

Ш.Ш. Гасанов

ДЕФОРМАЦИИ ТЕЧЕНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ЛЬДОГРУНТОВЫХ СИСТЕМ

Деформации течения многолетнемерзлых пород на склонах под действием собственного веса до последнего времени не принимались во внимание, предполагался лишь латентный характер их проявления. Наши исследования в низовьях р. Индигирки показали, что в определенных ландшафтных условиях вечномерзлые льдогрунтовые системы могут оказаться в неустойчивом состоянии и подвергаться существенным деформациям течения, вследствие чего ледяные жилы и ядра полигонов могут отклоняться от вертикали более чем на 20° (рис. 1). На основе полученных материалов и с учетом законов механики мерзлых пород и льда разработана модель деформации естественных льдогрунтовых систем [Гасанов, 1978], концептуальную основу которой составляет вывод Н.А. Цытовича о том, что «... в массивах вечномерзлых грунтов, расположенных на горных склонах, возможны вязкопластические течения, подобно ледниковым» [Цытович, 1973, с.142].

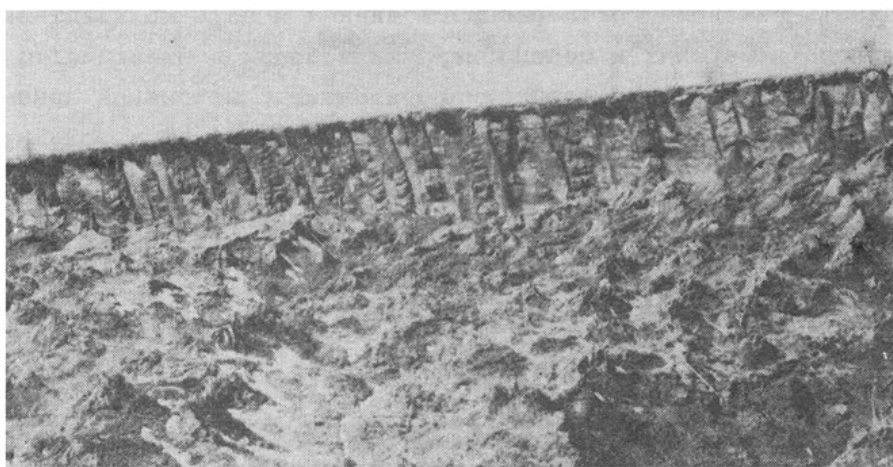


Рис.1. Наклонные ледяные жилы в обнажении Воронцовский яр в низовьях р.Индигирки

Искривленные ледяные жилы на склонах обнаруживались и раньше. Первым, по всей вероятности, их заметил С. Тебер, выделив в самостоятельный вид ледяных жил склонов Аляски [Taber, 1943]. Он объяснил их происхождение медленным смещением мерзлого грунта и жил вниз по склону. Однако этот справедливый вывод не был принят во внимание. Наклонные и «расщепленные» в кровле ледяные жилы Г.Ф. Гравис [1969] объяснял постепенным смещением вниз по склону морозобойной трещины благодаря солифлюкции. Модель блокового оползания многолетнемерзлых пород на склонах предложил Макр Робертс [McRoberts, 1975]. Эти предположения и гипотезы не подкреплялись конкретными следами происшедших деформаций в структуре и строении льдогрунтовых систем. Такие следы мы обнаружили в

криолитологическом строении известного обнажения Воронцовский яр в низовьях р. Индигирки. Они сводятся к следующему.

1. Поверхность представляет собой днище раннеголоценового термокарстового озера, под которым произошло частичное протаивание поверхностных слоев и глубокий прогрев подстилающих многолетнемерзлых пород. Следы неравномерного по глубине протаивания фиксируются в рельефе и в строении приповерхностных отложений. В видимой части обнажения до 700 м поверхность снижается с юга на севере на 20 м.

2. Повторножильные льды перекрываются слоем, состоящим из двух литогенетических разностей: а) над ледяными жилами залегают протаявшие в субаквальных условиях и в последующем промерзшие супеси, аналогичные по составу подстилающим супесям - таберальные осадки; б) супеси перекрыты аласными суглинками и супесями с большим содержанием остатков древесно-кустарниковой растительности. Толщина покровных отложений возрастает по мере снижения поверхности с юга на север от 1 до 3 м; в северной части обнажения они завершаются субаквальными псевдоморфозами по ледяным жилам глубиной до 4 м и более.

3. При толщине покровного слоя 2 м и более в нем развиты молодые и маломощные эпигенетические ледяные жилы, образовавшиеся после восстановления субэдрального режима на дне бывшего водоема. По составу они существенно отличаются от подстилающих сингенетических жил: твердых примесей в первых в несколько раз меньше, а газовых больше. Отмеченные различия связаны со сменой источников питания ледяных жил от речных на талые воды. Различия в источниках питания фиксируются и в цвете льда: эпигенетические жилы имеют коричневатожелтую окраску, сингенетические - грязно-бурую.

4. Наклон ледяных жил и ядер полигонов нарастает в направлении падения склона и увеличения толщины покровного слоя, т.е. в направлении более глубоких частей термокарстового озера - следствие более длительного пребывания систем в субаквальной обстановке, повышения температуры и кумулятивного наращивания деформаций в направлении наименьшего сопротивления.

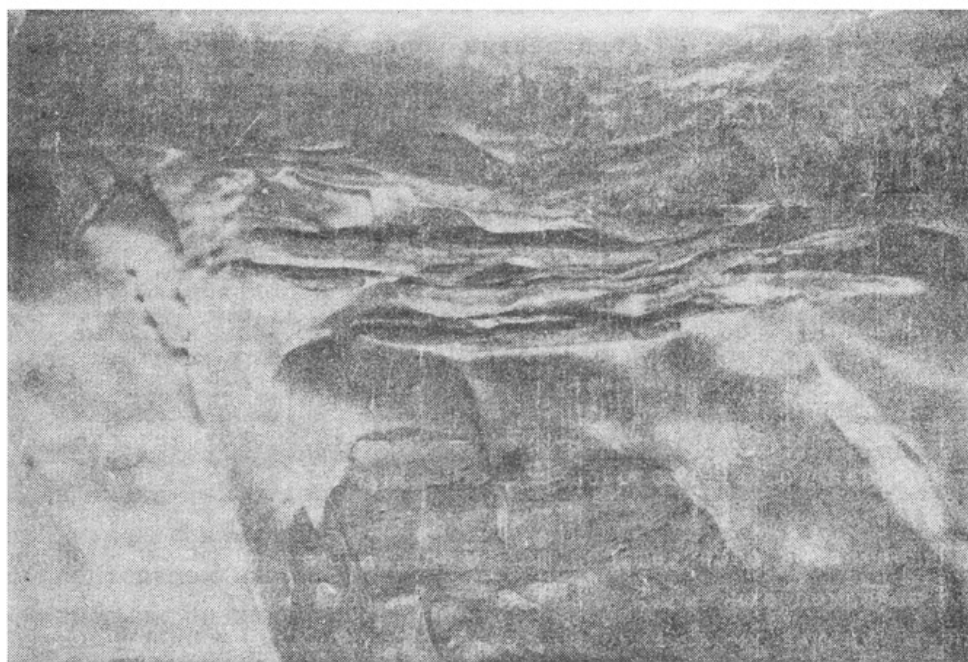


Рис. 2. Пещерно-термокарстовые образования в кровле повторно-жильных льдов

5. В кровле ледяных жил до глубины 3-4 м прослеживается множество льдогрунтовых пещерно-термокарстовых образований в виде колодцев, линз, слоев и т.п. - следствие субаквального таяния льдов с развитием процессов метасоматического замещения (рис. 2).

6. Ископаемая корневая система трав и стержневые корни кустарничковой растительности по всей высоте ядер полигонов ориентированы не по вертикали, а параллельно наклону жил, что с позиций геотропии в биологии означает вторичный характер их залегания вследствие происшедших деформаций системы.

7. По всей высоте наклонных ледяных жил прослеживаются горизонтальные и наклонные линзовидные прослойки прозрачного льда толщиной до 0,5 мм, длиной 2-3 см, подобные голубым лентам в ледниковом льду, - следы вязкопластических деформаций льда [*Соломатин и др., 1979; Шумский, 1955*].

Суммируя приведенные факты, можно восстановить следующую схему развития процессов на рассматриваемом участке. После формирования отложений, включающих мощные сингенетические ледяные жилы, видимо, в начале голоцена, по датировке древесины из псевдоморфозы, 8 тыс.л.н., произошло существенное повышение средних годовых температур многолетнемерзлых пород, что привело к более глубокому сезонному протаиванию, достигавшему 1,5-2 м против 0,5-0,6 м в настоящее время. Протаивание верхних горизонтов мерзлой толщи сопровождалось термокарстовым и термоэрозионным расчленением поверхности и завершилось образованием на данном участке крупного термокарстового озера. В зависимости от глубины озера и длительности его существования подозерные мерзлые породы протаивали на разную глубину, образуя покровный слой и подводные склоны различной крутизны, термокарстово-пещерные образования и псевдоморфозы по ледяным жилам. Протаивание верхних горизонтов сопровождалось существенным прогревом подстилающих пород, таянием льда-цемента, этого основного элемента прочности мерзлых пород, и радикальной перестройкой температурного поля. Наличие подводных склонов привело потеплевшие мерзлые породы в неуравновешенное состояние, в массиве развивались напряжения сдвига согласно

$$\tau = \gamma h \sin \alpha, (1)$$

вызывая продольные напряжения F , действовавшие на поперечное сечение массива согласно закону Э. Орована [см, *Шумский, 1955*]:

$$F = \int \gamma h \sin \alpha dx - \lambda_x, (2)$$

где τ - напряжения сдвига, γ - плотность пород, h - глубина от дна озера, α -угол подводного склона, x - расстояние поперечного сечения от вершины массива, λ - предел упругости пород.

На определенном этапе напряжения сдвига от собственного веса могли превзойти длительное сопротивление льдогрунтовой массы на сдвиг $\tau_{дл}$, что повлекло вязкопластическое течение пород вниз по склону согласно реологическому закону Шведова-Бингама [*Вялов, 1959*]:

$$\dot{u} = \frac{1}{2} (\tau - \tau_{дл}), (3)$$

где \dot{u} - скорость течения льдогрунтовой массы, η - коэффициент пластической вязкости.

В последующем произошел спуск озера и на его дне установился болотный режим, с которым, видимо, следует связывать образование органоминерального слоя таберальных осадков. После эпигенетического промерзания таликовых осадков покровного слоя в них образовались молодые эпигенетические ледяные жилы. Такой же процесс оползания мерзлых отвалов наблюдается на склонах [*Бондаренко, 1979; Городецкий и Пекарская, 1979*], причем его скорости настолько велики, что могут привести к аварийным ситуациям. На основе экспериментальных работ Г.И. Бондаренко [*1979*] предложил вполне удовлетворительную модель процесса, доведенную до расчетных формул. При этом следует учитывать, что в экспериментах были использованы гравелистые пески, с содержанием льда до 134, обладающие большей вязкостью, чем льдистые супеси с ледяными жилами, развитыми в районе обнажения Воронцовский яр.

Таким образом, деформации течения льдогрунтовых систем на склонах - вполне реальное явление. Оно находится в согласии с законами механики мерзлых пород, подтверждается экспериментальными работами по моделированию процесса и натурными наблюдениями за строением мерзлых пород. С этим явлением необходимо считаться в криолитологических и инженерно-геологических исследованиях для правильной оценки мерзлотной обстановки, а также при проектировании сооружений на склонах. При бурении по наклонным жилам льда их ошибочно принимают за горизонтальные многослойные пласты льда.

На основе выполненного анализа можно предположить, что деформированные льдогрунтовые системы имеют широкое распространение в зоне вечной мерзлоты особенно в днищах многочисленных аласов с частичным протаиванием мерзлоты под ними. В связи с этим необходимо разработать адекватную модель процесса, используя для этого опыт и достижения гляциологии в решении подобных задач. При этом в исходных абстракциях и аксиомах следует избегать замены сложного, неоднородного по свойствам массива плоской каркасно-стержневой моделью: как известно, для сплошной среды характерны все виды деформаций, которые приводят к искривлению первоначально плоских сечений, а в каркасно-стержневой системе все элементы остаются плоскими и после деформаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондаренко Г.И.* Прогнозирование скорости оползания мерзлых отвалов на скальных склонах. - В сб.: Инженерное мерзлотоведение. Новосибирск, 1979, с.197-204.
2. *Вялов С.С.* Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. М., Изд-во АН СССР, 1959, 186 с.
3. *Гасанов Ш.Ш.* Главнейшие особенности литогенеза в криогенной зоне (криолитогенез). - Автореф.дисс. на соиск.учен.степ.докт.геогр.наук. М., МГУ, 1978, 42 с.
4. *Городецкий С.Э., Пекарская Н.К.* Особенности отвалов в Заполярье и метод расчета их устойчивости. - В сб.: Инженерное мерзлотоведение. Новосибирск, 1979, с. 95-100.
5. *Гравис Г.Ф.* Склоновые отложения Якутии. М., «Наука», 1969, 127 с.
6. *Соломатин В.И., Зарецкий Ю.К., Чумичев Б.Д., Хлап В.Г.* Исследование структурных процессов в деформируемом льде (на основе метода прямых наблюдений). - В сб. Инженерное мерзлотоведение. Новосибирск, 1979, с. 188-191.
7. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. М., «Высшая школа», 1973, 441 с.

8. *Шумский П.А.* Основы структурного ледоведения. М., Изд-во АН СССР, 1955, 492 с.

9. *McRoberts E.C.* [Some aspects of a simple secondary creep model for deformation in permafrost slopes](#). - Canad. Geotech. Journ., 1975, v.12, p.98-105.

10. *Taber S.* [Perennially frozen ground in Alaska: its origin and history](#). - Bull.Geol. Soc.America, 1943, v.54, № 10, p.1433-1548.

SUMMARY

Permafrost on slopes undergoes viscous-plastic deformations in a latent and evident form, the same as glaciers. The creeping of ice - ground systems is most active under subaqueous conditions with partial melting of permafrost. The brightest morphological evidence of such deformations is the inclination of ice wedges towards thermokarst basins. The secondary nature of such inclination is proved by the same inclination of the roots of vegetation in the nuclei of polygons. One of the most actual problems in the studies of this phenomena is the development of the adequate model and kinematic theory of the flow deformation of permafrost systems on slopes.

Ссылка на статью:



Гасанов Ш.Ш. Деформации течения вечномерзлых льдогрунтовых систем // Материалы гляциологических исследований. 1981. № 41. С. 55-58.