

Л.С. Троцкий

О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРЫ ЛЕДНИКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХОЛМИСТО-ГРЯДОВОГО МОРЕННОГО РЕЛЬЕФА НА ШПИЦБЕРГЕНЕ

В краевой зоне ряда крупных ледников Шпицбергена вместо конечно-моренного вала встречаются значительные площади холмисто-грядового рельефа, возникшего на месте полей мертвого льда, оставленных ледником при своем отступании. Так, перед фронтом ледников Натхорста и Паула такой рельеф прослеживается по обоим берегам фиордов на расстоянии 10-15 км.



Рис.1. Холмисто-грядовый моренный рельеф в краевой зоне ледника Натхорста

Относительная высота моренных холмов и гряд обычно не превышает 10-15 м, а чаще равна 5-7 м. Западины между ними нередко заняты небольшими озерами (рис. 1). Вершины многих моренных холмов имеют разнообразные очертания, а некоторые из них увенчаны причудливыми формами в виде стен, башен, столбов, колонн и т.п. из очень плотного валунного суглинка. Толщина стен, стоящих вертикально или с некоторым наклоном, колеблется от 0,5 до 3 м (рис. 2).

Впервые эти моренные формы на Шпицбергене описал К.Грипп [*Gripp, 1929*] перед краем ледников Сефстрём, Холмстрём и Натхорста. Позднее М. Климашевский

[*Klimaszewski, 1960*] наблюдал аналогичный комплекс форм у края ледника Осборн, а Я.Шупрычинский [*Szupryczynski, 1968*] перед ледником Монако. Автор настоящей статьи имел возможность наиболее подробно ознакомиться с подобным рельефом в краевой зоне ледника Натхорста.

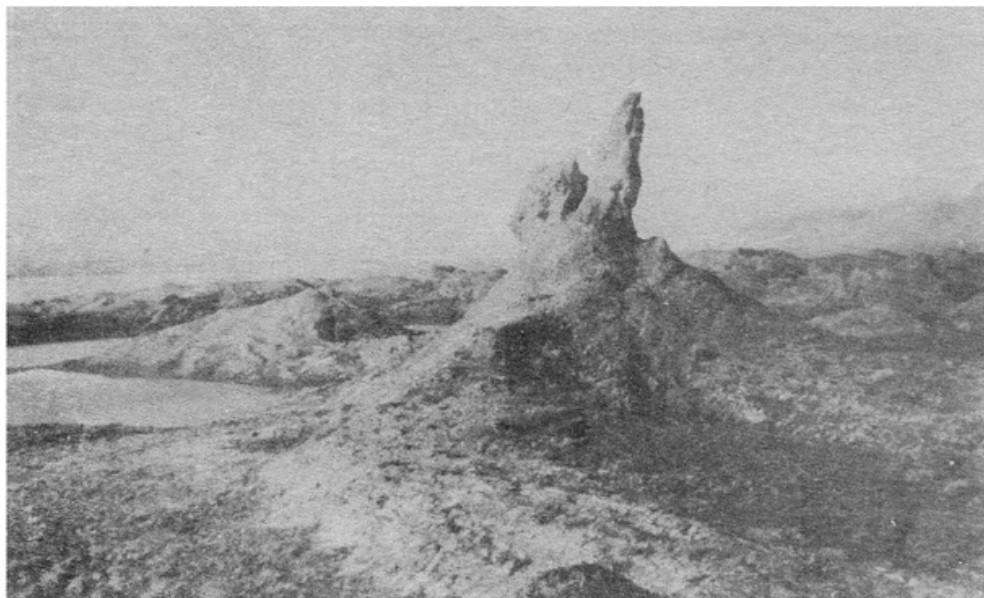


Рис.2. Свежевытаявшие вертикальные внутриледниковые пласты морены и слоистых песчано-глинистых осадков перед краем ледника Натхорста

Прежде всего необходимо отметить, что при кажущейся беспорядочности моренные холмы образуют в плане закономерные линейные или решетчатые системы. Цепи холмов нередко вытянуты в прерывистые гряды, которые расположены параллельно или несколько под углом друг к другу. Столь правильное размещение моренных форм обусловлено, как мы увидим далее, особенностями структуры краевой части ледника Натхорста.

На обширных площадях мертвого льда перед краем ледника наблюдается массовое вытаивание мощных внутриледниковых прослоев морены по прямым или перекрещивающимся линиям. Мерзлая морена поднимается над тающей поверхностью льда в виде невысоких гряд и холмов, которые по мере оттаивания расплываются, образуя сильно разжиженный слой поверхностной морены, медленно стекающей по уклону. Но часть вытаивающих моренных прослоев из наиболее плотного суглинка некоторое время сохраняет форму узкой гряды или стены. Судя по фотографиям, приведенным в работе К.Гриппа [*Gripp, 1929*], во время посещения им этого ледника в 1927 г. такое вытаивание морены из льда наблюдалось в значительно более широких масштабах.

В краевой части ледника Натхорста моренные прослои расположены во льду вертикально или несколько наклонно; их толщина достигает 3-4 м. Они сложены большей частью неслоистым валунным суглинком, однако в ряде мест можно наблюдать вытаивание целых пластов первично слоистых илистых осадков, причем слои расположены параллельно плоскости пласта, иначе говоря, поставлены на голову. Подобные же осадки с вертикальным или крутопадающим положением слоев отмечены нами в ядре некоторых уже полностью вытаявших из льда холмов и гряд. В этих осадках иногда встречаются хорошо сохранившиеся створки раковин

четвертичных морских моллюсков, что свидетельствует о переотложении ледником современных и четвертичных морских осадков.

Аналогичные крутопадающие внутриледниковые прослои обломочного материала, в том числе и пласты слоистых илов и тонкозернистых песков, наблюдались Ж.С. Болтоном [*Boulton, 1967; 1968*] в краевой части некоторых ледников на северо-востоке Западного Шпицбергена (Новая Фрисландия), где их толщина достигала 5 м. Вытаивание мощных внутриледниковых моренных прослоев и образование серии небольших гряд на поверхности ледников отмечалось также в Исландии [*Todtmann, 1960; Woldtstedt, 1954*] и Гренландии [*Koch & Wegener, 1911*]. Следует заметить, что эти гряды существенно отличаются от широко распространенных на ледниках конусов деградации («муравьиных куч»), образующихся на месте вытаивания взброшенной по плоскостям надвигов морены. Последние обычно содержат ледяное ядро, покрытое плащом морены, в то время как описанные моренные гряды целиком сложены мерзлым грунтом.

Образование вертикальных и крутопадающих мощных внутриледниковых моренных прослоев в ледниках К.Грипп [*Gripp, 1929*] и его последователи [*Hoppe, 1952; Klimaszewski, 1960; Todtmann, 1960; Woldtstedt, 1954* и др.] объясняли вдавливанием находящегося в пластическом состоянии подледникового грунта в придонные трещины под действием тяжести льда. После вытаивания льда образуется описанный выше холмисто-грядовый рельеф со стеновидными формами (*Aufpressungsrücken*). Гипотеза К.Гриппа получила широкое признание при объяснении происхождения холмисто-грядового рельефа в областях плейстоценовых оледенений.

Однако предложенный К.Гриппом механизм образования внутриледниковых моренных прослоев не может объяснить фактов существования среди них пластов грунта с сохранившейся первичной слоистостью. В случае выжимания пластической массы грунта в донные трещины слоистость в нем нарушилась бы полностью. Кроме того, как показали исследования последних лет, далеко не под всеми ледниками Шпицбергена грунты находятся в оттаявшем состоянии. Так, бурением скважин в концевой части ледника Бертиль на глубину до 80 м, проведенным геологами советского угольного рудника Пирамида, установлены отрицательные температуры льда до самого ложа ледника и в подстилающих его коренных породах (от -2. до -2,7°). Вне ледников вечная мерзлота на Шпицбергене достигает мощности 200-300 м. Повидимому, под языковой частью большинства ледников архипелага находятся мерзлые грунты, и только под наиболее мощными ледниками с «теплым» льдом, формирующимся в теплой фирновой зоне, можно предполагать наличие незамерзающих грунтов, что обусловлено также отепляющим действием проникающих по трещинам талых вод и влиянием геотермического потока тепла.

Объяснение механизма внедрения пластов мелкозернистого материала в теле ледника необходимо искать в первую очередь в особенностях формирования структуры морено-содержащей толщи льда в ледниках. В настоящее время большинство исследователей включение и подъем обломочного материала с ложа внутрь ледника связывают с развитием во льду в процессе его движения плоскостей разрывов и чешуйчатых сколов [*Bishop, 1957; Weertmann, 1961; Swinzow, 1962; Boulton, 1967; Souchez, 1967* и т.д.]. Именно этот механизм как нельзя лучше объясняет образование мореносодержащей толщи в леднике.

Строение мореносодержащей толщи в краевых частях ледников Шпицбергена весьма разнообразно. Общая мощность этой толщи и доля содержания в ней обломочного материала колеблются в широких пределах. Некоторые даже крупные ледники несут очень мало обломков. После стаивания такого льда образуется маломощный прерывистый плащ морены. В других ледниках общая мощность

мореносодержащей толщи достигает 35-40 м (например, ледники Валлаккра, Бертиль и др.). Такая толща имеет нередко весьма сложное строение, с четко выраженными надвиговыми и складчатыми структурами. По визуальным оценкам, при вытаивании льда из такой толщи может образоваться сплошной слой морены до 5-7 м мощности. Резкое увеличение содержания морены во льду наблюдается обычно в районе распространения легко разрушаемых коренных пород.

Большой интерес представляет изучение мореносодержащей толщи ледника Валлаккра, расположенного на восточном берегу бухты Риндер (Ван-Мейен-фиорд). Здесь в глубоком каньоне ледникового ручья, прорезающем крутую лобовую часть ледника, вскрывается строение этой толщи, представленной многократным чередованием горизонтально залегающих слоев мореносодержащего и относительно чистого льда с четко выраженной полосчатостью. В нижней части толщи между слоями льда заключен пласт темно-серых илоподобных суглинков мощностью до 2 м, который прослеживается в основании обнажения на расстоянии более 50 м. В них встречаются рассеянные небольшие валуны и галька, а также целые створки раковин четвертичных морских моллюсков. Местами в суглинках наблюдаются тонкие прослойки мелкозернистого песка с ненарушенной первичной текстурой. Не остается сомнения, что это те же четвертичные гляциально-морские осадки, которые широко распространены по берегам бухты Риндер до высоты 130-140 м над ур. моря. Ледник Валлаккра эродировал их и включает в свою толщу, в том числе в виде целых отчлененных от грунта пластов с ненарушенной слоистостью. Пласт суглинков находится в мерзлом состоянии. Он пронизан тонкими ледяными шлирами, типичными для вечномерзлых грунтов. Сохранность первичной текстуры суглинков заставляет считать, что они были вовлечены в тело ледника также в мерзлом состоянии.

Механизм захвата подстилающего ледником грунта представляется нам в следующем виде. Вследствие образования плоскостей разрывов и скалывания отдельные участки придонных слоев ледника могут временно выключаться из движения. В это время они прочно смерзаются с подстилающим грунтом. При последующем вовлечении этих слоев в движение новая плоскость разрыва может возникнуть не на контакте лед-грунт, а глубже, например, по песчаному прослою в тех же гляциально-морских суглинках. В результате отчлененный по ослабленному контакту и примерзший к основанию ледника пласт начнет скользить по нижележащему мерзлому грунту и вскоре будет вовлечен по плоскости надвига в толщу льда, часто без изменения первичной текстуры.

При образовании плоскостей скалывания параллельно ложу внутриледниковые пласты грунта будут залегать горизонтально вблизи основания ледника. При наличии подпора движению льда и возникновении крутых чешуйчатых надвигов эти пласты могут быть высоко подняты внутрь ледника и к его поверхности. Именно такие крутопоставленные пласты грунта во льду мы и наблюдаем в краевой зоне ледника Натхорста. После вытаивания этих пластов из льда образуются описанные выше стеновидные моренные формы. В некоторых таких моренных стенах, вместо первичной слоистости наблюдается чешуйчатая структура, свидетельствующая о наличии в пластах грунта, так же как и во льду, послойного движения.

Большое насыщение льда пластинами мелкозернистого материала говорит об интенсивной экзарационной деятельности ледника при движении его по рыхлым, хотя и скованным вечной мерзлотой, породам.

Описанный механизм внедрения в толщу ледника целых пластов подстилающего его грунта по существу объясняет образование отторженцев, в том числе и из рыхлых пород, нередко встречаемых в моренных отложениях далеко от мест своего коренного залегания. Нахождение довольно крупных блоков рыхлых пород,

чуждых данному району, в морских и гляциально-морских осадках объясняется разносом их айсбергами, продуцируемыми спускающимися в море ледниками. После обтаивания плавающего айсберга и прекращения действия архимедовой силы блок породы вместе с оставшимся льдом может спокойно опуститься на дно моря, где окончательно вытаять, сохранив при этом свою первичную текстуру.

Что касается гипотезы К.Гриппа, то она может быть приложима к объяснению некоторых частных случаев, например, внедрения донных осадков в основание трещин при быстром наступании ледника по дну мелководного залива. Однако и здесь решающая роль в ассимиляции ледником донного материала будет принадлежать, по-видимому, надвиговым структурам.

К частным случаям можно отнести также образование внутриледниковых вертикальных моренных прослоев путем заполнения открытых трещин абляционной мореной или флювиогляциальными отложениями. Вытаивание таких инверсионных форм, сложенных моренным суглинком или горизонтально слоистыми гравийно-галечниковыми песками с валунами, иногда можно наблюдать на поверхности ледников или у их края. Однако эти формы являются вторичными, возникшими в результате вытаявания и перераспределения на поверхности ледника прежде всего внутренней морены, поднятой с ложа по плоскостям сколов и надвигов.

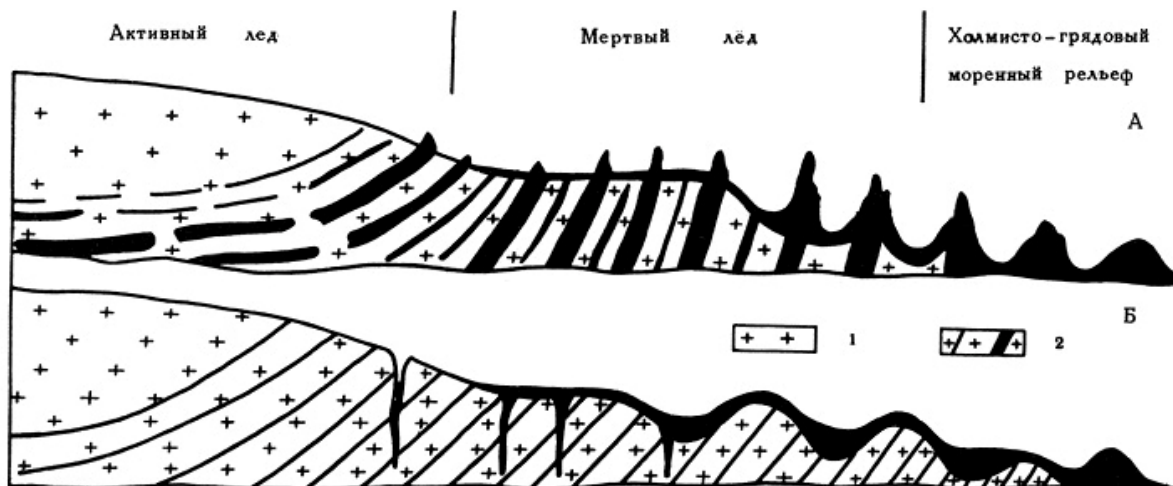


Рис.3. Схема развития прямого (а) и обращенного (б) холмисто-грядового моренного рельефа; 1 - лед, 2 - морена

Формирование ориентированного холмисто-грядового моренного рельефа происходит только при вытаявании вертикальных или крутоставленных внутриледниковых пластов обломочного материала. В этом случае образуется прямой холмисто-грядовый моренный рельеф, обусловленный структурой ледника (рис. 3а). Частота моренных гряд и их взаимное расположение целиком зависят от структурных особенностей мореносодержащей толщи и размещения в ней внутриледниковых моренных пластов.

При наличии в леднике маломощных прослоев морены или даже достаточно мощных, но горизонтально залегающих внутриледниковых пластов обломочного материала, процесс вытаявания морены идет совсем другим путем. Он проходит стадию образования абляционной морены, подвергающейся затем повсеместному, а нередко и неоднократно, перераспределению на поверхности тающих мертвых льдов. Вытаявшая морена сползает и смывается с возвышенных участков и концентрируется в понижениях. После полного стаивания льда образуется

инверсионный хаотичный холмисто-моренный рельеф, не связанный со структурой ледника (рис. 3б).

Серии невысоких моренных гряд, встречающиеся перед краем некоторых ледников, обычно рассматривают как конечноморенные образования постепенно отступавшего ледника. Но, как показывает изучение краевой зоны ледника Натхорста, такой грядовый моренный рельеф в ряде случаев может возникнуть одновременно на обширной площади мертвого льда за счет вытаивания внутриледниковых крутоподнятых пластов обломочного материала. Более того, в связи с неравномерным покрытием льда абляционной мореной, иногда наблюдается обратный порядок вытаивания гряд: сначала вблизи ледника, а затем - в удалении от него.

Ж.С. Болтон [*Boulton, 1967*] отмечает, что в результате вытаивания крутоподнятых пластов слоистого материала могут образоваться гряды, обычно принимаемые за небольшие морены напора или маргинальные озы. Описанный Е.М. Тодманн [*Todtmann, 1960*] перед краем некоторых ледниковых языков, спускающихся с ледникового купола Ватна-Ёкуль (Исландия) параллельный им мелкогрядовый рельеф (*Grunspaltenwälle*) образовался, по нашему мнению, также вследствие неглубокого внедрения подледной морены по сериям небольших сколов, а не путем выжимания ее в придонные трещины.

Дальнейшее изучение структуры мореносодержащей толщи и механизма образования моренных форм в краевой зоне современных ледников будет во многом способствовать правильному пониманию генезиса ледникового рельефа в областях плейстоценовых оледенений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bishop B.C.* Shear moraines in "the Thule area, northwest Greenland. U.S. Snow, Ice and Permafrost Research Establishment, Research Report 17, 1957.
2. *Boulton G.S.* The development of a complex supraglacial moraine at the margin of Sorbreen, Ny Friesland, Vestspitsbergen. *Journ. of Glaciology*, v. 6, N 47, 1967.
3. *Boulton G.S.* Flow tills and related deposits on some Vestspitsbergen glaciers. *Journ. of Glaciology*, v. 7, K 51, 1968.
4. *Gripp K.* Glazialgeologische und geologische Ergebnisse der Hamburgischen Spitzbergen-Expedition 1927. *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Verein in Hamburg*, Bd. 22, Ht. 3-4, 1929.
5. *Hoppe G.* Hummocky moraine regions with special reference to the interior of Norrbotten. *Geogr. Annaler, Arg.* 34, Ht. 1-2, 1952.
6. *Klimaszewski M.* Studia geomorfologiczne w zachodniejczesci Spitsbergenu miedzu Kongs-fiordem a Eidem-bukta. In: *Zesz. Nauk. Iagiel.*, 32. *Prace geograficzne, Seria Nowa*, z.1, Krakow, 1960.
7. *Koch I.P., Wegener A.* Die glaciologischen Beobachtungen der Danmark-Expedition. *Meddelelser om Gronland*, Bd. 46, N 1, 1911.
8. *Souchez R.A.* The formation of shear moraines: an example from South Victoria Land, Antarctica. *Journ. of Glaciology*. v.6, N 48, 1967.
9. *Swinzow G.K.* Investigation of shear zones in the ice sheet margin, Thule area, Greenland. *Journ. of Glaciology*, v.4, N 32, 1962.
10. *Szupryczynski I.* Niektore zagadnienia czwartorzędu na obszarze Spitsbergenu *Prace Geograficzne*, Inst. Geogr. Polskiej Akad. nauk, N 71, Warszawa, 1968.
11. *Todtmann E.M.* Gletscherforschungen auf Island (Vatnajökull). *Abhandlungen aus dem Gebiet der Auslandskunde*, Bd. 65, Hamburg, 1960.

12. *Weertmann I.* Mechanism for the formation of inner moraines found near the edge of cold ice caps and ice sheets. Journ. of Glaciology, v. 3, N 30, 1961.

13. *Woldtstedt P.* Das Eiszeitalter. Bd. I, Stuttgart, 1954.

SUMMARY

In a marginal zone of a set of large glaciers on Spitzbergen an oriented ridge - rolling morainic relief widely occurs with wall-like forms. It is resulted from dead ice melting around vertical and steep thick interglacial morainic inter-layers and in some cases around whole layers of initially stratified fine sediments. The mechanism of introducing such layers into a glacial body is related not to squeezing out underglacial ground into bottom crevasses under ice load but to the development of planes of rupture in ground frozen to the bottom of the glacier, to the separation of ground layers and to introducing them along thrust-fault planes into ice thickness. In ice melting around steep interglacial layers of debris ridge-rolling morainic relief develops which is conditioned by the glacier structure. In ice melting around thin morainic interlayers or horizontal layers of debris an ablation moraine is formed which is redeposited on the surface of dead ice and is concentrated in developing depressions. As a result an inverse chaotic rolling morainic relief is formed which is not related to the glacier structure.

Ссылка на статью:



Троицкий Л.С. О влиянии структуры ледников на формирование холмисто-грядового моренного рельефа на Шпицбергене. Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. 1970. № 16. С. 178-183.