

Ст. преподаватель
СКГМИ (ГТУ)
И.М. Васьков



Ст. преподаватель
СКГМИ (ГТУ)
М.А. Гагкаев

О возможности быстрого разрушения ледников на горных склонах

И.М. Васьков, М.А. Гагкаев

Горные вершины в зоне вечных снегов (выше снеговой линии) нередко украшены сплошными ледовыми коронами или отдельными ледовыми полями. При благоприятных условиях, благодаря реологическим свойствам льда, ледовые поля сливаются и как гигантские потоки стекают в долины намного ниже снеговой линии. В зависимости от повышения или понижения температуры, изменения в ту или иную сторону количества выпадающего снега в зонах питания ледников, ледовые потоки или увеличивают скорость и сползают все ниже и ниже по долинам, либо отступают к своим истокам. Но отступление ледника совсем не говорит о прекращении течения льда вниз, из-за общего повышения температуры окружающей среды тает больше льда, чем поступает сверху. Такие движения концов ледников достаточно медленны, отмечаются и измеряются при специализированных наблюдениях, но иногда случается так, что скорости движения льда вниз увеличиваются в десятки, сотни, а то и в тысячи раз. В этих случаях происходит не плавное течение, обусловленное реологическими свойствами льда, но дробление тела ледника на отдельные блоки и обломки, каждый из которых движется по своей траектории. Возникающие на ледниках кинематические волны движутся намного быстрее, чем сам лед.

Авторам статьи в доступной им литературе не удалось найти подтвержденного расчетами ответа на вопрос, при каких условиях ледовое тело на горном склоне может резко изменить характер движения под действием собственного веса (G) и в какой зависимости находится такое изменение от угла наклона ложа ледника (α), его толщины (H).

Выбор методики расчета достаточно сложен по многим причинам, а именно:

- разнообразие путей образования и метаморфических изменений льда в ледниках;
- наличие многочисленных разрывов ледовых

тел как генетического (за счет резких изменений плотности фирна и енвльда, льда различных генераций, льда и горных пород), так и динамического (возникающих из-за разницы скоростей движения отдельных частей ледовых потоков и неровностей ложа в плане, поперечном и продольном сечениях) характера;

– наличие различного количества каменного материала в теле и на поверхности ледника вследствие его неравномерного распределения. Все это приводит к значительным разбросам значений прочностных характеристик материала, слагающего ледники.

Для получения представления о значениях параметров G , α и H в первом приближении за основу взяты следующие положения:

а) лед – хрупкое, твердое тело (все исследователи и путешественники, описывая движущиеся льды, отмечают как самую главную опасность наличие большого количества разнообразных трещин);

б) для расчетов применялись значения деформационных (прочностных) характеристик, полученные экспериментально при исследованиях различных типов льда [1], в их минимальных значениях для построения нижней ветви доверительного коридора;

в) для частного расчета размеры в плане и угол ложа ледника взяты в соответствии с размерами ледника Колка, как наиболее изученного из ледников «непосед»;

г) из-за необходимости абстрагировать приближенные расчеты ширина ложа, включая нижнюю часть боковых поверхностей, проектируется на наклонную плоскость;

д) учитывая расчлененность тел ледников субвертикальными трещинами различных направлений, принимается, что вертикальные призмы в момент разрушения имеют минимальное взаимодействие

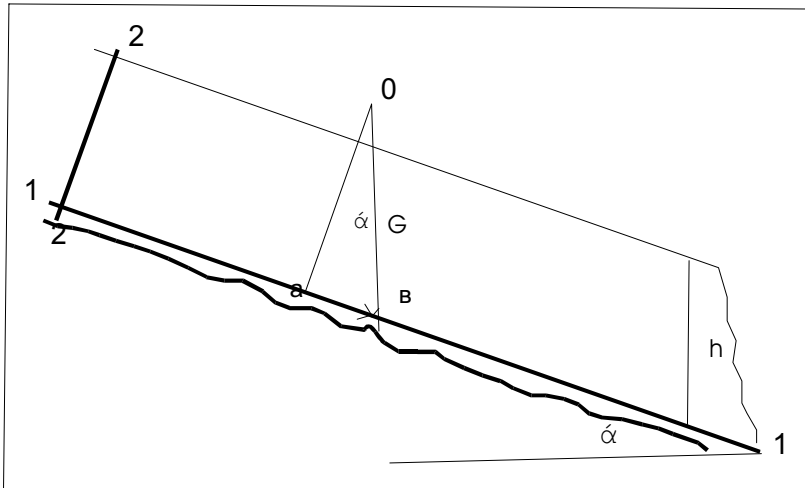


Рис. 1. Положение расчетных сечений и распределение сил.

между собой и с боковыми стенками ложа.

При расчете использовались следующие параметры и их значения:

касательные напряжения – $t = 3,1 \text{ кг/см}^2$, при $T = -3,1^\circ\text{C}$ (максимальное значение $t = 9 \text{ кг/см}^2$ при $T = -12^\circ\text{C}$);

нормальные напряжения – $s = 5 \text{ кг/см}^2$ при $T = -3,1^\circ\text{C}$ (максимальное значение $s = 13,7 \text{ кг/см}^2$ при $T = -2^\circ\text{C}$);

удельный вес льда – $g = 916,8 \text{ кг/м}^3$.

При прямоугольной форме поперечного и продольного сечений (ширина 750 м и длина 2500 м) и уклоне ложа $8,3^\circ$ срезающая сила (F) по сечению основания при незакрепленных верхних и боковых частях будет равна:

$$F = [t] \times b \times l = 3,1 \text{ кг/см}^2 \times 75000 \text{ см} \times 250000 \text{ см} = 58125 \times 10^6 \text{ кг}. \quad [1]$$

Вес льда (G) в этом случае составит:

$$G = F : \sin \alpha = 58125 \times 10^6 \text{ кг} : 0,14435 = 402667,1 \times 10^6 \text{ кг}. \quad [2]$$

При этом толщина льда (H) будет равна:

$$H = G : (S \times g) = 402667 \cdot 10^3 \text{ кг} : (750 \times 2500 \times 0,9168) = 234 \text{ м}. \quad [3]$$

Принимая, что объем полостей различного генезиса внутри ледника (трещины, каналы стока и т.д.), составляет до 10 % от площади выбранного сечения, то толщина льда составит:

$$H = 234 : 0,9 = 260 \text{ м}.$$

Определим, каково будет поперечное сечение 2-2, работающее на отрыв, когда ледовое тело находится в предельном равновесии под действием про-

дольной силы $F = 58125 \times 10^6 \text{ кг}$. Очевидно, что малейшее превышение силы F приведет к передаче всей силы на сечение 2-2. Тогда площадь сечения для предельного равновесия должна быть:

$$S_{1-1} = F : [s] = 58125 \times 10^6 \text{ кг} : 5 \text{ кг} = 11625 \times 10^6 \text{ см}^2 = 1625 \times 10^2 \text{ м}^2. \quad [4]$$

Какова должна быть толщина льда при совместной работе сечений 1-1 и 2-2, при площади основания $1875 \times 10^4 \text{ м}^2$ ($750 \times 2500 \text{ м}$)?

Соотношение допускаемых напряжений $t : s$ составляет $3,1 : 5$, или 38 и 62 %. Размеры площадей сечений 1-1 и 2-2 обратно пропорциональны.

$$\text{Тогда: } S_{1-1} : 62 = S_{2-2} : 38$$

$$S_{2-2} = (1875 \times 10^4 \times 38) : 62 = 1149 \times 10^4 \text{ м}^2 \quad [5]$$

Толщина льда при этом должна была бы составить: $H = 1149 \times 10^4 \text{ м}^2 : 750 \text{ м} = 15350 \text{ м}$, что нереально.

На основании приведенного расчета можно сделать вывод, что сечение 2-2 не работает, то есть сказывается влияние поперечных разрывов ледового тела.

Учитывая, что критическая толщина льда ($H_{кр}$) зависит от угла наклона ложа, для характеристик льда и сечений, принятых при расчете, можно рассчитать величину критической толщины льда при различных уклонах (без учета трещин).

График зависимости предельной толщины льда от угла наклона ложа представлен на рис. 2.

Полученная кривая по своему виду, отвечает равнобочной гиперболы, каноническое уравнение которой имеет вид:

$$x y = a^2 : 2. \quad [6]$$

В данном случае $a = 66$.

Для расчета предельной толщины льда (H) в зависимости от угла наклона ложа ледника (α) формула [6] может быть представлена в следующем виде:

$$H = a^2 : 2\alpha \quad [7]$$

Полученное выражение описывает состояние льда как хрупкого тела, без учета его реологических свойств.

Как показывают экспериментальные исследования [1]: «Коэффициент вязкости льда зависит от

Углы наклона ложа, град.	8.3	15	30	45	60	75
Толщина льда, м.	234	130	67	48	39	35x

величины нагрузки (напряжений), уменьшаясь и притом не линейно, а по степенному закону с увеличением напряжений». «При нагрузке, не превышающей 50 % от разрушающей, наибольшей скоростью пластических деформаций (20×10^{-7} см/сек или около 7 м/год) и наименьшей вязкостью ($1,36 \times 10^{13}$ пуаз) обладает поликристаллический лёд со средним размером диаметра кристаллов 4–5 мм при температуре -3°C »

Многочисленные измерения скоростей движения льда ледников Кавказа [2] показывают, что они колеблются в широких пределах, достигая десятков и сотен м/год, намного превышая скорости пластических деформаций, определенных лабораторным путем. Изменение скорости движения льда находится в прямой зависимости от углов наклона поверхности и ложа ледника, температуры и толщины

Именно поэтому нижние части (языки) горно-долинных ледников имеют среднюю толщину около 130 м [2], что почти в два раза меньше расчетной критической толщины (Н).

В то же время толщина ледников, которые располагаются на высотах около 4000 м, т.е. значительно выше снеговой линии и при значительной крутизне ложа, достаточно близко приближается к расчетной критической величине, что хорошо видно на фото (рис. 3).



Рис. 3.

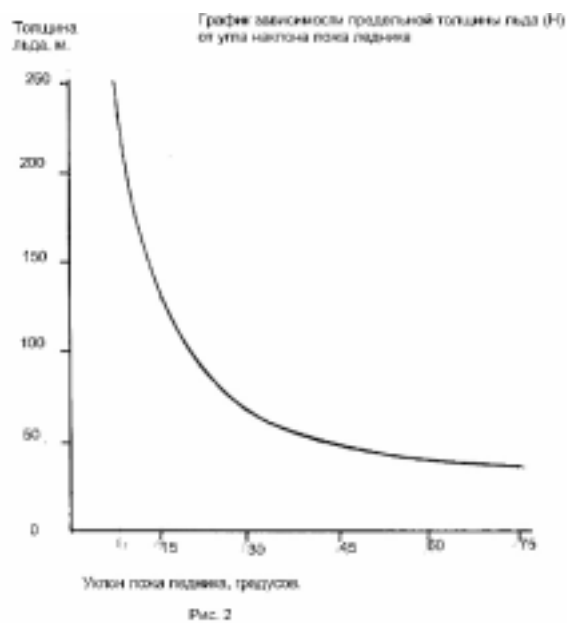


Рис. 2.

Висячий ледник на северном склоне горы Уилпата находится на высоте 4100–4600 м, уклон 45° и толщина (по описанию альпинистского маршрута) 35–37 м.

На основе приведенных данных можно сделать следующее предположение.

При увеличении толщины льда на склоне проис-

ходит увеличение срезающей нагрузки в основании толщи, что приводит к уменьшению вязкости льда и увеличению скоростей течения; увеличение температуры льда также ведет к уменьшению его вязкости. Вследствие этого, толщина ледников, находящихся в пределах снеговой линии или ниже нее (в условиях, когда среднегодовая температура -3°C и выше), вряд ли может достигать критической.

Литература

1. Лавров В.В. Деформация и прочность льда. – Ленинград: Гидрометиздат, 1969. 205 с.
2. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. – Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 1993. 430 с.