

в скорости движения льда посредине и на концах линии за 12 лет. В среднем за год опережение составит около 5 м. При закрепленных концах линии такую величину можно было бы принять за скорость движения льда в поверхностном слое, но так как линия не была закреплена и оба конца ее лежат на льду и также принимали участие в движении, то, очевидно, что в каждой данной точке скорость движения льда должна быть больше величины опережения.

Случайное обстоятельство позволяет нам определить если не действительную, то хотя бы среднюю минимальную скорость движения ледника. Дело в том, что линия оканчивается на разных расстояниях от боковых стенок кара. Если северный конец линии подходит вплотную к склону кара и лежит на мало подвижном участке фирнового поля, то южный ее конец расположен почти в осевой зоне ледника и должен был бы передвигаться с большей скоростью, чем северный. И действительно, линия камней была выложена С. Г. Бочем по азимуту  $350^\circ$ , а азимут хорды, стягивающей концы этой дуги, по которой расположены вежи «линии Боча»<sup>1</sup> сейчас составляет  $335^\circ. 15'$  — это тот угол, на который повернулась вся линия вех относительно северного конца благодаря более быстрому движению ее южного крыла.

Предположим далее, что северный конец линии оставался неподвижным. Проведя от него прямую по азимуту  $350^\circ$  и опустив с нее перпендикуляры на линию вех, мы простым измерением сможем определить среднюю скорость движения камней в каждой данной точке линии за 12 лет. Скорость движения льда в поверхностном слое ледника Манси, определенная этим способом, составляет в среднем 12—15 м в год. Фактически она более значительна, поскольку северный конец линии, принятый условно как неподвижный, повидимому, также участвовал в общем движении ледника. Кроме того, принимая во внимание колебания в скорости движения льда от года к году, по сезонам и временам суток, мы в праве предположить, что в жизни ледника Манси существовали периоды, когда он двигался много быстрее, чем в среднем за 12 лет и, следовательно, производил большую морфогеническую работу. Так, например, суммарная ширина только зияющих разрывов в тыльной части ледника Манси, образовавшихся в теплый сезон 1945 г., составляла по крайней мере 15—16 м. Общая же скорость движения ледника за это время безусловно была более значительной. Это не так уж мало, если вспомнить, что ледники Северной Швеции, значительно более крупные, движутся со скоростью 11—25 м, ледник Элиот в каскадных горах Северной Америки — 15 м и ледник Малый Казан на

<sup>1</sup> В том и в другом случае указан магнитный азимут.

западном склоне гор хр. Ак-Шийряк, в верховьях Нарына, — около 26 м в год [Калесник, 1939, стр. 105].

Таким образом мнение о неподвижности уральских ледников является ошибочным и должно быть отвергнуто.

В 1945 г. ледник Манси явно деградировал. Если осенью 1939 г. лишь  $\frac{1}{4}$  поверхности ледника была обнажена от сезонного снежного покрова и служила областью абляции, то в 1945 г. к 3 сентября снежный покров сошел уже полностью и вся поверхность ледника подвергалась интенсивному таянию, будучи расчленена несравненно более сильно, чем в предыдущие годы.

Разрушение стенок кара в 1945 г. также шло более интенсивно, причем увеличение поверхностной морены происходило не только путем осыпей и обвалов со склонов, но и за счет вытаивания внутренней морены. Появились новые «конусы деградации» и «выросли» старые вследствие более энергичного таяния льда на обнаженных поверхностях по сравнению с участками, защищенными пятнами морены.

Трудно сказать, сократился ли ледник Манси в горизонтальных размерах — если и сократился, то очень незначительно. Масса же его заметно уменьшилась, главным образом за счет стаивания сверху. С. Г. Боч определял мощность ледника Манси равной 55—65 м. Нам она представляется несколько большей. Передний край ледника опускается в озеро, возвышаясь над ним на 25—30 м. Глубина озера у края ледника 30—36 м. Если предположить, что ледник лежит непосредственно на дне (а это наиболее вероятно), то мы с достаточным основанием можем говорить о 55—65-метровой мощности нижнего края ледника. К границе с фирновым бассейном поверхность ледника повышается почти на 100 м, а дно занятого им кара (судя по аналогии с ныне пустующими карами), повидимому, остается плоским или повышается незначительно. Исходя из сказанного, я считаю, что средняя мощность ледника Манси должна быть не менее 75—80 м, а максимальная — около 100 м.

#### Наблюдения 1947 г.

При посещении ледника Манси 1 сентября 1947 г. я ожидал увидеть следы дальнейшего разрушения и деградации ледника, но ошибся. Горизонтальные размеры ледника не изменились, но его поверхность была неузнаваемой по сравнению с 1945 г. Мощный снежный покров лежал сплошной однообразной пеленой, порывистый ветер гнал поземку. Ни трещины, ни неровностей микрорельефа не было видно. Немногочисленные мелкие ручейки, стекавшие по миниатюрным снежным каньончикам (глубиной и шириной 15—20 м) были покрыты корочками льда. Уровень приледниковых озер понизился на 40—45 см.

У задних стенок кара лежали небольшие конусы свежешедших лавин, представляющие нагромождения комьев смершегося снега с вкрапленными в них щебнем и валунами. Отмечено 6 таких конусов. Лавины, повидимому, прошли за несколько дней до нашего посещения, после обильного снегопада. Таким образом в 1947 г. ледниковый баланс ледника Манси вновь был положительным: снегонакопление преобладало над таянием.

### Некоторые обобщения и выводы

На основании фактического материала, частично изложенного выше, и анализа материалов предшественников мы можем дать следующую обобщенную характеристику каровых ледников Урала.

1. Каровые ледники Урала, несмотря на миниатюрные горизонтальные размеры, обладают большой мощностью, что является важной предпосылкой для их активного движения.

2. Все они расположены в глубоких карах и цирках восточной и северо-восточной экспозиции, на многие сотни метров ниже не только теоретической снеговой границы, которой не достигают даже самые высокие вершины Урала, но и своего фактического снегосбора, что также обуславливает их значительную подвижность и морфогеническую активность.

В питании каровых ледников принимают участие: 1) нормально выпадающие снежные осадки (условия для снегопадов над карами подветренных склонов особенно благоприятны), 2) навесные снега, сдуваемые с окружающих вершин и наветренных склонов, и 3) лавины, возникающие как за счет обрушения навесных карнизов, так и обильной изморози, образующейся на склонах каров. Таким образом по способу питания — это навесно-лавиновые ледники. Теневое положение каровых ледников района не имеет того решающего значения, какое приписывали ему сторонники реликтового характера этих ледников [Алешков 1931—1935 гг.; Боч, 1935 и др.].

Так как в северных частях Урала очень велики облачность и относительная влажность воздуха, а число часов солнечного сияния мало (следует также иметь в виду очень низкое положение солнца над горизонтом), то, естественно, роль прямой солнечной радиации в таянии ледников и снежников не может быть значительной. Следовательно, и влияние затенения не должно играть решающей роли в существовании современных ледников на Урале.

Снеготаяние здесь идет главным образом под воздействием конвекции. Таким образом, ветер является не только важнейшим фактором снегонакопления в карах, но также и важнейшим фактором снеготаяния.

Ледники существуют на Урале на сотни метров ниже климатической снеговой границы не потому, что мала интенсив-

ность снеготаяния (наоборот, она довольно значительна), а главным образом потому, что здесь очень велика интенсивность снегонакопления. Это положение коренным образом меняет прежние взгляды на уральские ледники, как на очень малоподвижные, инертные образования, так как известно, что чем больше величина аккумуляции в фирновом бассейне и чем больше абляция в области стока, тем больше и энергия движения ледников [Шумский, 1947].

3. Характерной особенностью уральских ледников является отчетливая полосчатость их поверхности, отражающая слоистое строение льда. Наши наблюдения 1945 г. позволяют говорить о двухступенной полосчатости ледников Урала: полосчатость 1-го порядка — чередование слоев голубовато-белого фирнового льда, мутного от обилия пузырьков воздуха (мощность слоев от 60—70 см до 2—3 м), с слоями меньшей мощности (от 15—20 до 50 см), сложенными плотным прозрачным льдом с ничтожным содержанием воздуха. Это типичный глетчерный лед: бесцветный в небольших кусках, в значительных массах он имеет голубой цвет; на обтаявшей поверхности кусков льда ясно выступает его зернистое строение; оплавленные, неправильной формы зерна прочно спаяны между собой таким образом, что выступы одних зерен входят в выемки других. Наряду с фирновым и глетчерным льдом в сложении ледников известная доля принадлежит также и льду водного происхождения, образовавшемуся за счет промерзания заполненных водой трещин, ледниковых колодцев и надледниковых озер.

Благодаря чередованию слоев льда разного состава, а также загрязнению плоскостей наслоения, полосчатость первого порядка выражена очень отчетливо. Кроме указанной выше, наблюдается мелкая и менее отчетливая полосчатость внутри отдельных пластов мутного льда. Мощность слоев второго порядка колеблется от нескольких сантиметров до нескольких дециметров. Слои обычно разделены тонкой корочкой прозрачного льда с загрязненной поверхностью. На обнаженной от снега и морены поверхности ледников полосы выделяются в виде плавных дуг, провисающих по направлению общего движения льда одним или несколькими фестонами (огивы). На разных ледниках насчитывается от нескольких десятков до 120 полос.

А. Н. Алешков [1930] связывает полосчатость уральских ледников с сезонной периодичностью снегонакопления. По его представлению, каждый слой фирна или льда отвечает величине одногодичного накопления снега, и, следовательно, по числу ледниковых полос можно определить число лет существования ледника. На несоответствие «младенческого» возраста уральских ледников, определенного этим способом (100—120 лет), с гипотезой самого же Алешкова о их реликтовой природе, уже было указано С. В. Калесником [1937]. Нам

представляется, что определение абсолютного возраста ледников по числу ледниковых полос вообще лишено достаточных оснований, хотя общая связь полосчатости льда с периодичностью снегонакопления и снеготаяния несомненна.

Каровые ледники Урала, будучи расположены много ниже климатической снеговой границы и обладая небольшими размерами, очень чувствительны даже к незначительным изменениям условий питания и таяния. Вследствие этого с момента своего зарождения и до наших дней они многократно то увеличивались в размерах и мощности, то сокращались, оставляя конечные морены и цепочки озер, а временами, возможно, и совсем исчезали, в зависимости от периодических колебаний климатических условий. Наряду с колебаниями климата, достигавшими значительной амплитуды и продолжительности, которые приводили к значительному сокращению или росту ледников, повидимому, имели место и кратковременные колебания климатических условий, которые не могли вызвать таких крупных изменений в жизни ледников, как первые. Однако они не прошли бесследно, будучи зафиксированы в теле самих ледников в виде чередующихся полос льда различного состава и мощности. Мы различаем:

а) периоды с положительным ледниковым балансом, когда приход вещества в леднике за счет снегонакопления в фирновом бассейне ( $A$ ) и непосредственно на поверхности ледника ( $a$ ) превышает расход от абляции в области стока ( $B$ ) и от таяния снега непосредственно в фирновом бассейне ( $b$ ), на некоторую величину ( $N$ ). Кратко это выразится уравнением:

$$[A + a] - [B + b] = N;$$

б) периоды с нейтральным ледниковым балансом, когда

$$[A + a] - [B + b] = 0;$$

в) периоды с отрицательным ледниковым балансом, когда таяние снега и льда преобладает над снегонакоплением:

$$[A + a] - [B + b] = -N,$$

где  $N$  представляет величину убыли вещества ледника за данный период.

Возникновение полосчатости льда находится в зависимости от чередования указанных выше периодов. В период с положительным ледниковым балансом будет происходить накопление значительных масс фирна не только в фирновом бассейне, но и непосредственно на поверхности ледника, причем величине накопления каждого года будет отвечать более или менее обособленный слой фирна как результат сезонных изменений климатических условий.

В периоды с нейтральным балансом сезонная полосчатость фирна в фирновом бассейне также будет образовываться, но

слои будут обладать уже значительно меньшей мощностью. В области стока будет происходить срезание слоев, накопившихся за предыдущий период.

В периоды с отрицательным ледниковым балансом, с мало-снежной зимой, сухим и теплым летом, снег, выпавший в течение холодного сезона, за теплый сезон может полностью стаять не только в области стока, но и в фирновом бассейне, и образование очередного годичного слоя фирна вообще не произойдет. Если такой климатический режим продержится достаточно долго, то в дальнейшем, помимо усиленной абляции в области стока, стаиванию подвергнутся также и те слои фирна непосредственно в фирновом бассейне, которые были накоплены за время предшествовавшего периода с положительным ледниковым балансом.

В результате чередования периодов с положительным и отрицательным ледниковыми балансами, фирн, помимо сезонной слоистости, приобретет слоистость более высокого порядка: мощные пласты мелкослоистого, но в общем рыхлого фирна будут чередоваться с менее мощными, но значительно более плотными обледенелыми прослоями, причем смена периодов с балансами противоположных знаков будет также фиксироваться в теле ледника несогласным залеганием слоев льда. В процессе дальнейшего уплотнения и перекристаллизации пограничные обледенелые прослои фирна быстрее достигнут стадии глетчерного льда, чем заключенные между ними пласты рыхлого фирна.

Таким образом, слоистое строение, приобретенное фирном в результате чередования указанных периодов сохранится и после того, как фирн превратится в лед. 1932—1939 гг. для ледников Урала были годами с положительным ледниковым балансом. В 1943—1944—1945 и 1946 гг. ледниковый баланс был отрицательным, абляция резко преобладала над аккумуляцией. В 1945 г. ледники уже в августе месяце полностью освободились от сезонного снежного покрова не только в области стока, но и в пределах фирнового бассейна и приобрели ряд признаков деградации (см. выше), тогда как в 1933 и 1939 гг. почти вся их поверхность в то же время года была покрыта мощным плащом рыхлого снега, из-под которого лед часто совсем не выступал на поверхность. В 1947 г. ледники Урала вновь вступили в период с положительным ледниковым балансом.

4. Дифференциация областей питания и абляции у каровых ледников Урала, благодаря незначительным размерам и своеобразной форме, выражена менее четко, чем у долинных ледников, но не отсутствует, как это считал С. В. Калесник [1937].

Отсутствие морфологически выраженного ледникового языка не является доказательством отсутствия дифференциации

областей питания и абляции. В типичном «безъязыковом» каровом леднике периодически обнажающаяся от снега поверхность полосчатого льда, несущая явные признаки активного движения и являющаяся областью абляции по преимуществу, может рассматриваться как чрезвычайно укороченный аналог ледникового языка, тогда как тыльная часть ледника, примыкающая к стенкам кара, представляет область преимущественной аккумуляции фирна и его метаморфизации до пластичного состояния, т. е. отвечает фирновому бассейну типичного глетчера. Следует также иметь в виду большую роль навевания и лавин в питании ледников Урала, значительно расширяющих площадь снеговосбора по сравнению с их морфологически выраженными фирновыми бассейнами. Таким образом, несмотря на укороченные до предела размеры, каровые ледники Урала сохраняют основные признаки типичного ледника, являясь своеобразной «жизненной формой» ледниковых образований в условиях с большой отрицательной разностью оледенения.

Уральские ледники выносят большое количество моренного материала, что свидетельствует об их значительной морфогенетической активности. Наиболее типичным является следующее распределение моренных образований: крупные скопления морены в виде конечных гряд, продольных валов, конусов деградации и холмисто-моренных образований встречаются почти исключительно в нижней трети ледников; в средней части поверхность полосчатого льда большей частью обнажена от скопления морены, которая представлена здесь немногочисленными продольными грядками, отдельными валунами, щебенкой и грязью, и, наконец, в верхней трети на круто поставленные лавинные конусы ложатся конусы осыпей, сгружающие продукты разрушения склонов в краевые трещины и на поверхность ледника. Загрузка трещин происходит главным образом в конце теплого сезона и особенно в годы с отрицательным ледниковым балансом, когда имеют место оптимальные условия для их образования, с одной стороны, и для наиболее энергичного обрушения стенок кара — с другой. Обломочный материал, попадающий в трещины, сразу же погружается на значительную глубину, питая внутреннюю и нижнюю морены. Принимая участие в общем движении льда, этот моренный материал, описав кривую подледникового ложа, выносятся к фронту ледника. Осыпи, которые ложатся непосредственно на поверхность льда, дают начало поверхностной морене. Встреча поверхностного и глубинного моренных «потоков» происходит у нижнего края ледника, где они сливаются в единый конечно-моренный вал. Значительная роль в накоплении конечно-моренных валов, особенно в висячих каровых ледниках и снежниках, принадлежит лавинам и обвалам, во время которых обломочный материал беспрепятственно

соскальзывает по поверхности ледника или снежника, скапливаясь у его нижнего края.

5. С. В. Калесник считал, что уральские ледники «в сущности неподвижны» [1937, стр. 72]. Наши наблюдения позволяют сделать противоположное заключение: запрокидывание ледниковых слоев с изменением залегания от горизонтального в фирновом бассейне до вертикального в фронтальной части, наблюдавшееся на леднике Григорьева, провисание огив в осевых зонах всех без исключения ледников, образование мощных конечно-моренных валов и моренных гряд и поддержание склонов каров в чрезвычайно свежем состоянии, образование трещин разрыва в боковых и тыльных частях ледников и, наконец, непосредственные измерения скорости движения ледника Манси (см. выше) — все это свидетельствует об активном внутреннем движении уральских ледников и об их большой морфогенетической активности.

Глетчерный лед, как известно, представляет вещество, которое обладает одновременно свойствами и хрупкого, и пластичного тела: от резкого удара он распадается на угловатые куски, а под влиянием медленного постепенного давления сползает деформироваться без разрыва сплошности. «Ледник, — по определению Д. Форбса, — есть несовершенная жидкость или вязкое тело, которое перемещается вниз по склону вследствие взаимного давления своих частей»<sup>1</sup>. Причем, чем больше это давление или, что по существу то же самое, чем больше мощность ледника, тем больше скорость его движения (при прочих равных условиях). Каровые ледники Урала обладают сложным движением. Характер этого движения обусловлен своеобразной морфологией вмещающих ванн и самих ледников, а также особыми условиями снегонакопления и абляции.

Вследствие преобладающего значения в питании каровых ледников навевания и лавин максимальная аккумуляция снега будет происходить непосредственно у подножья задних стенок кара, резко уменьшаясь к его фронту. Абляция же, наоборот, будет наибольшей в фронтальной части ледника. Соответственно мощность ледника близ задней стенки кара будет иметь постоянную тенденцию к нарастанию и в каждый данный момент будет более значительной, чем мощность ледника у его края, а, следовательно, и величина взаимного давления частиц в толще ледника, и величина давления всего ледника в целом на свое ложе в тыльной части кара будет большей, чем в фронтальной, что неизбежно скажется на характере и скорости движения ледника и моделировки его ложа.

Схематически каровый ледник можно представить в виде плоско- или двояковыпуклой линзы, прислоненной под некото-

<sup>1</sup> Цитирую по Калеснику [1939, стр. 127].

рым углом к задней стенке кара. При увеличении нагрузки на тыльную часть линзы, за счет накопления новых масс снега и уменьшения ее в фронтальной части в результате стайвания, ледник будет соскальзывать по задней стенке кара, запрокидываясь «на себя» вследствие сферически вогнутой формы своего вместилища. Это движение вызовет изменения в залегании ледниковых слоев, от горизонтального в тыльной части до вертикального в фронтальной, с одновременным смятием их, выметание со дна кара обломочного материала, переуглубление и шлифовку коренного дна. Напряжения в поверхностном слое ледника вызовут образование трещин разрыва и ступенчатые сбросы по этим трещинам.

Однако одного несоответствия в величине давления на фронтальную и тыльную части ледника еще недостаточно для того, чтобы он пришел в движение. Большое значение имеет сила сцепления тела ледника с подледниковым ложем, а также частиц льда между собой. В холодный сезон, когда ледник примерзает к дну и склонам кара, возможность скольжения полностью устранена, а низкие температуры в теле ледника резко снижают его пластичные свойства.

В теплый сезон подвижность ледника резко возрастает. Таяние льда идет не только с поверхности, но и снизу. В подтаивании ледника снизу существенная роль принадлежит талым и, особенно, дождевым, значительно более теплым водам, стекающим с расположенных выше склонов и прокладывающим себе пути под ледником (поглощаемые краевыми трещинами, эти воды текут под ледником в виде массы мелких струек, устремляющихся с периферии к центру кара, и только здесь они собираются в более или менее сосредоточенный поток, поэтому ширина фронта термического воздействия их исключительно велика).

Действием подледниковой абляции связь ледника с ложем в значительной мере нарушается, что благоприятствует его поступательному движению всей своей массой. Тающий ледник имеет температуру, близкую к точке плавления, и содержит в себе большое количество жидкой воды, что усиливает его пластичные свойства и способствует более энергичному поступательному движению путем «истечения». Максимальное нарушение связи ледника с подледниковым ложем и внутренних связей в толще ледника достигается ежегодно в конце теплого сезона, но особенно большой подвижностью ледник будет обладать в периоды с отрицательным ледниковым балансом. Наоборот, в годы с положительным ледниковым балансом эти связи нарушаются незначительно, и условия для движения ледника остаются неблагоприятными в течение круглого года. Итак, каровые ледники Урала обладают движением, которое слагается, с одной стороны, из периодического соскальзывания ледника со стенок на дно кара, сопровождающегося трещи-

нами разрыва и смещения отдельных блоков относительно друг друга по типу мелких ступенчатых сбросов и просадок, и с другой — из поступательного движения, обусловленного взаимной перегруппировкой частиц льда в теле ледника.

При допущении для каровых ледников указанной схемы движения станвится легко объяснимой характерная форма днищ ледниковых каров, переуглубленных в центре и перегороденных в устьевой части скалистым порогом — ригелем, который обычно бывает прикрыт нагромождениями морены.

В настоящее время можно считать установленным, что зачаточный кар, т. е. нишеобразная выемка на склоне горы с крутыми склонами и плоским дном, может возникнуть под влиянием не только ледника, но и снежника (при условии очень длительного лежания) и даже по нижнему его краю может скопиться вал «морены», образовавшейся путем скатывания продуктов разрушения склонов по поверхности снега, но неподвижный снежник не способен переуглубить свое скалистое ложе. Дно снежного кара в конечной стадии развития может стать плоским, но центральная часть его не может углубиться в коренные породы ниже устьевой части, так как агентами удаления продуктов выветривания в данном случае являются текучая вода и процессы солифлюкции, для проявления которых обязателен уклон [Боч, 1946].

В отличие от снежника каровый ледник не только выносит из кара продукты разрушения склонов, но и способен корродировать его дно, причем, в силу особенностей своей морфологии и характера движения, максимальную корродирующую работу ледник произведет в тыловой и в центральной частях кара, так как именно эти части подледникового ложа испытывают наибольшее давление (ледник достигает здесь максимальной мощности). По мере убывания мощности льда к фронту ледника давление будет ослабевать, а следовательно, уменьшится и разрушительная работа ледника. В результате центральная часть кара будет переуглублена, тогда как перед фронтом ледника сохранится скалистый порог — ригель. Продукты разрушения склонов, поступающие в краевую трещину, а также продукты разрушения подледникового ложа в процессе движения будут выноситься к переднему краю ледника, образуя наряду с внутренней и поверхностной моренами его конечно-моренное окаймление.

6. Сразу же после открытия первых ледников на Урале мнения по вопросу об истории их образования разделились. Одни считали их реликтами эпохи древнего оледенения на основании главным образом того факта, что в долинах, по мере приближения к ледникам, встречаются все более и более свежие морены [Алешков, 1931, 1934, 1935; Боч, 1935]; другие, наоборот, причисляют их к современным образованиям [Введенский, 1934].