

ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.345:557.79

МОДЕЛЬ ЦИКЛИЧЕСКИ-ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ФОРМИРОВАНИЯ
СИНГЕНЕТИЧЕСКИХ ТОЛЩ С МОЩНЫМИ
ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫМИ ЛЬДАМИ

Ю. К. Васильчук

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

Сингенетические толщи с мощными повторно-жильными льдами формируются макроциклически при переменчивом субаэральном и субаквальном режиме. Основной рост ледяных жил происходит во время субаэральной фазы, когда накапливается торф или оторфованные отложения. Периодически режим сменяется субаквальным, когда накапливаются гравий, песок, супесь, суглинки, глины. В этот период жилы консервируются или накапливаются очень слабо. При возобновлении субаэрального режима активный рост жил возобновляется.

Сингенетические толщи, повторно-жильные льды, макроциклическость

THE MODEL OF CYCLIC-PULSING FORMATION OF SYNGENETIC PERMAFROST THICKNESS
WITH LARGE ICE-WEDGES

Yu. K. Vasil'chuk

*Moscow State University, Faculties of Geology and Geography, 119899, Moscow, Vorob'yovy Gory, Russia
The Theoretical Problems Department RAS, 121002, Moscow, Denezhnyi pereulok, 12, Russia*

Syngenetic thickness with large ice wedges form during big pulses of subaqueous deposition alternating with subaerial conditions macrocyclically. Syngenetic ice-wedge growth proceeds subaerially during the accumulation of peat or peaty sediments. Periodically, when gravel, sand, sandy loam, loam, silt, and clay are deposited under subaqueous conditions, ice-wedge growth decreases or stops. When the subaerial regime returns, ice-wedge grow again.

Syngenetic permafrost, ice wedges, macrocyclically formation

ВВЕДЕНИЕ

Согласно классической модели сингенетического накопления осадков, предложенной А. И. Поповым и Е. М. Катасоновым процесс промерзания осуществляется „пачками“, что принято объяснять соотношением осадконакопления и циклического изменения глубины протаивания деятельного слоя за ряд лет. При этом мощность приращения снизу синкриогенной пачки объясняется соотношением „...изменения глубины протаивания, т. е. его циклическости за ряд лет и скорости накопления осадков. Чем больше амплитуды циклическости, тем продолжительнее каждый цикл и чем больше скорость накопления осадков, тем крупнее будут „пачки“,

переходящие в вечномерзлое состояние“ [Попов, 1967, с. 224]. Там же ранее А. И. Попов, рассматривая процесс сингенетического формирования мощных ледяных жил, заключает „...образование полигонально-жильного льда происходит в период, когда поверхность террасы переживает пойменную стадию и на ней происходит накопление осадков. С прекращением пойменного режима и накопления осадков останавливается и рост льда“ [Попов, 1967, с. 98]. Еще ранее в своей классической работе, посвященной особенностям криолитогенеза аллювиальных равнин, А. И. Попов отмечал „...об одновременности накопления пойменных осадков и пре-

щинно-полигонального льда“ и далее: „...Одинаковый фациальный состав пойменных осадков, выдержанный иногда на десятки метров по вертикали, доказывает, что формирование всей толщи происходило при неизменном (или мало изменяющемся) пойменном режиме, что каждый слой в свое время был отложен в половодье на полигональной поверхности поймы и что последняя перемещалась все выше и выше“ [Попов, 1953, с.34].

ЦИКЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЕДОМНЫХ ТОЛЩ

Впервые мысль о не столь уж однородном режиме осадконакопления в период формирования мощных сингенетических повторно-жильных льдов возникла у нас при анализе строения обнажения едомы в разрезе Зеленый Мыс в 1983 г. Вследствие очень удачного и полного вскрытия разреза в сентябре, а также очень контрастной картины, подчеркнутой рано установившимся снежным покровом, были очень явно видны три яруса в строении вмещающей жилы толщи [Васильчук, 1992, т. 2, Прил. 110]. Более темные прослои в строении разреза были представлены сильно оторфованными коричневыми супесями с вертикально стоящими корешками трав и мхами. Одной из важных черт этих обогащенных органикой (кстати, здесь же встречены и скопления мамонтовых костей) прослоев было наличие грунтовых жил, образующих как бы гребенку зубчиками вниз. Размер зубьев грунтовых жил составляет 1,5—1,7 м в высоту и 0,3—0,4 м в ширину в верхней части. Аналогичные зубья нам довелось наблюдать в верхней части аласа у Дуванного переката. Здесь они были несколько меньших размеров 0,5—0,6 м в высоту и 0,1—0,2 м в ширину и отходили вниз от подошвы голоценового торфяника, перекрывающего озерную (озерно-таберальную) голоценовую толщу (параллельно грунтовым жилам здесь также залегают ледяные жилы, высотой около 4 м). Таким образом, „гребенка“ — морфологический признак, демонстрирующий общность черт развития аласа и отдельного субаквально-субаэрального цикла в толще едомы, т. е. едому в ряде случаев можно рассматривать как серию последовательно формировавшихся аласных толщ. Также зубчатое строение нижней части торфяных слоев отмечено в едомной толще в разрезе позднеплейстоценовой террасы Быковского п-ова, включающей мощные ярусные сингенетические повторно-жильные льды. Интересно, что в этом разрезе отмечено от 3 до 5 горизонтов, представленных переслаивающимися песками, супесями, слоями с комочками торфа, глин [Васильчук, 1992]. Особое

наше внимание привлекли слои, представленные крупным и мелким гравием, часто гравием насыщены и горизонты песков или глин. Интересно, что встречено два слоя торфа, подстилающего гравийные толщи; в грунтовых-торфяных жилах, отходящих вниз от подошвы этих двух торфяных слоев, отмечается повышенное содержание гравия.

Для понимания характера осадконакопления и режима формирования жил в едомной толще интересно рассмотреть строение разреза лайды, возвышающейся над современным пляжем губы Буор-Хая на 1 м. Здесь сверху залегает торф мощностью до 0,6—0,7 м, включающий ростки жильных льдов, над которыми располагаются грунтовые жилки. Над торфом тонкий прослой супеси. Торф подстилается гравелистым песком. Таким образом, в строении лайды отмечается та же грунтовая триада, которая периодически встречается на разных высотах в циклической едомной толще в разрезе позднеплейстоценовой террасы. Во всех случаях к оторфованным прослоям приурочены головы мощных ледяных жил, залегающих на разных глубинах в едомной толще.

В дальнейшем наше представление о циклическом характере строения едомных толщ нашло подтверждение в результате наших непосредственных натуральных исследований, так, например, было отмечено показательное ярусное строение полигонально-жильного комплекса Айонской едомы (рис. 1).

Также мы нашли подтверждение ярусности ледяных жил в едомных толщах в ряде описаний других авторов. Приведем, например, два из них.

Г. С. Константинова так описывает строение едомной толщи Станчиковского Яра на правобережье р. Мал. Анюй: „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. Мал. 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“ [Константинова, 1965, с. 105—107].

А. А. Свиточем и В. С. Хоревым [Новейшие отложения..., 1980, с. 89—92] так описывается ярусность едомной толщи в долине р. Майн: „В



Рис. 1. Два верхних яруса полигонально-жильного комплекса Айонской едомы.

Стадии: 1 — нижний ярус, 2 — верхний ярус.

разрезе Ледовый Обрыв вскрывается 50-метровая толща литологически разнообразных озерных отложений сложного криогенного строения, включающая несколько ярусов повторно-жильных льдов... Элементарные слои разреза Ледовый обрыв, группируясь, образуют более крупные пачки или циклы. Всего выделяется 6 циклов осадков. Отложения нижнего цикла — относительно тонкие илестые и песчано-илестые, в верхней части оторфованные, с растительными остатками... видимая мощность 2,4 м. В основании разреза второго цикла отмечается базальный горизонт песка с гравием. В кровле отложения оторфованы... Мощность от 7,5 до 15 м. Для отложений третьего цикла характерно наличие среди слоистых песков прослоев оторфованной супеси... Мощность от 8,5 до 15 м. Отложения четвертого цикла имеют относительно простое строение: это тонкое, горизонтальное переслаивание ила песчанистого серо-сизого и супеси оторфованной... Осадки цикла, по-видимому, накапливались в приглубой части эпизодически существовавшего озера со спокойным застойным режимом. Мощность 4,5 м. Осадки

пятого цикла представляют мощную пачку горизонтально-слоистых грязно-желтых песков, ожелезненных и песков илестых серых. В отложениях встречаются растительные остатки, прослой торфа и оторфованной супеси, свидетельствующие о неоднократных осушках мелководного водоема-разлива, где накапливались осадки. В основании цикла — базальный горизонт грубозернистого песка... Мощность 13,5 м. На них с небольшим размывом залегают пески шестого цикла осадконакопления... Мощность 6,3 м...“.

Нами также описано циклическое залегание повторно-жильных льдов в озерной толще Ледового Обрыва на р. Майн (рис. 2). В нижней части толщи были изучены три яруса ледяных жил, каждая из которых была высотой 3—4 м. Жилы каждого из ярусов залегают в мелких песках и перекрываются торфом и супесью. Важной особенностью является и существенная дифференциация значений $\delta^{18}O$ в жилах разных циклов составляющая $-23,8\%$ в нижних жилах и -28% в жилах среднего яруса, при средних для этого региона значениях в жилах едомных отложений от $-26,8$ до $-28,6\%$ [Васильчук, 1992]. Интересно, что и в мощной (более 50 м по вертикали) многоярусной (более 6 ярусов ледяных и грунтовых жил высотой до 7—8 м) полигонально-жильной системе, отмеченной нами в преимущественно песчаном (с прослоями аллохтонного торфа, содержащего ветки кустарников и стволы деревьев) разрезе Усть-Алганский обрыв (в нескольких

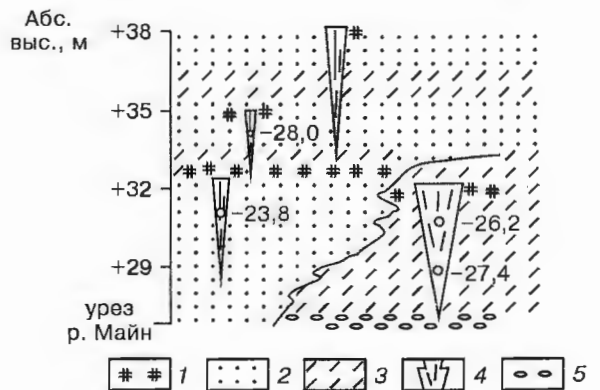


Рис. 2. Ярусное (циклическое) залегание повторно-жильных льдов в нижней части озерной толщи Ледового Обрыва на р. Майн (вблизи контакта с классическим едомным останцом в нижней части разреза см. справа внизу) и изотопно-кислородный состав жил (значения $\delta^{18}O$ в ‰, показаны цифрами рядом с жилами).

1 — торф, 2 — песок, 3 — супесь, 4 — лед сингенетических жил, 5 — гравий и галька.

километрах выше по течению р. Майн) в изотопном составе ледяных жил также отмечена очень высокая дифференциация (от $-23,4$ до $-27,8$ ‰), которую, скорее всего, можно связать с проникновением изотопически более тяжелых речных вод в тело жилы в конце этапа субаквального накопления массива и начала активного роста очередного яруса ледяных жил. На активное участие речных вод в формировании толщи отложений здесь указывает и инверсия радиоуглеродных датировок — более древних вверху и более молодых внизу, полученных по прекрасно сохранившимся, но окатанным веткам [Васильчук, 1992]. В этом случае мы полагаем, окатанность древесины связана с переносом рекой (хотя признаки окатанности в ряде случаев могут быть и иного генезиса, например, как результат длительного залегания на дневной поверхности и обработка дождем, снегом, ветром и т. п.).

Из этих описаний видно, что ярусное (циклическое) строение едомных толщ встречается достаточно часто, и, как правило, ярусность в слоении вмещающих пород коррелирует с ярусностью в залегании повторно-жильных льдов.

НОВАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ СИНГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ

На основе анализа собственных полевых наблюдений и опубликованных в виде описаний, фотографий и рисунков данных других исследователей нами предложена новая структурная модель формирования мощных сингенетических повторно-жильных льдов. Основу модели составляет макроциклический механизм формирования сингенетических жил. Логическая суть предложенной модели состоит в том, что процесс сингенетического формирования мощных ледяных жил рассматривается не в рамках принятой парадигмы — как процесс непрерывного формирования льда, а в несколько иной трактовке как пульсирующий — циклический процесс.

Главное отличие этой модели от имеющихся моделей циклического развития жил состоит в не климатическом запуске механизма выявленной цикличности (т. е. цикличность проявляется независимо от климатических ритмов потеплений или похолоданий). Согласно нашей модели главным детерминирующим механизмом была неоднократная повторяющаяся смена характера осадконакопления (рис. 3) на поверхности полигонального массива — субэдрального и супрааквального (реже субаквального). Под последним мы понимаем все же небольшую мощность воды на поверхности полигонального массива, она редко превышает 1—1,5 м (в противном случае залегающие ниже жилы даже в

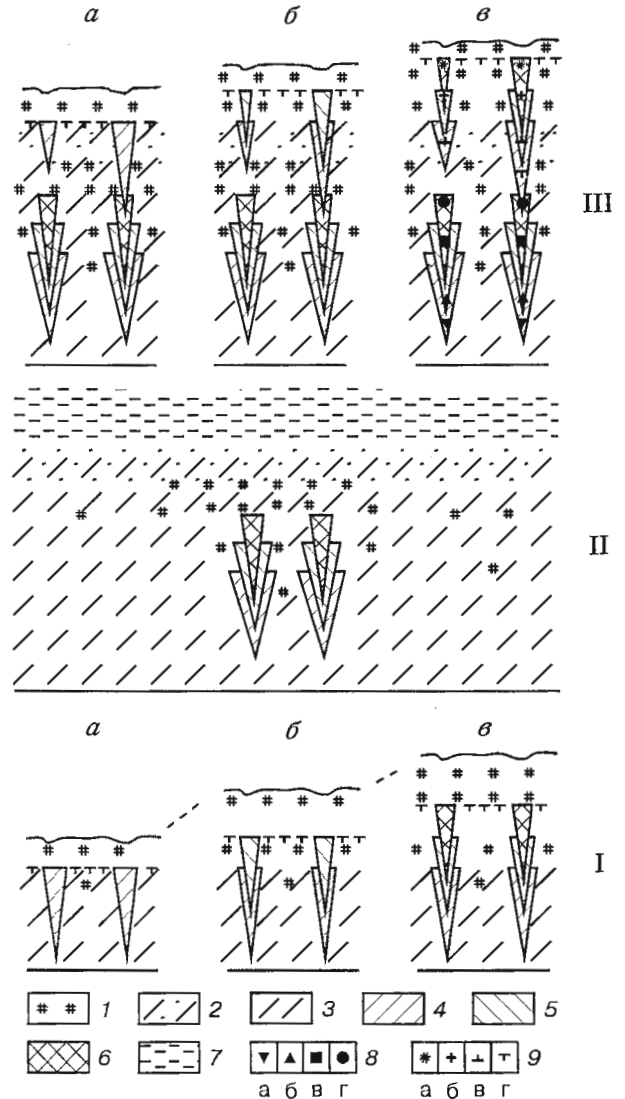


Рис. 3. Модель макроциклического формирования сингенетических повторно-жильных льдов.

I и III — субэдральные фазы развития, II — субаквальная (супрааквальная фаза развития). В течение субэдрального развития массива формируются преимущественно оторфованные слои, и рост жил происходит преимущественно в ширину. В течение субаквального развития массива формируются преимущественно слои минеральных отложений (песков, супесей, глин) и рост жил прекращается или замедляется, в последнем случае происходит наращивание жил вверх. 1 — торф, 2 — супесь с песком, 3 — супесь, 4—6: жильный лед ранней (4), средней (5) и поздней (6) фаз развития; 7 — вода (озеро, река, губа и т. д.), 8 — принципиальный отбор образцов из жил первой субэдральной фазы, 9 — принципиальный отбор образцов из жил второй субэдральной фазы.

суровых условиях позднего плейстоцена могли бы протаять).

Обычно предполагается, что сингенетические ледяные жилы формируются только в условиях медленного непрерывного осадконакопления, сопровождающегося повторяющимся морозобойным растрескиванием. Однако мы полагаем, что такая ситуация бывает достаточно редко и такой тип седиментации в течение последних 50 тыс. лет проявлялся эпизодически, чаще субаквальное осадконакопление сменялось субаэральными условиями роста повторно-жильных льдов.

Смена субаэрального режима субаквальным может быть связана с подпруживанием небольших рек, подтоплением пойм, опусканием побережий морей, заливов и губ, образованием запруд или обширных соров и т. д.

Рост сингенетических повторно-жильных льдов происходит субаэрально во время аккумуляции торфа или оторфованных осадков. Периодически, во время накопления гравия, песков, супесей, суглинков и глин в субаквальных условиях рост ледяных жил сокращается или приостанавливается. Когда субаэральный режим возобновляется, рост ледяных жил активизируется. Если толщина субаквальных осадков имеет небольшую мощность (менее 3—4 м), хвосты более молодых и стратиграфически расположенных выше жил проникают в погребенные ледяные жилы предыдущей фазы. Наоборот, если мощность толщи субаквальных осадков превышает 4—5 м, расположенные стратиграфически выше ледяные жилы не проникают в залегающие ниже.

Этап субаэрального осадконакопления (он, чаще всего фиксируется прослоями и горизонтами насыщенными органикой как автохтонного, так и аллохтонного происхождения; в классическом случае — это автохтонные торфяники) соответствует активному приросту массы льда в ледяных жилах (преимущественно жилы в этот период растут в ширину, хотя, например, при очень активном накоплении торфа в субаэральных условиях заметен и рост ледяных клиньев в высоту, поскольку за длительный период субаэрального развития дневная поверхность торфяника может подняться на 1,5—2 м, а иногда и более).

Этап субаквального (или супрааквального) осадконакопления часто фиксируется горизонтами супесей и суглинков, реже песком, еще реже гравием и совсем редко щебнем с тонкодисперсным заполнителем. В этих горизонтах часто можно встретить обилие переотложенных спорово-пыльцевых зерен, нередко отмечается заметная концентрация диатомовых водорослей

или остатков водных растений, а иногда и включения фораминифер (или остатков рыб). Этот этап соответствует замедлению или прекращению прироста льда в теле ледяных жил.

Последующее повторение периода субаэрального формирования жил ведет к образованию верхнего яруса ледяной жилы, причем, если во время накопления субаквальной (супрааквальной) толщи рост жил прекращался, а мощность этой толщи большая, то формируются отдельные ярусы ледяных клиньев, в других случаях формируются сплошные (транзитные) ледяные клинья, часто с признаками ярусности.

Можно рассмотреть шесть основных типов данного процесса, выделяя их по скорости осадконакопления (медленное и быстрое) и по длительности чередования ритмов осадконакопления (частое, среднее и редкое): I — медленное осадконакопление при частой смене ритмов осадконакопления; II — медленное осадконакопление при средней смене ритмов осадконакопления; III — медленное осадконакопление при редкой смене ритмов осадконакопления; IV — быстрое осадконакопление при частой смене ритмов осадконакопления; V — быстрое осадконакопление при средней смене ритмов осадконакопления; VI — быстрое осадконакопление при редкой смене ритмов осадконакопления. Этим шести основным типам развития полигонально-жильных комплексов, очевидно, соответствуют определенные типы строения ледяных жил и полигонально-жильных комплексов в целом (рис. 4). Естественно, такое число комбинаций выделяется, если рассматривать только две эти переменные: скорость осадконакопления и частоту чередования ритмов осадконакопления, если же рассматривать и скорость собственно повторно-жильного льдообразования (а она существенным образом влияет на морфологию жил), то, естественно, количество комбинаций, а, следовательно, и морфологических разновидностей полигонально-жильных структур может быть больше в два-три и более раз.

При реализации первого из выделенных вариантов: медленное осадконакопление при частой смене ритмов осадконакопления (см. рис. 4, I) формируются узкие повторно-жильные льды, они, как правило, образуют многоярусную систему с относительно слабо выраженными плечиками на контакте жил с вмещающими породами.

При реализации второго и третьего из выделенных вариантов: медленное осадконакопление при средней и редкой смене ритмов осадконакопления (см. рис. 4, II и III) следует ожидать формирование массивных транзитных ледяных жил, причем в третьем варианте дополнительное

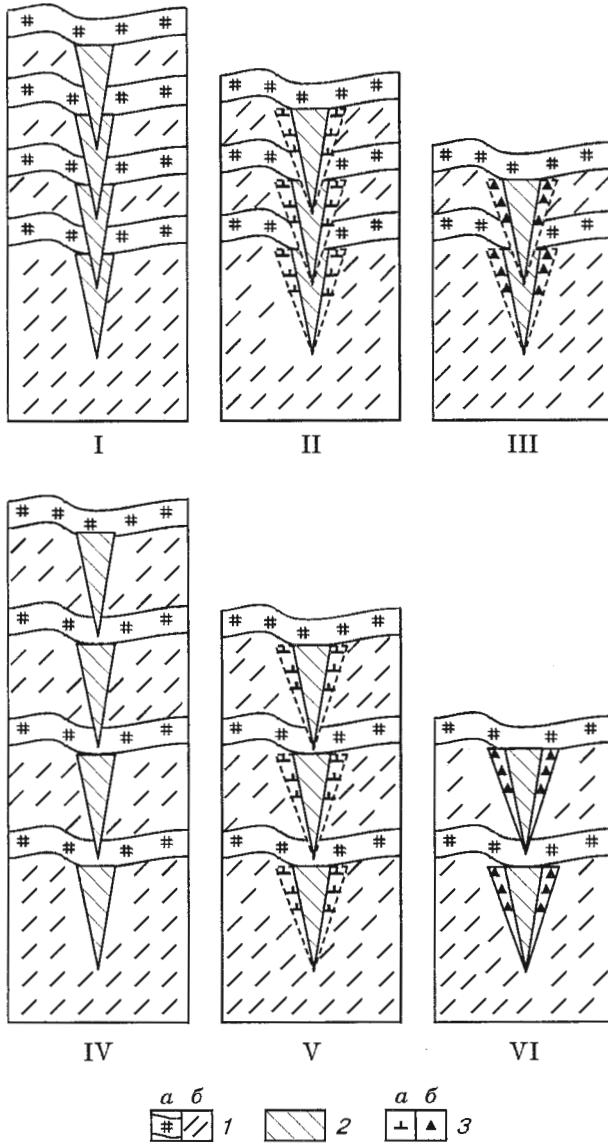


Рис. 4. Модель формирования полигонально-жильных систем различного строения, связанного с различиями в скорости осадконакопления и темпов чередования ритмов осадконакопления.

I—III — медленное осадконакопление при различной частоте смены ритмов осадконакопления: I — частой, II — средней, III — редкой; IV—VI — быстрое осадконакопление при различной частоте смены ритмов осадконакопления: IV — частой, V — средней, VI — редкой. 1 — вмещающие жилу грунты (схематично): а — субазральные, б — субаквальные (супрааквальные); 2 — жильный лед; 3 — часть жильного льда, прирастающего в течение более длительного субазрального периода: а — при средней, б — при частой смене ритмов осадконакопления.

пластичное выдавливание льда жил (о котором ранее сообщали В. Н. Конищев и А. Д. Маслов [1969]) вообще может привести к формированию сравнительно широких ледяных столбов с выраженными, но дислоцированными плечиками.

При реализации четвертого из выделенных вариантов: быстрое осадконакопление при частой смене ритмов осадконакопления (см. рис. 4, IV) можно прогнозировать образование многоярусной полигонально-жильной системы, в этом случае часто хвосты вышележащих жил могут не достигать голов жил нижних ярусов.

При реализации пятого и шестого из выделенных вариантов: быстрое осадконакопление при средней и редкой смене ритмов осадконакопления (см. рис. 4, V и VI) в строении полигонально-жильных систем следует ожидать формирование многоярусных систем, причем в последнем случае, выдавливание льда жил способствует поднятию уровня голов жил нижних ярусов и поэтому здесь чаще следует ожидать формирование хорошо выраженной многоярусной системы, слившейся в одну транзитную жилу.

Подчеркнем, что при частой смене ритмов и относительно высокой скорости субаквального осадконакопления (см. рис. 4, IV) формируются прерывистые по вертикали ярусные системы жил и часто можно встретить погребенные жилки в толще, а при более медленном осадконакоплении, а тем более еще и при длительном периоде интенсивного субазрального роста жил образуются мощные столбообразные (иногда называемые транзитными) сингенетические ледяные жилы.

Отметим, что полигональная сеть широко распространена преимущественно на высокой пойме, в то время как на низкой пойме эта сеть достаточно редка. Это подтверждает, что рост ледяных жил происходит преимущественно в субазральных условиях. Некоторые жилы многостадийны. Когда хвост вновь образованной жилы проникает в нижележащую жилу, формируется единая ледяная жила. Этот процесс приводит к формированию многоциклических (многостадийных) ледяных жил или криоциклитов. Это не относится к группам эпигенетических ледяных жил, расположенных на различных стратиграфических уровнях. Формирование сингенетических многолетнемерзлых осадков имеет циклический характер, независимый от стабильности и нестабильности климатических условий. Это связано с режимом седиментационных изменений. Иногда погребенные ледяные жилы могут быть пластически выдавлены из-за воздействия бокового давления. И интенсивный процесс выдавливания, и тонкий перекрывающий слой ведут к формированию больших непрерывных син-

генетических ледяных жил. Если мощность субквального слоя велика, сформируется многоярусная система.

В отдельных случаях (в условиях относительно длительного существования очень мелко-го, но холодного водоема, например на пляже или в приливно-отливной зоне арктических морей, губ и заливов и т. п.) рост жил может достаточно активно продолжаться и в субквальных (супрааквальных) условиях. К примерам такого рода относится, в частности, верхняя часть Сеяхинского разреза [Васильчук и др., 1998], где система широких ледяных жил, развивавшихся в стадийно-сменяющихся условиях, описанная в нижней части разреза сменилась в верхней половине разреза узкими жилами, близко расположенными друг от друга, включающими большое количество того же песка, что слагает и вмещающие их породы. Среди доказательств субквального генезиса жил здесь, помимо приведенных в указанной выше публикации, отметим и полученные на днях значения минерализации в некоторых образцах льда из погребенных узких жил из этой же верхней части разреза — сумма солей здесь превысила 309 мг/л, при высоком содержании хлоридов — 14—24 мг/л, сульфатов — 19—46 мг/л и доминировании гидрокарбонатов 138—175 мг/л (уточним, что в основном для льда даже этих жилок и для более крупных транзитных жил характерна невысокая минерализация — 25—130 мг/л). Это связано с тем, что главный источник воды для повторно-жильных льдов — это талая снеговая вода. Гораздо менее значительные количества воды поставляются изморозью и талой водой из активного слоя. В пределах высоких террас и водоразделов сингенетические льды формируются исключительно из атмосферной воды, которая замерзает в морозобойных трещинах. На поверхности поймы, приречных или приморских равнин небольшие жилки также формируются из атмосферной воды, проникающей в трещины (если трещины открыты к поверхности) или из воды сезонноталого слоя (в случае, если трещины не достигают поверхности). Вода с высокой минерализацией может случайно попасть в трещины, если имеются соленые озера, возникшие в результате экстремально высоких приливов. Такие приливы и штормовые нагоны могут быть только летом, когда поверхность моря или эстуария свободна ото льда. Таким образом, к этому времени большинство морозобойных трещин уже закрыто и только в единичных случаях эта вода может проникнуть в ледяные жилы. Следовательно, более соленый лед в мелких жилках Сеяхинского разреза —

это, скорее всего, результат участия губских вод в сложении льда жил.

ДИСКУССИЯ

Модель макроциклического формирования сингенетических повторно-жильных льдов сформулирована на основании изучения морфологических особенностей многих систем сингенетических повторно-жильных льдов в поле [Васильчук, 1992] и их описаний в научной литературе. Ранее очень близко к такой циклической модели подошел А. Д. Маслов [1967], увидевший в разрезе на правом берегу р. Омолой, как к подошве торфяных прослоев подходят плечики ступеней сингенетической жилы. Он назвал это этапами эпигенеза в сингенетическом развитии жил. Однако он исследовал только сравнительно маломощные циклы — 4 цикла в пределах 1,5 м по вертикали и связал это с тектоническим развитием массива, т. е. микро-, а не макроциклы.

Здесь мы не рассматриваем проблему формирования ледяных жил в эоловых лессах, о которых пишут североамериканские исследователи и вслед за ними С. В. Томирдиаро [1980], потому что мы никогда не наблюдали разрезов с отсутствием знаков субквального накопления (это и описанные выше гравийно-галечниковые слои и остатки чешуи рыб, пресноводные диатомеи, аллохтонная органика — часто с инверсией радиоуглеродных датировок, окатанные древесина или кости, значительное опесчанивание отложений с высоким содержанием переотложенных в субквальной среде пыльцевых зерен, что также подтверждается высоким содержанием деформированных пыльцевых зерен и спор, как правило, 15—20 %).

Предложенный механизм формирования ледяных жил позволяет привязать изотопные, палинологические и другие данные с более высокой точностью. Изотопные и все другие диаграммы являются прерывными во времени и соответствуют долговременным субэаральным стадиям формирования повторно-жильных льдов. Перерывы соответствуют субквальным стадиям (как правило, эта стадия значительно короче — ее длительность, вероятно, редко более 1 тыс. лет, чем субэаральная, длительность которой 3—5 тыс. лет и более. При более длительных субквальных стадиях очень велика вероятность полной дегградации ранее сформировавшихся жил). При помощи радиоуглеродного датирования можно датировать, как правило, субэаральные фазы.

Из российских исследователей особенно последовательно цикличность рассмотрена Т. Н. Каплиной, которая связывала цикличность со сменой холодных фаз — криохронов теплыми

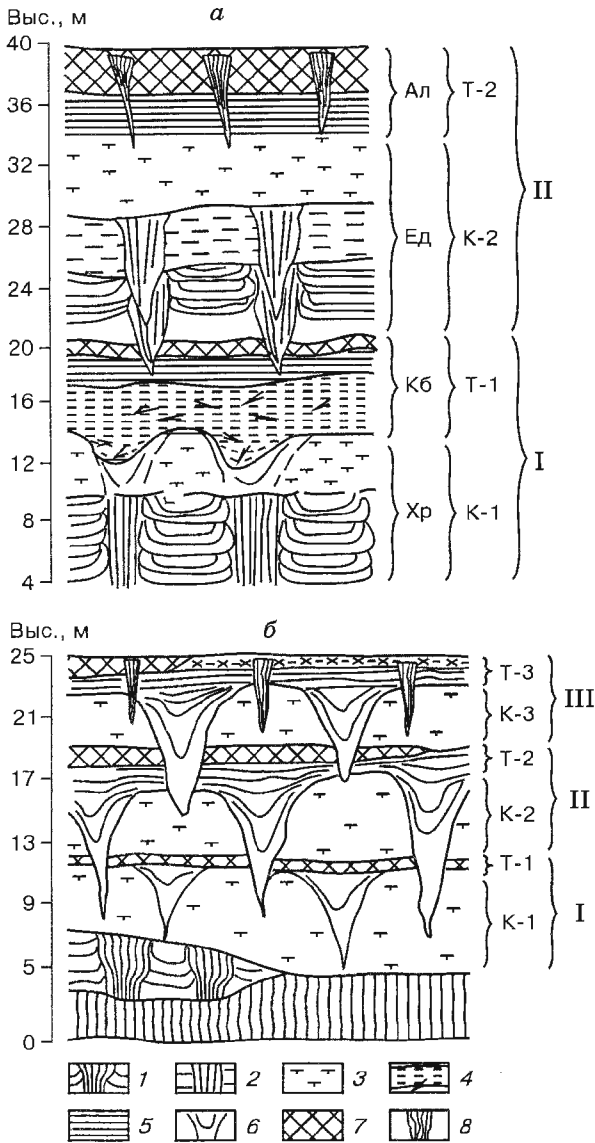


Рис. 5. Принципиальные схемы строения едомных толщ в разрезах правобережья р. Хрома (а) и Молотковского Камня (б) на р. Мал. Анюй по [Каплина, 1986]:

1, 2 — ледовый комплекс: 1 — льдистая разновидность, 2 — малольдистая разновидность; 3 — табериты по ледовому комплексу; 4 — слоистые песчано-глинистые породы, обогащенные древесиной (озерные); 5 — озерные ленточно-слоистые суглинки; 6 — псевдоморфозы по повторно-жильным льдам; 7 — торф; 8 — небольшие ледяные жилы. I, II, III — криогенные циклиты; К-1, К-2, К-3 — криолиты; Т-1, Т-2, Т-3 — термолиты; Хр — хромская свита, Ед — едомная свита, Кб — кыл-бастахские слои, Ал — голоценовые аласные накопления.

В нашем понимании в показанной здесь Хромской толще отмечается три цикла субазерального синкриолитоогенеза и образования жил, два нижних завершались субаквальной фазой, с которой и связано формирование таберитов. В Молотковском разрезе циклов больше, особенно примечательно то, что головы псевдоморфоз четко привязаны к горизонтам торфа, вероятно псевдоморфозы формировались в субаквальную фазу (когда образовались табериты), наступающую вслед за субазеральным накоплением торфа.

— термохронами (рис. 5). В связи с этим она писала: „...обзор опорных разрезов позднего кайнозоя убеждает, на наш взгляд, в том, что криогенные циклиты являются не редкими исключениями, а закономерными, типичными геологическими телами... их существование и повторение в разрезах можно считать доказанным“ [Каплина, 1986, с. 294]. С этой сентенцией мы полностью солидарны. А вот объяснение природы циклитов, выполненное далее нам представляется дискуссионным: „...на территории Северной Якутии... а) ...развивались изменения геокриологических условий, характеризовавшиеся разным знаком; б) эти изменения следовали за изменениями климата;... д) в качестве ведущих криогенных процессов выступали, сменяя друг друга, накопление льдов в рыхлых отложениях (преимущественно полигонально-жильных и сегрегационных) и их вытаивание — процесс термокарста“ [Каплина, 1986, с. 300—301].

Нам представляется не таким уж бесспорным и утверждение типа: „Спорово-пыльцевая диаграмма... не оставляет никаких сомнений в обусловленности криогенного циклита климатическими причинами, отразившимися в кардинальных преобразованиях ландшафтов“ [Каплина, 1986, с. 297]. В связи с этим интересно вспомнить распределение спор в спорово-пыльцевых комплексах наиболее детально изученных разрезов едомных толщ: у пос. Сеяха, у Зеленого Мыса и в разрезе Дуванного Яра [Васильчук, 1992, с. 56]. Главной особенностью является циклическое изменение содержания спор в спорово-пыльцевых спектрах этих едомных толщ и особенно возрастание содержания спор холоднолюбивой *Selaginella Sibirica* на подошве оторфованных и торфяных горизонтов.

С нашей позицией, сформулированной в 1991 г., корреспондируют и выводы, полученные Дж. Ванденбергхе и К. Кассе [Vandenberghе, Kasse, 1993] при исследованиях циклически расположенных горизонтов псевдоморфоз в опорном разрезе Гров на севере Нидерландов (рис. 6). Ими предложена модель воздействия флювиального фактора на развитие многолетнемерзлых структур. Они замечают, что осадконакопление на пойме носит циклический характер. Здесь сначала накапливаются пески, принесенные потоками воды, затем следует период снижения скоростей течения, и в условиях стоячей воды накапливаются супеси и опесчаненные суглинки. Наконец в условиях остаточного водоема накапливаются органические илы и торф. В течение последней фазы происходит формирование ледяных жил. Это развитие продолжается до следующего вторжения речных вод. Пески от-

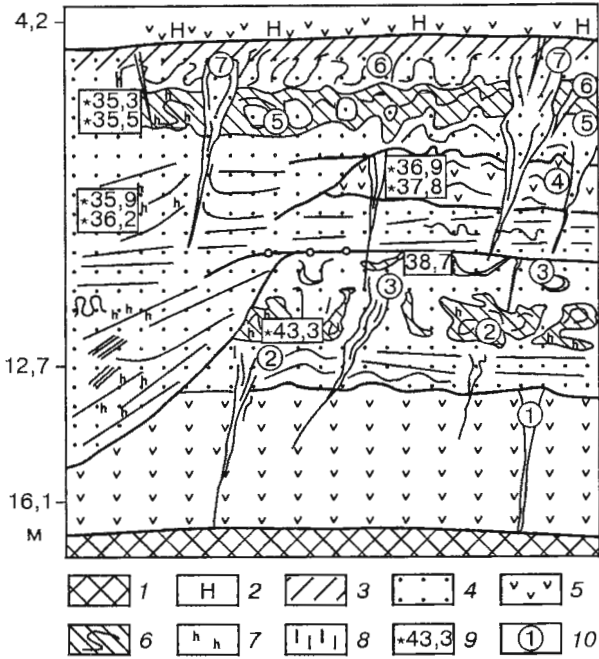


Рис. 6. Ярусное (циклическое) залегание псевдоморфоз в позднеплейстоценовой толще в разрезе Гров на севере Нидерландов (53° с.ш., 5° в.д.).

Дж. Ванденбергхе и К. Кассе выделяют 7 перигляциальных циклов [Vandenberghe, Kasse, 1993]:

1 — >43,3 тыс. лет назад, 2 — от 43,3 до 38,7 тыс. лет назад, 3 — от 38,7 до 37,7 тыс. лет назад, 4 — от 36,9 до 35,5 тыс. лет назад, 5 — менее 35,3 тыс. лет назад и еще две стадии с трудно определяемым интервалом. 1 — морена заальская, 2 — голоценовый торф и глина, 3 — голоценовый подзол, 4 — песок, 5 — торф, 6 — ил, 7 — гумус, 8 — оглеение, 9 — радиоуглеродные даты, 10 — перигляциальные (мерзлотные) уровни.

кладываются в то же время, когда мерзлые породы протаивают в результате вторжения речных вод. Ледяные жилы предыдущей фазы протаивают так же, как и верхняя часть мерзлых осадков, таким образом, ледяные жилы трансформируются в псевдоморфозы, которые и образуются в верхней части осадков.

Седиментационный цикл продолжается отложением тонких болотных фракций до тех пор, пока многолетнемерзлые породы, по крайней мере, частично не исчезнут в зависимости от их мощности и длительности периода наступления речных вод. Такой двухфазовый цикл для разреза Гров был отмечен, по меньшей мере, семь раз. Частая встречаемость насыщенных органикой болотных осадков позволяет детально датировать события. Это особенно относится к циклам 2, 3, 4, которые находятся как раз между радиоугле-

родными датировками. Впечатляет то, что перигляциальные циклы 3 и 4 и параллельные им седиментационные циклы длились очень короткое время: менее чем 0,9 тыс. лет и 1,4 тыс. лет соответственно.

Рост ледяных жил в условиях позднеплейстоценовых перигляциальных речных пойм прерывался фазами подтопления с частичным протаиванием мерзлоты. Когда пойма осушалась, погребенные остатки ледяных жил активизировались. Псевдоморфозы одного уровня находятся над головами псевдоморфоз более древнего уровня и частично проникают в них (см. рис. 6).

Напомним, что такое же объяснение яркости псевдоморфоз в 50-метровом обнажении Мамонтовой Горы дал Е. М. Катасонов [1979], показав, что псевдоморфозы там сингенетические, возникшие в ходе непрерывного осадконакопления, когда на аккумулятивной поверхности возникали водоемы, под которыми определенное время существовали талики.

Дж. Ванденбергхе и К. Кассе подчеркивают, что этот механизм циклического роста сингенетических жил отличается от классического формирования сингенетических повторно-жильных льдов, который характеризуется более постоянным осадконакоплением и одновременным ростом повторно-жильных льдов.

В качестве вывода еще раз подчеркнем, что торфяники и оторфованные горизонты в едome маркируют не потепление климата, а субаральную фазу развития полигонального массива, сопровождающуюся не смягчением, а увеличением степени суровости локальной геокриологической обстановки, т. е. снижением температур грунтов и активным ростом повторно-жильных льдов.

Я признателен Алле Васильчук за всестороннее обсуждение проблемы генезиса мощных ледяных жил, за помощь при работе с англоязычными источниками и за специальный палинологический комментарий распределения спорово-пыльцевых остатков в самих жилах и во вмещающих их породах. Я благодарен Т. Н. Капиной и Дж. Ванденбергхе за дискуссию и дополнительные материалы, а также В. В. Рогову за обстоятельную рецензию и С. М. Фотиеву за критическое заинтересованное отношение к подготовке материалов к печати.

Исследования финансируются Российским фондом фундаментальных исследований (гранты № 99-05-65075, 97-05-64320, 97-05-96508 и 96-05-65528), частично программой поддержки ведущих научных школ (грант № 96-15-98457) и программой „Интеграция“ (гранты № 5.1-425, 2.1-КО-802 и 4.1.-792-05).

Литература

- Васильчук Ю. К. Изотопно-кислородный состав повторно-жильных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). В 2-х т. М., Отд. теор. 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, т. 2, № 1, с. 48—54.
- Каплина Т. Н. Закономерности развития криолитогенеза в позднем кайнозое на аккумулятивных равнинах Северо-Востока Азии: Дис... д-ра геол.-мин. наук. М., 1986, 475 с.
- Катасонов Е. М. О времени образования термокарстовых котловин // Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии / Под ред. Е. М. Катасонова. Новосибирск, Наука, 1979, с. 66—72.
- Конищев В. Н., Маслов А. Д. Физические причины фронтального роста сингенетических полигонально-жильных льдов // Проблемы криолитологии / Под ред. А. И. Попова. Вып. 1. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969, с. 24—33.
- Константинова Г. С. О полигонально-жильных льдах на Анюйско-Кольмской равнине // Подземный лед. М., Изд-во Моск. ун-та, 1965, с. 104—111.
- Новейшие отложения и палеогеография плейстоцена Чукотки. М., Наука, 1980, 296 с.
- Маслов А. Д. Сингенез полигонально-жильного льда и эпигенетические этапы его развития // Подземный лед / Под ред. А. И. Попова. Вып. 3. М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, с. 57—64.
- Попов А. И. Особенности литогенеза аллювиальных равнин в условиях сурового климата // Изв. АН СССР., сер. географ., 1953, № 2, с. 29—41.
- Попов А. И. Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, 304 с.
- Томирдиаро С. В. Лессово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене. М., Наука, 1980, 184 с.
- Vandenberghe J., Kaase K. Periodic ice-wedge formation and Weichselian cold-climate floodplain sedimentation in the Netherlands // Permafrost. Sixth Int. Conf., Proceedings, vol. 1. Beijing, China. South China University of Technology Press, Wushan, Guangzhou, 1993, p. 643—647.
- Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk A. C. The model of thick syngenetic ice-wedge formation // The 28th Int. Arctic Workshop. Arctic and Alpine environments, Past and Present. March 12—14, 1998, Boulder, Colorado. Abstracts, 1998, p. 157—159.

Поступила в редакцию
2 июня 1998 г.