

УДК 551.32

## ПРИЧИНЫ И СЛЕДСТВИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ВЫБРОСА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ЛЕДНИКА КОЛКА В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАВКАЗЕ

© 2003 г. Академик В. М. Котляков, О. В. Рототаева,  
Л. В. Десинов, Н. И. Осокин

Поступило 25.12.2002 г.

В данном сообщении рассмотрена резкая подвижка пульсирующего ледника Колка, происшедшая 20 сентября 2002 г. и вызвавшая грандиозный водно-ледово-каменный сель, пронесшийся по долине р. Геналдон почти на 15 км. Показано, что природа этой ледниковой катастрофы обычна для данной долины и этого ледника. Главной причиной и спусковым механизмом ледниковой подвижки и селя стало скопление большого количества воды в леднике и под ледником, выбросившей ледник из своего вместилища.

20 сентября 2002 г. в долине р. Геналдон в Северной Осетии произошла катастрофа. Из верховьев долины вырвались огромные массы льда, смешанного с водой и каменным материалом, стремительно пронеслись вниз по долине, уничтожая все на своем пути, и образовали завал, распластавшись на всей Кармадонской котловине перед грядой Скалистого хребта. Виновником катастрофы стал пульсирующий ледник Колка, подвижки которого неоднократно происходили в прошлом. Погибли более сотни человек. Уничтожен поселок Нижний Кармадон, построенный сравнительно недавно на днище долины, а также несколько баз отдыха на берегах р. Геналдон ниже ущелья.

**К л а с с п у л ь с и р у ю щ и х л е д н и к о в.** Ледник Колка относится к особому классу пульсирующих ледников. Главное их отличие от обычных – неустойчивость динамического режима. Она обязана самому строению таких ледников, прежде всего их морфологии, особенностям питания и расхода льда. У пульсирующих ледников чаще всего затруднен сток льда – либо во всем леднике, либо на определенном его участке. Это вызывает подпруживание движущегося льда. В течение многих лет лед накапливается перед препятствием, наращивает массу до определенного критического объема. Когда тормозящие си-

лы не могут противостоять сдвигающим, происходит резкая разрядка напряжения, ледник наступает.

Неожиданные наступания ледников известны очень давно. По крайней мере с XVI–XVII вв. они отмечены в Альпах. В начале XIX в. русские инженеры при освоении трассы Военно-Грузинской дороги столкнулись со знаменитыми завалами в Дарьяльском ущелье, причиной которых были подвижки крупных ледников Казбека. В дальнейшем сведения о таких ледниках поступали вновь и вновь, но фиксировались лишь результаты подвижек, а начало и развитие их было неизвестно. Резкие продвижения ледников считались аномальным явлением и объяснялись случайными внешними причинами. Лишь в отдельных работах, опубликованных на рубеже XIX–XX вв., но не получивших широкой поддержки, предпринимались попытки объяснить подобные явления внутренними процессами в самом леднике.

Проблема пульсирующих ледников стала предметом науки с 60-х годов. Первый толчок к этому дала известная во всем мире катастрофическая подвижка ледника Медвежьего на Памире в 1963 г. с прорывом подпруженного озера. Она была детально исследована специалистами Академии наук СССР [1]. Позже были пересмотрены исторические данные о быстрых наступаниях ледников и сделан вывод об их широком распространении.

Вторым случаем крупной ледниковой подвижки в нашей стране было неожиданное наступание ледника Колка в Северной Осетии в конце 1969 г. Сотрудники Института географии АН СССР в течение 8 лет вели детальные исследования на этом леднике и окружающей территории. По результатам этих работ опубликована монография [2].

Ледник Колка и его прошлые подвижки. Ледник Колка расположен на северном склоне Казбек-Джигарайского массива в истоках р. Геналдон, относящейся к бассейну Терека. Это карово-долинный ледник с асимметричным питанием. Правый скалистый склон его крут и поднимается над ледником на 1200–1500 м. В верхней



Рис. 1. Подвижка ледника Колка в 1969 г. Фото К.П. Рототаева.

части склона с гребня на высотах 4000–4700 м спускаются разорванные трещинами участки фирновых полей и висячие ледники. Снежные лавины, обвалы фирна и льда, происходящие в течение всего года, служат источником питания ледника Колка.

В спокойные периоды между подвижками ледник имеет длину 3130 м и площадь 2.47 км<sup>2</sup>, а вместе с висячими ледниками 3.74 км<sup>2</sup>. Конец ледника в такое время лежит на высоте около 3000 м (так было при стабильном его положении в конце 20-х годов). Тыловая часть ледника под крутыми стенами цирка поднимается до 3450 м. Пологая и довольно ровная поверхность ледника забронирована сплошным моренным чехлом, источником которого служит обломочный материал, обильно поступающий на ледник с окрестных скальных склонов. Более двух третей поверхности в области абляции ледника полностью защищены от таяния слоем морены толщиной до 1 м. Вдоль всего левого края ледника тянется высокий вал береговой морены, затрудняя отток льда, поступающего с правого борта, вниз по долине.

Таким образом, само строение ледника – малые уклоны и переуглубления в ложе, упор стекающего льда в сдерживающий левый борт и последующий крутой разворот линий тока, широкая чаша цирка с относительно узким выходом, массивный полого залегающий язык пассивного льда с нарастающим во времени моренным чехлом, резко снижающим таяние, – все это вызывает постоянное подпруживание льда, накопление избыточных масс и нарастающее напряжение сдвигающих сил, в итоге приводящих к подвижке. Авторы [2] рассчитали, что в 50–60-х годах, т.е. до подвижки 1969 г., постоянный положительный

баланс массы ледника Колка обеспечивал ежегодное увеличение его массы на 1–1.3 млн. тонн.

Хотя при достижении критической массы ледника разгрузка льда неизбежна, характер ее может быть различным. Подвижка 1969 г. развивалась постепенно. Начав активное продвижение фронта 28 сентября, ледник за 6 суток прошел 1300 м, а к началу января 1970 г. увеличил длину на 4100 м и спустился на 800 м (рис. 1).

Подвижка 1969 г. достигла наибольшего развития в зимнее время, когда количество талой воды в бассейне было минимальным, что определило спокойный ход событий. Иной сценарий имела Геналдонская катастрофа 1902 г., которая произошла 3 июля, в разгар жаркого лета. Температура воздуха во Владикавказском округе во второй половине июня превышала норму на 2.7°C, а в июне и первых числах июля прошли сильные ливни. Катастрофа произошла 3 июля. Превратившись в пульпу из льда, воды и морены, ледяной выброс преобразовался в сокрушительный скоростной сель, промчавшийся в считанные минуты по долине до створа аула Тменикау, расположенного высоко на склоне.

В обоих случаях подвижка развивалась постепенно в несколько этапов, и лишь финал ее был различным. Суммарный объем льда, выброшенного в долину, а также застрявшего выше в узком ущелье Колки в 1902 г., оценен в 100–110 млн. м<sup>3</sup>, а в 1969 г. перемещенный подвижкой объем льда не превышал 80 млн. м<sup>3</sup>. Обе величины не слишком далеки друг от друга и могут характеризовать объем массы, сбрасываемой ледником при подвижках.

Подвижка ледника и сель 2002 г. 20 сентября 2002 г. огромные массы льда, воды и камней пронесли вниз по долине и остановились

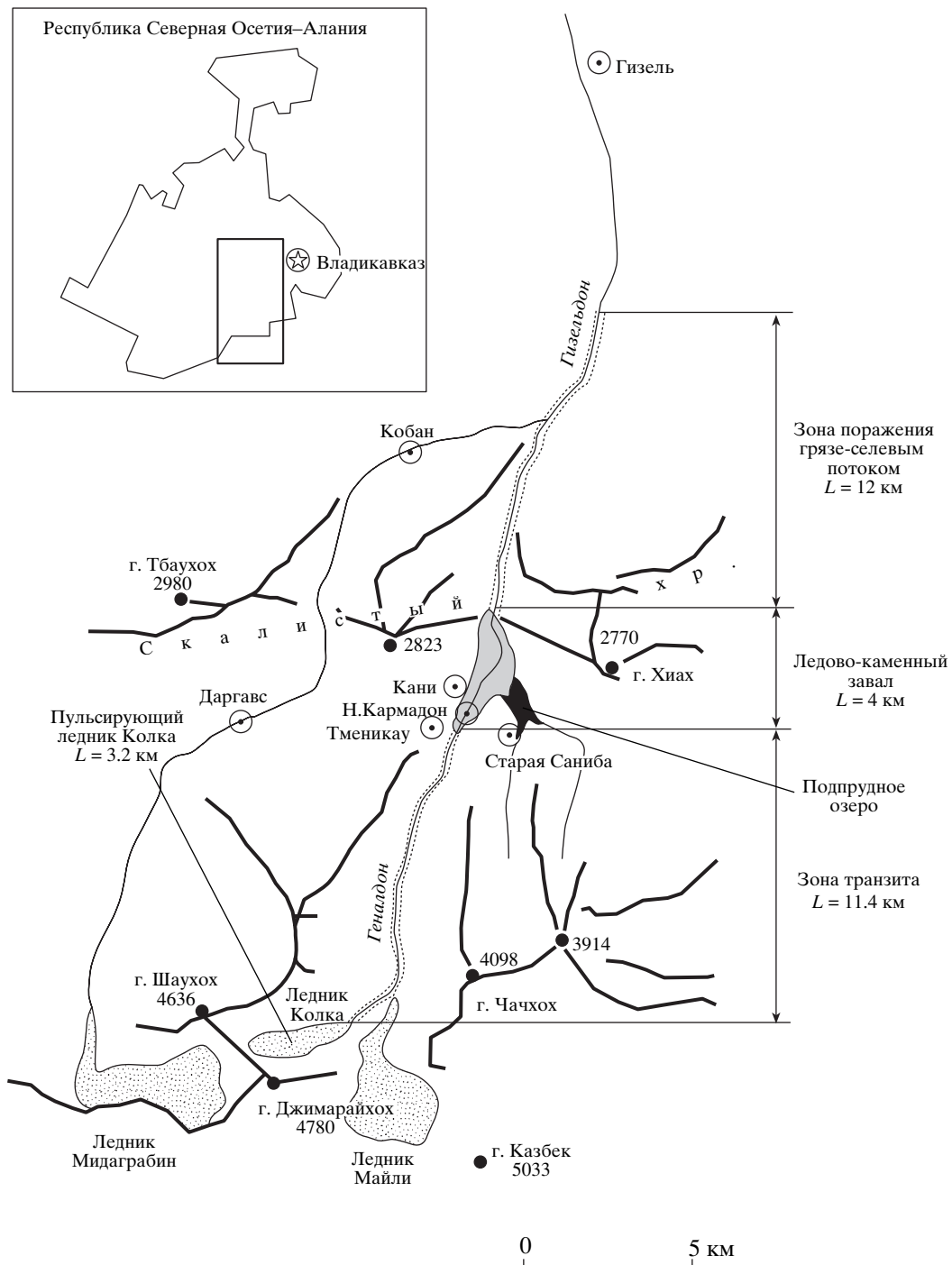


Рис. 2. Схема ледниковой катастрофы в бассейне р. Геналдон.

перед грядой Скалистого хребта, образовав завал толщиной до 100 м на протяжении 4 км (рис. 2, 3). Эти массы неслись по долине, захлестывая на склоны “волнами” и оставляя на высоте более 100–140 м над рекой глыбы льда и каменного материала. Дальше вниз по ущелью еще на 12 км пронесся водно-грязевой сель с глыбами льда, причиняя дальнейшие разрушения.

Самая неожиданная картина открылась в цирке ледника Колка. Оказалось, что ледник “ушел” из своего вместилища полностью, оставив обнаженным скальное ложе. Такого не случалось еще никогда, тем более что ледник не был висячим, а располагался в цирке и имел небольшой уклон поверхности – порядка  $7^{\circ}$ – $9^{\circ}$ .



**Рис. 3.** Ледово-каменный завал в Кармадонской котловине перед грядой Скалистого хребта. Фото “Севосгеоэко”.

Совершенно очевидно, что подобное могло случиться лишь при накоплении под ледником большого количества воды. Такому накоплению способствовало аномальное таяние льда и снега в высокогорной зоне Кавказа в течение предшествовавших четырех лет. Текущее лето было особенно дождливым (обширные наводнения отмечены в Ставропольском крае, Северной Осетии и Ингушетии), так что в бассейне ледника, и особенно в рыхлых толщах, накопилось необычно много воды. Однако это кажется недостаточным для такой резкой реакции ледника. Мы полагаем, что обилие воды на окружающих склонах и в толще самого ледника подготовило ледник к дальнейшему катастрофическому развитию событий.

Однако, судя по прошлым событиям, резкие подвижки ледника Колка происходили раньше через 60–70 лет, а в этом случае после предыдущей подвижки прошло всего немногим более 30 лет. Однако период в 70 лет между подвижками нельзя считать абсолютно достоверным, потому что в 30–40-е годы наблюдений за ледником не было, и что происходило в то время, как и во второй половине XIX в., не известно. Во всяком случае катастрофических явлений в долине Геналдона в то время не случалось.

Подчеркнем еще раз, что пульсирующий ледник в течение многих лет накапливает избыточную массу и может начать подвижку лишь при достижении ее критического значения. Однако изменившиеся условия в бассейне ледника могут ускорить подвижку. В литературе начала XX в. было распространено мнение, что толчком к пульсации ледника может служить землетрясе-

ние. Однако исследования пульсирующих ледников, в частности на Аляске, говорят о том, что даже сильное землетрясение не может повлиять на сдвиг ледников, если они еще не готовы к подвижке. Добавим к этому, что, по данным сейсмологов, никаких землетрясений на Северном Кавказе в предшествовавшие этой подвижке дни не было.

Причиной катастрофы в долине р. Геналдон многие считают обвал льда в верховьях ледника Колка. Однако альпинисты из Краснодара, которые были в районе ледника Колка с 28 августа по 4 сентября (но бывали здесь неоднократно и в прошлые годы), были поражены непрекращавшимися обвалами горной породы и висячего льда именно в этом месте – в тылу правого борта. Стоял непрерывный грохот, и склон менялся буквально на глазах. Так что обвалы начались задолго до подвижки, и обрыв льда, замеченный на гребне, сформировался не за один раз.

Мы получили космический снимок, сделанный с борта Международной космической станции 13 августа 2002 г., т.е. за 38 дней до подвижки. На нем видна серия из 4–5 дугообразных валов, следующих друг за другом на протяжении 0,5 км. Возможно, они отмечают уже активизировавшийся фронт ледника. Очевидцы, побывавшие на леднике Колка в августе и сентябре, отметили появление новых озер близ конца ледника и свежий сход нескольких больших селей, в том числе со льдом из ущелья Колки. Все это говорит о большом количестве воды, скопившейся под ледником и сыгравшей решающую роль в срыве ледника.

Время и продолжительность катастрофы известны достаточно точно. 20 сентября в 20 ч 08 мин на всех сейсмостанциях Северной Осетии отмечены колебания, не характерные для землетрясений; они продолжались около 3.5 мин, а в 20 ч 13 мин зафиксировано разрушение ЛЭП, проходящей через долину р. Геналдон. Таким образом, ледяные массы прошли 12 км за 4–6 мин, т.е. скорость вязко-турбулентного потока, состоявшего из льда, камней и воды, существенно превысила 100 км/ч.

Съемка от 17 октября 2002 г., выполненная космонавтом Ф. Юрчихиным в составе российско-американского экипажа космического корабля, фиксирует продолжение обвалов с вершин, прилегающих к леднику Колка.

Причины ледниковой катастрофы. Мы не знаем, насколько была подготовлена подвижка по сравнению с прошлым периодом – на 50 или на 80%. Как бы то ни было, прошло уже более 30 лет. Пульсирующий ледник по прошествии такого времени, безусловно, находился в неустойчивом динамическом состоянии. Периодичность его подвижек сохраняется при неизменных условиях, но под влиянием сильных внешних факторов в экстремальных ситуациях объем критической массы, при которой сдвигающие силы преодолевают тормозящие, может быть и иным. В данном случае, как видим, в леднике накопилось огромное количество воды, ставшей спусковым механизмом подвижки. Очевидно, вода “оторвала” ледник от ложа, и сформировался мощный водно-ледово-каменный сель. Уже в самом процессе движения селя по долине в нем увеличивалось содержание воды, в том числе и в результате выделения большого количества тепла при внутреннем трении обломков, что плавило переносимый лед.

Есть и еще один чрезвычайно интересный факт. В тыловой части пустой ледниковой чаши обнаружен сильный запах сероводорода. Выход газа настолько интенсивен, что здесь почти невозможно дышать. В цирке после схода ледника постоянно висит облако пара и газа, хорошо видное на снимках. И этот факт, и активно разрушающийся расположенный рядом склон, – возмож-

но, следствие вулканических проявлений Казбека. В таком случае можно предположить и особые термические условия под ледником, вызвавшие донное таяние и образование водной подушки на его ложе, ускорившей сдвиг ледника.

Таким образом, предварительный анализ данных приводит к выводу, что природа этой ледниковой катастрофы чисто гляциальная, более того – обычная для этой долины, для этого ледника. Но то, что она была спровоцирована раньше времени и достигла колоссального масштаба, обусловлено сложившимся комплексом факторов: неустойчивым динамическим состоянием ледника, уже накопившего массу, близкую к критической; мощным скоплением воды в леднике и под ледником; обвалами льда и горной породы, создавшими перегрузку в тыловой части ледника, и, возможно, вулканогенным фактором. Что касается крупного обвала, о котором много говорилось в первые дни после катастрофы, он мог иметь дополнительное, но не решающее значение.

Можно ли было предсказать эту катастрофу? Вряд ли. В данном случае стоит говорить о сложном природном явлении, объединяющем подвижку ледника (glacier surge) и ледниковую лавину (ice-rock avalanche). Прогноз таких явлений в настоящее время практически отсутствует, можно только констатировать их наличие и картографировать зоны опасности.

Случившиеся события ставят еще одну важную проблему – организацию системы мониторинга опасных ледниковых и других природных стихийных явлений. Необходимо, наконец, создать наземно-воздушно-космическую службу наблюдений за опасными природными и природно-техногенными явлениями, о чем мы писали еще в конце 70-х годов [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгушин Л.Д., Евтеев С.А., Кренке А.Н. и др. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1964. № 5. С. 30–39.
2. Роттаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 169 с.
3. Котляков В.М. // Исследование Земли из космоса. 1981. № 1. С. 7–15.