних температур воздуха на острове Котельный по изотопному составу повторно-жильных льдов // Криосфера Земли, 2019, т. XXIII, № 2, с. 13–28.

Венцкевич С.Д., Конищев В.Н., Соломатин В.И. Влияние криогенных факторов на распределение золота в россыпях

(на примере Куларского района) // Проблемы криолитологии / Под ред. А.И. Попова. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969, вып. 1, с. 50–62.

Галанин А.А., Дьячковский А.П., Лыткин В.М. и др. Результаты определения абсолютного возраста образцов в радиоуглеродной лаборатории ИМЗ СО РАН // Наука и образование, 2015, № 4, с. 45–49.

Гравис Г.Ф. Склоновые отложения Якутии (условия накопления и промерзания, криогенное строение). М., Наука, 1969, 128 с.

Каневский М.З. Закономерности формирования криогенного строения четвертичных отложений Северной Якутии: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2004, 23 с.

Конищев В.Н. Формирование состава дисперсных пород в криолитосфере. Новосибирск, Наука, 1981, 198 с.

Константинов М.М., Константиновский А.А., Наталенко М.В. Типизация золоторудных районов в терригенно-сланцевых поясах России // Регион. геология и металлогения, 2013, № 54, с. 75–88.

Кузнецова Т.П. Наблюдения за полигонально-жильными льдами в предгорьях Куларского хребта // Подземный лед / Под ред. А.И. Попова. М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, вып. 3, с. 94–101.

Павлова Е.Ю., Иванова В.В., Майер Х., Питулько В.В. Изотопный состав ископаемых льдов как индикатор палеоклиматических изменений на севере Новосибирских островов и западе Яно-Индигирской низменности // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы IX Всерос. совещания по изучению четвертичного периода (Иркутск, 15–20 сент. 2015 г.). Иркутск, Изд-во ИГ СО РАН, 2015, с. 349–351.

Соловьев М.Н., Федянин А.Н., Сорокина К.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200 000 (2-е изд.). Сер. Верхоянская. Лист R-53-XV, XVI–Кулар. Объясн. записка. Батагай, ГУ ГПП “Янгеология”, 2003, 177 с.

Справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР. Ч. 2. Температура воздуха и почвы. Л., Гидрометеиздат, 1966, 403 с.

Bronk R.C. Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon, 2009, vol. 51, iss. 1, p. 337–360.

Kanevskiy M. Cryogenic structure of mountain slope deposits, northeast Russia // Proc. of the Eight Intern. Conf. on Permafrost (21–25 July, 2003, Zurich, Switzerland). Lisse, A.A. Balkema Publishers, 2003, vol. 1, p. 513–518.

Pitulko V.V., Nikolsky P.A., Giryа E.Y. The Yana RHS site: humans in the Arctic before the Last Glaciation // Science, 2004, vol. 303, p. 52–56.

Reimer P.J., Bard E., Bayliss A. et al. IntCal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50 000 years cal BP // Radiocarbon, 2013, vol. 55, p. 1869–1887.

Schirmermeister L., Froese D., Tumskoy V., Grosse G., Wetterich S. Yedoma: Late Pleistocene ice-rich syngenetic permafrost of Beringia // Encyclopedia of Quaternary Science: 2nd ed. / Elias S.A., Mock C.J. (Eds.). Amsterdam, Elsevier, 2013, vol. 2, p. 542–552.

Sher A.V. Yedoma as a store of paleoenvironmental records in Beringida // Elias S. and Brigham-Grette J. (Eds.). Beringia Paleoenvon. Workshop, 1997, p. 92–94.

van Geel B., Protopopov A., Protopopova V. et al. Larix during the Mid-leniglacial (Greenland Interstadial 8) on Kotelnny Island, Northern Siberia // Boreas, 2017, vol. 46, p. 338–345.

Vasil'chuk Yu.K. Reconstruction of the paleoclimate of the Late Pleistocene and Holocene on the basis of isotope studies of subsurface ice and waters of the permafrost zone // Water Resources. Publ. by Consultants Bureau. New York, 1991, vol. 17, No. 6, p. 640–647.

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

Wetterich S., Kuzmina S., Andreev A.A. Palaeoenvironmental dynamics inferred from Late Quaternary permafrost deposits on Kurungnakh Island, Lena Delta, Northeast Siberia, Russia // Quatern. Science Rev., 2008, vol. 27, iss. 15–16, p. 1523–1540.

Wetterich S., Tumskoy V., Rudaya N. et al. Ice Complex formation in arctic East Siberia during the MIS3 Interstadial // Quatern. Science Rev., 2014, vol. 84, p. 39–55.

URL: <http://ru.climate-data.org/> азия/россииская-федерация/республика-саха-якутия/Казачье/ (дата обращения: 13.02.2019).

References

Alisov B.P. Klimat SSSR [Climate of the USSR]. Moscow, Moscow University Press, 1956, 547 p.

Basilyan A.E., Anisimov M.A., Dorozhkina M.V. Quaternary sedimentations cycles as a result of climate fluctuations in the Yana-Indigirka Lowland (reference section Soplivaya Gora/Yana–195 km). In: Fundamental Problems of the Quaternary: Results and Main Trends of Future Studies. Proc. IX Conf. on the Quaternary, Irkutsk, Izd-vo Institute of Geography, 2015, p. 43–45 (in Russian).

Vasil'chuk Yu.K. Izotopno-kislorodnyi sostav povtorno-zhilynykh l'dov (opyt paleogeokriologicheskikh rekonstruktsiy) [Oxygen Isotope Composition of Ground Ice (Application to Paleogeocryological Reconstructions)]. Moscow, Theor. Probl. Dept. RAS, Moscow University, Research Institute of Engineering for Construction (PNIIS), 1992, Book 1, 420 p., Book 2, 264 p. (in Russian).

Vasil'chuk Yu.K. Isotope geochemical characteristics of Late Pleistocene ice-wedge complex of Kular depression. Doklady AN SSSR [Trans. of the USSR Academy of Sciences. Earth Science Sections], 1992/ 1990, vol. 310 (1), p. 154–157 (in Russian).

Vasil'chuk Yu.K., Makeev V.M., Maslakov A.A., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C. Late Pleistocene and Early Holocene winter air temperatures in Kotelnny Island: reconstructions using stable isotope of ice wedges. Earth's Cryosphere, 2019, vol. XXIII, No. 2, p. 12–24.

Ventskevich S.D., Konishchev V.N., Solomatin V.I. Cryogenic effects on distribution of placer gold (with particular reference to the Kular region). In: Problemy kriologii [Problems of Cryolithology] / Popov A.I. (Ed.). Moscow, Moscow University Press, 1969, vol. 1, p. 50–62 (in Russian).

Galanin A.A., Dyachkovskiy A.P., Lytkin V.M. Results of absolute age dating of samples at the Radiocarbon Laboratory of Permafrost Institute SB RAS. Nauka i Obrazovanie [Science and Education], 2015, No. 4, p. 45–49 (in Russian).

Gravis G.F. Sklonovue otlozheniya Yakutii (usloviya nakopleniya i promerzaniya, kriogennoe stroenie) [Slope sediments in Yakutia: Depositional and freezing environment and cryogenic structure]. Moscow, Nauka, 1969, 128 p. (in Russian).

Kanevskiy M.Z. Zakonomernosti formirovaniya kriogennogo stroeniya chetvertichnykh otlozhenii Severnoi Yakutii [Specific characteristics of the formation of cryogenic structure of Quaternary deposits in Northern Yakutia]: Summary of PhD (geol.-min. sciences) thesis. Moscow, 2004, 23 p. (in Russian).

- Konishchev V.N. Formirovanie sostava dispersnykh porod v kriolitofere [Formation of Dispersed Rocks in the Cryolithosphere]. Novosibirsk, Nauka, 1981, 198 p. (in Russian).
- Konstantinov M.M., Konstantinovskiy A.A., Natalenko M.V. Typification of gold-bearing regions in the terrigenous-black-shale belts of Russia. *Regional Geology and Metallogeny*, 2013, No. 54, p. 75–88 (in Russian).
- Kuznetsova T.P. Observations of ice-wedge polygons in the foothills of the Kular ridge. In: *Podzemnyi led [Ground Ice]* / Popov A.I. (Ed.). Moscow, Moscow University Press, 1967, iss. 3, p. 94–101 (in Russian).
- Pavlova E.Yu., Ivanova V.V., Meyer H., Pitulko V.V. Stable isotopes of ground ice as an indicator of paleoclimate changes in the north of New Siberian Islands and in western Yana-Indigirka Lowland. In: *Fundamental Problems of the Quaternary: Results and Main Trends of Future Studies*. Proc. IX Conf. on the Quaternary (Irkutsk, 15–20 Sept., 2015). Irkutsk, Izd-vo Institute of Geography, 2015, p. 349–351 (in Russian).
- Soloviev M.N., Fedyanin A.N., Sorokina K.M. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000 (2nd ed.). Verkhoyanskaya series. Sheet R-53-XV, XVI–Kular. Explanatory note. Batagay, State Unitary Enterprise “Yangeology”, 2003, 177 p. (in Russian).
- Reference Books of the USSR Climate. Issue 24. Yakutia. Part 2. Air and Soil Temperature. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1966, 403 p. (in Russian).
- Bronk R.C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 2009, vol. 51, iss. 1, p. 337–360.
- Kanevskiy M. Cryogenic structure of mountain slope deposits, northeast Russia. In: *Proc. of the Eight Intern. Conf. on Permafrost (21–25 July, 2003, Zurich, Switzerland)*. Lisse, A.A. Balkema Publishers, 2003, vol. 1, p. 513–518.
- Pitulko V.V., Nikolsky P.A., Girya E.Y. The Yana RHS site: humans in the Arctic before the Last Glaciation. *Science*, 2004, vol. 303, p. 52–56.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A. et al. IntCal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50 000 years cal BP. *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, p. 1869–1887.
- Schirrmeister L., Froese D., Tumskey V., Grosse G., Wetterich S. Yedoma: Late Pleistocene ice-rich syngenetic permafrost of Beringia. In: *Encyclopedia of Quaternary Science: 2nd ed.* / Elias S.A., Mock C.J. (Eds.). Amsterdam, Elsevier, 2013, vol. 2, p. 542–552.
- Sher A.V. Yedoma as a store of paleoenvironmental records in Beringia. In: *Elias S., Brigham-Grette J. (Eds.). Beringia Paleoenvironments. Workshop*, 1997, p. 92–94.
- van Geel B., Protopopov A., Protopopova V. et al. Larix during the Mid-Pleniglacial (Greenland Interstadial 8) on Kotelnik Island, Northern Siberia. *Boreas*, 2017, vol. 46, p. 338–345.
- Vasil'chuk Yu.K. Reconstruction of the paleoclimate of the Late Pleistocene and Holocene on the basis of isotope studies of subsurface ice and waters of the permafrost zone. In: *Water Resources*. Publ. by Consultants Bureau. New York, 1991, vol. 17, No. 6, p. 640–647.
- Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Oxygen-isotope and ¹⁴C data associated with Late Pleistocene syngenetic ice-wedges in mountains of Magadan Region, Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 1998, vol. 9, No. 2, p. 177–183.
- Wetterich S., Kuzmina S., Andreev A.A. Palaeoenvironmental dynamics inferred from Late Quaternary permafrost deposits on Kurungnakh Island, Lena Delta, Northeast Siberia, Russia. *Quatern. Science Rev.*, 2008, vol. 27, iss. 15–16, p. 1523–1540.
- Wetterich S., Tumskey V., Rudaya N. et al. Ice Complex formation in arctic East Siberia during the MIS3 Interstadial. *Quatern. Science Rev.*, 2014, vol. 84, p. 39–55.
- URL: <http://ru.climate-data.org/> азия/российская-федерация/республика-саха-якутия/Казачье/ (last visited: 13.02.2019).

*Поступила в редакцию 4 апреля 2019 г.,
после доработки – 2 сентября 2019 г.,
принята к публикации 14 сентября 2019 г.*