

С.М.ГОВОРУШКО

## Ледники и их значение для человеческой деятельности

*Обобщены и систематизированы сведения о ледниках (распространение, механизм формирования и движения, причины ледниковых пульсаций, климатическая, геологическая и гидрологическая роль и т.д.). Приведены примеры их влияния на различные виды хозяйственной деятельности.*

**Glaciers and their importance for human activity.** S.M.GOVORUSHKO (Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok).

*Multifarious data about glaciers (distribution, mechanism of origin and movement, reasons of glacier surges, geologic and hydrologic significance, influence on Earth's climate, etc.) are summarized and systematized. Characteristics of glaciers' impact on various kinds of economic activity are given.*

В задачу данной статьи входит обобщение литературных данных о ледниках земного шара и их влиянии на различные хозяйственные отрасли.

**Распространение ледников.** Ледники занимают площадь около 16,2 млн км<sup>2</sup>, т.е. 10,9% поверхности суши [1, т. 1], при этом в них сосредоточено примерно 27 млн км<sup>3</sup> льда, что соответствует почти 2/3 пресной воды на планете [1, т. 2, кн. 1]. Основная масса ледникового льда находится в Антарктиде – почти 14 млн км<sup>2</sup>. Существенная часть ледников (около 2 млн км<sup>2</sup>) расположена в Арктике, где ими занято 53% площади всех островов. Львиная доля всех ледников Арктики (88% площади и 97% объема льда) приходится на Гренландию [1, т. 1].

За пределами полярных областей ледники занимают около 300 тыс. км<sup>2</sup>: в Европе – 19 тыс. км<sup>2</sup>, главным образом в Исландии и Скандинавии; в Азии – около 118 тыс. км<sup>2</sup>, в основном в Гималаях, на Тянь-Шане, Каракоруме, Наньшане, Памиро-Алае, Куньлуне и Гиндукуше; в Северной Америке – около 124 тыс. км<sup>2</sup>, на Аляске; в Южной Америке – около 32 тыс. км<sup>2</sup>, в Андах и Патагонии; в Океании – 825 км<sup>2</sup>, в Новой Зеландии; в Африке – всего 20 км<sup>2</sup>, на отдельных горных вершинах [4].

Отдельно следует сказать о пульсирующих ледниках, т.е. подверженных периодическим резким подвижкам (пульсациям). К ним относится не менее 5% всех ледников мира [11]. Сосредоточены они преимущественно в Арктике и тех горно-ледниковых зонах, где условия оледенения наиболее благоприятны [7]. В субполярных районах такие ледники характерны главным образом для Аляски, Исландии и Шпицбергена. Например, на Аляске в горах Святого Ильи, где число ледников превышает 2500, известно 150 пульсирующих ледников [9]. Среди горных территорий пульсирующие ледники больше всего распространены на Памире, Тянь-Шане и Каракоруме. Так, на Памире из 5370 ледников 845 пульсирующих, т.е. более 15% [13]. В то же время не зарегистрировано ни одного достоверного случая пульсации современных ледников в Скандинавии, Джунгарском Алатау, на Урале, Алтае, хр. Сунтар-Хаята [7], в Альпах [14]. Пульсации ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии не установлены.

**Разнообразие ледников.** Существует огромное количество классификаций ледников по морфологическим, геофизическим и динамическим показателям. В самом общем виде по форме можно выделить три класса [1, т. 2, кн. 1]: покровные, горно-покровные, горные.

ГОВОРУШКО Сергей Михайлович – доктор географических наук (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток).

Ледники первого класса (см. рисунок на 3-й странице обложки), как это видно из названия, покрывают сушу (а иногда и прибрежную акваторию) целиком. Это наиболее крупные ледники Земли. Из общей площади современных покровных ледников (14,4 млн км) 85,3% приходится на ледниковый покров Антарктиды, 12,1% на ледниковый покров Гренландии и 2,6% на малые ледниковые покровы Канадского Арктического архипелага, Исландии, Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа, Новой Земли, Северной Земли [4]. Размеры покровных ледников сильно различаются. Самые маленькие из них едва достигают площади 10 км<sup>2</sup>.

Горно-покровные ледники обычно имеют общую область питания, а область расхода, как правило, расчленена на несколько обособленных участков. Ледники данного класса распространены преимущественно в субарктических и субантарктических районах: Шпицберген, Исландия, Новая Земля, некоторые острова Канадского Арктического архипелага, береговые хребты Северной Америки, Антарктический полуостров и т.д. [1, т. 2, кн. 1].

Горные ледники чрезвычайно разнообразны, они подразделяются на три группы: ледники вершин, ледники склонов и ледники долин (рис. 1). Форма большинства их зависит от строения рельефа. Описания морфологических типов горных ледников содержатся во множестве работ, в частности в монографии [9]. Все ледники, расположенные за пределами полярных областей, относятся к этому классу.

Ледники различаются и по ряду других показателей. Например, на класс ледника указывает абсолютная высота залегания. Покровные ледники существуют на уровне моря, горно-покровные обычно подняты на небольшую высоту, но отдельные краевые формы могут достигать уровня моря. Горные ледники располагаются на разных абсолютных высотах и опускаются до уровня моря чрезвычайно редко. Ледник характеризуют и уклоны подстилающей поверхности: чем круче, тем более они соответствуют горным ледникам. Характерна также большая разница в толщине льда. Для покровных ледников типична мощность 180–3060 м, горно-покровных – 150–560 м, горных – 10–90, иногда до 200 м. Исключением являются лишь горные ледники Гималаев, Куньлуня, Наньшаня и особенно Каракорума, где вследствие сильной расчлененности рельефа толщина льда больше [1, т. 2, кн. 1].

**Механизм формирования и движения ледников.** Ледники образуются в результате накопления и преобразования снега. Из 17 200 млрд т ежегодно выпадающего снега 2 700 млрд т, т.е. 15,7%, не стает и питает ледники [4]. Свежевыпавший снег имеет незначительную плотность (0,1–0,2 г/см<sup>3</sup>), однако под действием солнечной радиации, оттепелей и т.д. происходит изменение его структуры и преобразование в фирн, состоящий из отдельных ледяных крупинок и имеющий плотность 0,45–0,8 г/см<sup>3</sup>. Далее фирн под давлением вышележащих слоев трансформируется в кристаллический лед. В зависимости от конкретных условий продолжительность этого процесса различна. При низких температурах лед образуется чрезвычайно медленно. Например, в Антарктиде со стометровой толщей фирна его превращение в лед длится не менее 100 лет. Однако в более теплых условиях, особенно при летнем подтаивании, даже при тонком слое фирна для формирования льда может хватить и одного года [12].

Существуют два основных механизма движения ледников: сползание и скольжение. В первом случае лед перемещается вследствие вязкопластических деформаций, зависящих от температуры и давления вышележащего слоя. Во втором случае лед скользит по ложу, бортам или внутренним ослабленным поверхностям (сколам). Скольжению очень способствует образование водной пленки (под действием тепла трения или геотермического потока тепла). Такая водная «смазка» уменьшает коэффициент трения в 10 и более раз. Доля скольжения льда в суммарной скорости может меняться от 0 до 90%, однако часто оба механизма вносят примерно равный вклад [4].

Что касается пульсирующих ледников, то период пульсации складывается из подвижки и восстановления. Вначале происходит разрядка напряжений, накопившихся на леднике, лед растрескивается, скорости его движения увеличиваются на 1–2 порядка и более. Масса льда перемещается из верховий ледника в его среднюю зону и низовья, при этом

поверхность льда в верховьях пульсирующей части понижается, в средней части и низовьях повышается, а конец ледника продвигается вперед. Стадия восстановления наступает по завершении подвижки. В это время происходит интенсивное разрушение нижней части ледника, лишенной поступления льда сверху, и накопление массы льда в верховьях, до тех пор пока ледник не восстановит первоначальную конфигурацию [4].

**Причины и механизм ледниковых пульсаций.** Очевидно, что подвижки пульсирующих ледников не имеют прямых связей с колебаниями климата, а обусловлены процессами, происходящими в них самих. Тем не менее причины ледниковых пульсаций пока не установлены. Одни исследователи связывают возникновение пульсаций с увеличением толщины сплошной водной пленки на ложе ледника до критической, превышающей высоту неровностей ложа, что приводит к скольжению ледника по водной подушке. Другие считают причиной подвижек ледников их дробление на блоки в результате преодоления сопротивления концевой мертвой части морены. По мнению третьих, возникновение пульсаций связано с неустойчивостью напряжений в теле ледника. Четвертые связывают подвижки с изменением содержания моренного материала на ложе ледника. Каждая из гипотез в той или иной мере объясняет отдельные особенности режима пульсирующих ледников, но ни одна из них не дает исчерпывающего ответа [7].

Ледниковые пульсации – это периодическое явление с более или менее постоянной длиной цикла (если не меняются внешние условия) для каждого ледника. Однако у разных ледников, даже если они расположены в одинаковых физико-географических условиях, продолжительность периода пульсации (т.е. времени между подвижками) может быть самой различной – от нескольких до ста и более лет.

Длительность периода пульсации зависит от массы льда, перемещаемого при подвижке, и темпов накопления льда в период восстановления. Например, для ледника Медвежий (Памир) критической является масса льда в 160–180 млн т, поэтому при ежегодном накоплении 16–18 млн т пульсационная разрядка происходит через 10 лет, а при приросте в 11–12 млн т – только через 15 лет [1, т. 2, кн. 1].

В пределах пульсирующих ледников выделяют две зоны. В стадии подвижки это зона выноса (часть ледника, где происходит убыль льда и понижение ледниковой поверхности) и зона привноса и продвижения (нижняя по течению часть ледника, в которой масса льда увеличивается за счет поступления из зоны выноса, поверхность льда повышается, а его конец продвигается). В стадии восстановления наблюдаются зона активизации ледника в верховьях пульсирующей части, где накапливается лед, увеличивается его толщина и скорость движения, и зона деградации, где лед разрушается под действием солнечного тепла и термоэрозионного воздействия талых вод [7].

Продолжительность подвижек на разных пульсирующих ледниках существенно различна. Например, на леднике Медвежий (Памир) в 1973 г. она длилась 3 мес, на леднике Сат (Заалайский хребет) – 5 лет (1972–1977 гг.). В среднем их продолжительность 1–2 года. Особым и не слишком редким случаем является трансформация подвижки в ледниковый сель. В этой ситуации пульсация длится несколько минут. Примерами такого рода могут служить подвижки ледников Дидаль на Памире в 1974 г. и Колка (Кавказ) в 1902 и 2002 гг. [1, т. 2, кн. 1; 8].

Инструментальных измерений дальности перемещения пульсирующих ледников довольно мало. Такие данные обнаружены для 6 пульсирующих ледников запада Северной Америки [5] и 10 ледников бывшего СССР [1, т. 2, кн. 1]. Величина наступления на исследованных ледниках колеблется от 625 м на леднике Абрамова (Алтайский хребет) до 11,5 км на леднике Уолш (горы Святого Ильи, территория Юкон).

**Скорость движения ледников.** Скорость перемещения ледников сильно различается. У малых горных ледников она обычно составляет несколько метров в год. Крупные горные ледники в среднем перемещаются со скоростью 50–200 м/год, однако самый большой на Памире горный ледник Федченко двигается со скоростью 500–600 м/год [9]. Средние скорости движения льда в Антарктическом ледниковом покрове колеблются от 1 м/год

в центральной части до 200 м/год вблизи берега. В больших долинных ледниках скорости достигают 1400 м/год [5]. Из-за отсутствия трения о ложе велика скорость движения шельфовых ледников, находящихся на плаву, – от сотен метров до 2 км/год [4]. Самый быстрый в мире – ледник Якобсхавн в западной Гренландии, порядка 10 км/год [14].

Говоря о скорости подвижек пульсирующих ледников, можно иметь в виду среднегодовую, среднесуточную или максимальные годовую и суточную скорости перемещения, если продолжительность подвижек составляла 3–4 мес. Максимальные зарегистрированные скорости для некоторых крупных ледников Северной Америки составляют 120 м/сут, а среднегодовые – 15–16 м/сут. Близкие скорости были получены и для ледника Медвежий на Памире. При пульсации 1973 г. средняя скорость продвижения конца ледника за 232 дня составила 12,7 м/сут, за 50 сут наиболее активного периода – около 40 м/сут, а пик скорости за отдельные промежутки времени достигал 100 м/сут [7].

Подвижки пульсирующих ледников не следует путать с ледниковыми селями, когда по долине перемещаются массы льда, смешанного с водой и каменным материалом. В таких случаях скорости перемещения на несколько порядков выше. Например, гляциальный сель после пульсации ледника Колка на Северном Кавказе в 1902 г. двигался со скоростью 80–100 км/ч [1, т. 2, кн. 1]. Пройденное при этом расстояние также очень сильно отличается от величины ледниковых подвижек. Так, при трансформации пульсирующего ледника Колка 20 сентября 2002 г. сначала в ледниковый сель, а потом в грязевой сель со льдом пройденное расстояние составило 27 км [8].

Скорость движения льда в леднике меняется в пространстве и во времени. В общем случае максимальные скорости характерны для центральных частей с постепенным уменьшением к краям (вследствие трения ледника о ложе и борта долины). Это справедливо и по отношению к продольному профилю. Динамика во времени обусловлена скоплением у ложа ледника воды, играющей роль смазки. Поэтому летние скорости движения льда выше зимних, а дневные выше ночных [6].

**Баланс массы ледников.** В любом леднике можно выделить зону питания, в которой происходит накопление массы, и зону абляции, где масса ледника уменьшается. Линия, разделяющая области питания с положительным и отрицательным годовым балансом массы, именуется границей питания. Уменьшение массы ледника происходит следующими путями: 1) таяние, 2) испарение, 3) сдувание снега ветром, 4) обвал льда, 5) откалывание айсбергов. По своей сути четвертый и пятый пути очень близки. По месту проявления различают подледниковую, внутрiledниковую и поверхностную абляцию. Роль первых двух видов невелика. Например, на горных ледниках она не превышает 5% от поверхностной [4].

По характеру проявления абляция подразделяется на чистую (испарение и таяние) и механическую (сдувание ветром снега, обвалы льда и откалывание айсбергов). Интенсивность составных частей абляции для разных ледников различна. Например, в Антарктиде расход льда складывается из следующих составляющих (км<sup>3</sup>/год): откалывание айсбергов – 1940, донное таяние шельфовых ледников – 310, таяние ледникового покрова на ложе – 50, вынос снега ветром – 20, жидкий сток с ледника – 15 [9]. В других регионах в расходе льда могут преобладать таяние льда на ложе или обвалы льда. Например, на леднике Трамплинный (Памир) абляция преимущественно происходит путем обвалов [4].

**Геологическая и гидрологическая роль ледников.** При движении ледника происходит разрушение горных пород ложа, которое связано с двумя механизмами: отщеплением и выламыванием обломков и истиранием пород ложа. Первый заключается в том, что скользящий по ложу лед периодически примерзает к нему, вырывает и увлекает за собой куски породы. Второй механизм состоит в стачивании ложа с помощью обломков прочных пород, входящих в состав донной морены. Вклад каждого из этих механизмов зависит от ряда факторов: твердости и трещиноватости ложа, температуры придонного льда, скорости скольжения, твердости материала придонной морены и т.д. В результате ледниковой эрозии образуются различные формы рельефа: фьорды, троговые долины, озерные ванны, кары и т.д. Скорость эрозии достигает 4–6 мм в год [4]. Покровные ледники Северного

полушария ежегодно переносят в океан 0,47 млрд т твердого вещества. Вынос антарктическими ледниками гораздо интенсивнее – 1,92 млрд т [17].

Влияние ледников продолжается и тогда, когда они перестают существовать. Например, на севере Европы и Северной Америки происходит поднятие – материка, прогнувшиеся под массой ледникового покрова, возвращаются в исходное положение. Установлено, что со времен последнего оледенения отдельные части Балтики и севера Канады поднялись на 280 м [12]. Какая часть этого воздымания обусловлена геологически недавним исчезновением нагрузки ледниковых покровов, а что является обычным тектоническим поднятием, не выяснено, однако считается, что доля, вызванная отступанием ледников, весьма существенна.

Практически все ледники выделяют талую воду (1–2% от массы ледника), которая образуется при таянии как поверхностных горизонтов, так и придонных слоев вследствие трения ледника о ложе. Она может течь по поверхности ледников, по тоннелям и коридорам внутри них, а у основания – в виде тонких пленок и по каналам, прорытым в горных породах. Иногда фронтальные части субполярных ледников, примерзшие к ложу, могут препятствовать выходу подледниковых вод. В этом случае напор воды возрастает до тех пор, пока не произойдет прорыв.

Суммарный ледниковый сток, равный 3450 км<sup>3</sup> воды, составляет примерно 8% суммарного стока поверхностных вод в океан, около 3% осадков на суше и превышает сток в океан подземных вод (2200 км<sup>3</sup>/год). Примерно 370 км<sup>3</sup> составляет также сток сезонного снега с ледников, таяние которого приходится на теплый период [1, т. 2, кн. 1]. В некоторых регионах ледники играют важную роль в питании рек. По существу они являются водохранилищами, накапливающими влагу в твердой фазе. К числу рек с большой долей ледникового стока относятся Терек (11%), Кубань (6%), Инд (8%), Сырдарья (6,5%), Амударья (15%), Тарим (30%). Очень велик вклад ледников в питание тихоокеанских рек Северной Америки: Юкон – 23%, Кускоквим – 19%, Суситна – 38%, Коппер – 19%, Насс – 27% [1, т. 2, кн. 1].

Ледники нередко являются причиной наводнений. Наиболее типичный случай – перекрывание ими боковых долин. В результате возникновения плотины там образуется озеро. Однако ледяные плотины недолговечны, быстро прорываются. Оз. Мерцбахера в центральном Тянь-Шане прорывается ежегодно в августе–сентябре, объемы паводков при этом – 120–220 млн м<sup>3</sup>. Отдельно следует сказать об йокульлаупах – наводнениях в результате извержения вулканов под ледником или вблизи него. Это явление характерно для Исландии. Наиболее известны йокульлаупы покровного ледника Ватнайёкюдль, под которым расположен вулкан Гримсвотн. Объемы прорывных паводков достигают здесь 7 км<sup>3</sup> [2].

**Климатическое значение ледников.** Ледники способствуют охлаждению атмосферы, что обусловлено повышением альбедо Земли и затратами тепла на таяние льда и компенсацию излучения ледников (выхолаживания слоя воздуха над их поверхностью). Занимая 3% площади планеты, ледники отражают в космос 5% солнечного тепла. Это приводит к повышению среднегодового альбедо Земли с 0,29 до 0,3, что вызывает охлаждение приземного слоя воздуха примерно на 1°С. Альбедный механизм охлаждения атмосферы дополняется оттоком турбулентного тепла из атмосферы в ледники, из которого около 6% тратится на таяние льда и 94% – на их излучение, главным образом в Антарктиде. Суммарное охлаждение современным оледенением составляет 2° [1, т. 2, кн. 1].

**Влияние ледников на человеческую деятельность.** Это влияние можно рассматривать как в планетарном масштабе, так и в разрезе отдельных хозяйственных отраслей. Глобальная роль ледников проявляется прежде всего в их климатическом и гидрологическом воздействии. В настоящее время очевидна тенденция к усилению этой значимости. После похолодания 1960–1970-х годов наступил период потепления, вклад в которое вносит и парниковый эффект двуокиси углерода, связанный с антропогенными факторами. Таяние ледников приводит к повышению уровня Мирового океана. Определено, что 1 млн км<sup>3</sup> льда эквивалентен слою воды в океане толщиной около 2,5 м. При суммарном объеме льда 27 млн км<sup>3</sup> подъем уровня океана за счет ледников может составить 67,5 м. Естественно, что эта величина чисто теоретическая. В последние десятилетия темпы

повышения уровня составляют 1,5 мм/год [3]. В случае глобального повышения температуры на 1,5–2°C к середине нынешнего столетия уровень Мирового океана может повыситься на 0,4–0,8 м, при этом на 0,2–0,3 м за счет таяния ледников, а остальной подъем будет связан с тепловым расширением воды [9]. Это приведет к затоплению обширных заселенных территорий.

Прямое или косвенное влияние ледников испытывают люди и многие объекты и виды человеческой деятельности: жилищная застройка, транспорт, мосты, растениеводство, животноводство, гидроэнергетика, горнодобывающая промышленность и т.д.

В некоторых случаях ледники оказываются виновниками гибели людей – в основном из-за обвалов, одновременных обрушений значительных масс льда. Наиболее крупные обвалы характерны для таких горных районов, как Гималаи, Каракорум, Памир и Анды, а в России – для центрального Кавказа, от Эльбруса до Казбека. Например, мощные обвалы ежегодно происходят на ледопаде ледника Кашкатош в массиве Эльбруса. Опасные обвалы относительно меньших размеров случаются на ледниках северного склона Главного Кавказского хребта в пределах Карачаево-Черкессии, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ингушетии, Чеченской Республики и Дагестана [3]. Наиболее значительные по своим последствиям обвалы произошли в 1962 и 1970 гг. на леднике горы Уаскаран (6768 м) в перуанских Андах. Например, 10 января 1962 г. висячий край ледника северной вершины Уаскарана, длиной почти 1 км и толщиной более 30 м, общим объемом 2–3 млн м<sup>3</sup>, без каких-либо сейсмических воздействий обрушился с высоты около 700 м на нижележащий ледник. В результате захвата части его морены и дальнейшего продвижения вниз по долине обвал преобразовался в сель объемом 13 млн м<sup>3</sup>. При его прохождении было полностью разрушено 6 селений, в том числе крупный поселок Ранраирка. Погибло 4 тыс. чел. и 10 тыс. домашних животных [2]. В 1970 г. события развивались сходным образом, с той лишь разницей, что обвал ледника был спровоцирован землетрясением. Количество жертв превысило 15 тыс. чел. [9].

Широко известна Маттмаркская ледниковая катастрофа 30 августа 1965 г. в Швейцарии. Глыба льда объемом около 1 млн м<sup>3</sup>, оторвавшись от конца ледника Алалин, соскользнула вниз по склону в 27° на 400 м по вертикали, а затем по инерции продвинулась еще на 400 м по плоскому дну долины р. Заас, погубив 88 чел. на строительстве плотины [15]. В Альпах же при обрушении нижней части ледника Тэт-Русс в июле 1892 г. было разрушено несколько селений и погибло 125 чел. В августе 1949 г. произошел обвал ледника Тур в районе Шамони объемом 0,5 млн т льда, что соответствовало величине 40-летней аккумуляции, погибло 9 чел. [7].

Косвенное воздействие связано в основном с возникновением ледниковых озер, неизбежные прорывы которых вызывают катастрофические паводки. Многочисленные примеры таких явлений в разных районах земного шара приведены в монографии [2]. Так, в результате прорыва в 1941 г. ледниково-подпрудного оз. Палькочоча, расположенного недалеко от уже упоминавшейся горы Уаскаран, был разрушен г. Уарас, при этом погибло около 6 тыс. чел. [9]. Еще один вид косвенного воздействия – трансформация ледниковых пульсаций в сели. Наиболее катастрофические последствия имели трансформации при подвижках ледника Колка на Северном Кавказе (рис. 2). Летом 1902 г. погибло несколько десятков человек, а через 100 лет, 20 сентября 2002 г., – более 100 человек [8, 9].

Влияние ледников на жилые строения происходит как под действием катастрофических факторов (прорывы подпруженных ледниковых озер, обвалы льда и ледниковые сели), так и вследствие медленного продвижения ледников. Ледники по различным причинам (прежде всего под действием климатических факторов) периодически наступают или отступают. Например, ледник Федченко на Памире наступал в 1868–1870 и 1910–1923 гг. Конец его языка быстро продвигался на 800–1000 м, а потом медленно возвращался назад. На фоне общего отступления кавказских ледников в 1890–1960 гг. многие из них продвигались вперед в 1910–1920 гг. [9]. Сейчас при отступлении ледников Исландии и Гренландии из-под льда появляются остатки строений викингов [10]. Последствия ледниковых



Рис. 1. Форма горных ледников зависит от строения рельефа, в котором они расположены. Показан долинный ледник Финделен (северный склон Пенинских Альп, Швейцария). Снимок сделан на высоте 3500 м. *Фото С.М.Говорушко, 3 сентября 2006 г.*



Рис. 2. Ледниковые пульсации порой трансформируются в ледовые сели-выбросы. При пульсации ледника Колка в Северной Осетии 20 сентября 2002 г. объем покинувших свое вместилище ледниковых масс составил около 120 млн м<sup>3</sup>, они продвинулись по долине р. Геналдон на расстояние около 15 км. По мере перемещения происходили таяние льда и трансформация движущихся масс в грязевой сели со льдом, который спустился вниз по долине еще на 12 км. Показана фронтальная часть отложений, перемещенных ледником и селем. *Фото Л.В.Десинова, 28 сентября 2002 г.*

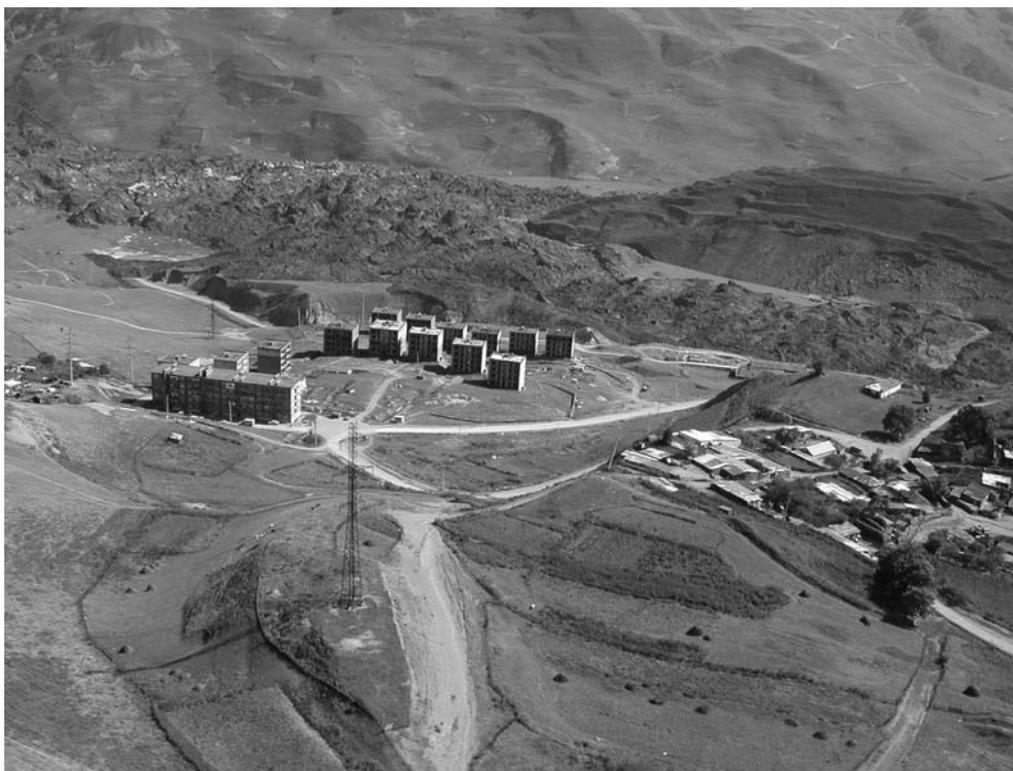


Рис. 3. При подвиге пульсирующего ледника Колка жилые постройки были разрушены массами льда и обломков и затоплены при последующем таянии льда. Показаны немногие уцелевшие дома пос. Нижний Кармадон, остальные уничтожены ледником. Фото Л.В.Десинова, 22 сентября 2002 г.



Рис. 4. При подвиге ледника Колка массы льда, смешанные с водой и каменным материалом, привели к блокированию автомобильной дороги в долине р. Геналдон, ведущей к пос. Нижний Кармадон и нескольким базам отдыха. Фото Л.В.Десинова, 21 сентября 2002 г.



Рис. 5. Продуцирование ледниками айсбергов затрудняет судоходство. *Фото Береговой службы США*



Рис. 6. Типичным последствием ледниковых пульсаций является образование подпруженных озер. Каждая подвижка ледника Медвежий (скорость от 12 до 100 м/сут) вносила вклад в формирование Абдукагорского озера. На снимке озеро в начальной стадии. В 1963 г. глубина озера составляла 80 м. В результате прорыва озера было снесено несколько мостов, уничтожен пос. Дальний и размыта дорога. *Фото Л.В.Десинова, 24 июля 1989 г.*

пульсаций, естественно, определяются степенью освоенности территории. Если многочисленные подвижки на о-ве Шпицберген выразились в разрушении единственной хижины при пульсации ледника Мраморбреен в 1897 г., а пульсация ледника Кутьях в Каракоруме в марте 1953 г. привела к уничтожению нескольких строений [7], то при катастрофической подвижке ледника Колка (рис. 3) 20 сентября 2002 г. были разрушены пос. Нижний Кармадон и несколько баз отдыха [8].

Подвижки пульсирующих ледников (рис. 4) потенциально опасны и для транспорта. Например, активизировавшийся в сентябре 1936 г. ледник Блэк Рэпидз на Аляске к февралю 1937 г. продвинулся на 6,5 км и угрожал перерезать единственное в то время шоссе, связывавшее г. Фербенкс с внешним миром [9]. При подвижке ледника Невадо на восточном склоне Анд в самом конце 1933 г. была перегорожена р. Рио-Пломо и образовалось озеро глубиной 30 м. Когда 10–11 января 1934 г. произошел его спуск, расход воды достигал 3 тыс. м<sup>3</sup>/с. В результате паводка было разрушено 13 км трансандийской железной дороги, проходившей по ущелью Мендоса и через туннель Кумбре из Аргентины в Чили. Ее восстановили лишь через 10 лет [2]. Катастрофические паводки из уже упоминавшегося ледникового оз. Джордж на Аляске периодически смывают шоссе на участке Анкоридж–Палмер [9] и в некоторые годы разрушают Аляскинскую железную дорогу [9]. Подпруженные озера Ледяное, Нижнее Сколаи и Бланш на Аляске угрожают Северо-Западной железной дороге в бассейне р. Читина, оз. Тальсенва – путям вблизи залива Таку [2]. Сейчас при сокращении площади альпийских ледников обнажаются дороги, мощенные римлянами [10]. Последствием обвалов являются «казбекские завалы» – обрушения Девдоракского ледника, перекрывавшие Военно-Грузинскую дорогу в XVIII–XIX вв., пока ледник не отступил от обвалоопасного участка своего ложа [11].

Для судоходства представляют опасность ледники, выдвигающиеся в море, перекрывающие бухты и фьорды, а также продуцирующие большое количество айсбергов (рис. 5). Примерами явились подвижки пульсирующих ледников Шпицбергена: Хейса в 1901 г., Негрибреена в 1932–1935 гг., Бразвельбреена в 1936–1938 гг. [1, т. 2, кн. 1]. Ледниковые озера Флад и Грейт угрожают навигации на р. Стикин на Аляске [2]. Опасность ледников для трубопроводов реально существует в западной Канаде и на Аляске, где нефтепроводы проложены близ ледников [14].

Для авиационного транспорта потенциальную угрозу представляют ледниковые обвалы. Крупные обвалы сопровождаются мощной воздушной волной, переносящей тучи снега и ледяных осколков. Клубы снежной пыли вызывают временную потерю видимости у экипажей заходящих на посадку или взлетающих вертолетов. Подобная ситуация реальна для вертолетного аэродрома международного альпинистского лагеря вблизи ледника Трамплинный на Памире, где обвалы льда происходят практически ежедневно [1, т. 2, кн. 2].

Угроза разрушения мостов связана с прорывами подпруженных ледниками озер (рис. 6). Несколько мостов было снесено в 1963 г. при прорыве подпруженного ледником Медвежий Абдукагорского озера [7]. Аналогичным катастрофическим паводком 10–11 января 1934 г. на оз. Невадо в Аргентине было разрушено 7 мостов [2].

Растениеводство и животноводство страдают от наступления ледников, прорывов подпруженных озер и гляциальных селей. Нередко ледниками бывают погребены фермы и поля. Массовый характер данное явление имело в Исландии в период 1712–1760 гг. Примеры разрушений, произведенных конкретными ледниками, приведены в [6]. Случай уничтожения ледником Нигардсбреен в Норвегии в середине XVIII в. картофельных полей и пастбищ описан В.М.Котляковым [9]. Ледник Морено, стекающий с Южного Патагонского ледникового поля, регулярно перегораживает крупное оз. Архентино, отрезая довольно большую часть озера от остальной акватории. В период 1934–1958 гг. это происходило 9 раз, в результате чего уровень воды в отсеченном заливе повышался от 6 до 30 м и заливались многие тысячи гектаров возделанных земель и пастбищ. Гляциальный сель при пульсации ледника Колка в 1902 г. погубил многочисленные отары овец [9].

Ледники могут оказывать на сельское хозяйство и положительное влияние. Оно заключается в их большом вкладе в питание рек, это особенно благоприятно в странах Средней Азии и канадских прериях [14].

Воздействие на гидроэнергетику может быть отрицательным и положительным. Негативное влияние связано с мощным разрушительным эффектом ледниковых обвалов, в частности для гидротехнических сооружений очень опасны ударные воздушные волны [1, т. 2, кн. 2]. Преобладает все же положительное влияние, прежде всего в связи с большой долей талых ледниковых вод в питании рек, на которых построены ГЭС.

Известны примеры и более оригинального использования ледников для выработки электроэнергии. Например, в Норвегии под ледником Фолгефони построена система искусственных подледниковых тоннелей и резервуаров-коллекторов, позволяющая перераспределять ледниковый сток в нужном направлении. В швейцарских Альпах есть электростанция, работающая на талых водах ледника Финделен. Надо отметить, что в период наступления ледника была опасность его сползания в водохранилище вплоть до вытеснения всей воды и повреждения плотины. Анализ движения ледника позволил специалистам предложить оригинальное инженерное решение: направить его в сторону по ... рельсам [16]. Существуют проекты чисто ледниковых электростанций, расположенных в теле самого ледника. Например, швейцарскими специалистами разработан проект электростанции на Гренландском ледниковом щите. Вода будет накапливаться в хранилищах на поверхности щита, а многоступенчатые турбины и напорные тоннели расположатся под землей. Благодаря этому станция может работать и зимой, когда водохранилище сверху замерзнет [16].

Воздействие на горнодобывающую промышленность может быть вызвано разными факторами. Случай, когда движение ледника создавало угрозу для меднорудной шахты на западе Канады, описан У.С.Б.Паттерсоном [14]. В 1963 г. вход в нее лежал на 19 м выше поверхности льда близ конца ледника. При сохранении прежних темпов перемещения лед должен был достигнуть входа в туннель к 2003 г. Однако скорость ледника существенно снизилась, что отодвинуло кризисную ситуацию за пределы срока эксплуатации шахты.

Что касается защитных мер, то каких-либо инженерных мероприятий и средств для предотвращения подвижек ледников или ледниковых обвалов не существует, поэтому единственным доступным способом предотвращения ущерба является исключение опасной зоны из использования. Меры защиты от прорывов подпруженных ледниковых озер полностью укладываются в обычную схему противопаводковых и противоселевых мероприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: ИГ РАН, 1997. Т. 1. 342 с.; Т. 2, кн. 1. 263 с., кн. 2. 270 с.
2. Виноградов Ю.Б. Эпюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 144 с.
3. Геокриологические опасности. М.: КРУК, 2000. 316 с. (Природные опасности России; т. 4).
4. Гляциологический словарь. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 528 с.
5. Динамика масс снега и льда / Д.Х.Мейл, У.С.Б.Паттерсон, Р.И.Перла и др. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 456 с.
6. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. М.: Мысль, 1989. 447 с.
7. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Пульсирующие ледники. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 192 с.
8. Котляков В.М., Рототаева О.В., Десинов Л.В. Ледник Колка: катастрофа в Северной Осетии // Взаимодействие общества и окружающей среды в условиях глобальных и региональных изменений. М.: Желдориздат, 2003. С. 196-197.
9. Котляков В.М. Мир снега и льда. М.: Наука, 1994. 248 с.
10. Мезенцев В. Энциклопедия чудес. Кн. 1. Обычное в необычном. М.: Знание, 1988. 288 с.
11. Мягков С.М. География природного риска. М.: Изд-во МГУ, 1995. 222 с.
12. Неспokoйный ландшафт. М.: Мир, 1981. 188 с.
13. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г., Шетинников А.С., Рудак М.С. Каталог пульсирующих ледников Памира // Материалы гляциологических исследований. Вып. 85. М., 1998. С. 3-136.
14. Паттерсон У.С.Б. Физика ледников. М.: Мир, 1984. 312 с.
15. Ретлисбергер Х., Кассер П. Восстановление ледника Алалин после его обвала в 1965 г. // Материалы гляциологических исследований. Вып. 33. М., 1978. С. 77-93.
16. Супруненко Ю.П. На высотных этажах планеты (Горное природопользование). М.: Трoвант, 1999. 496 с.
17. Ясаманов Н.А. Основы геоэкологии. М.: Академия, 2003. 351 с.