

Пульсация ледника Колка в 2002 году

П.В. Десинов¹

Установление истинных причин катастрофической подвижки ледника Колка относится к числу важнейших задач гляциологии и геологии Северного Кавказа. Масштабы последней катастрофы в Геналдонской долине и ее возможное повторение в XXI веке диктуют необходимость непредвзятого анализа без сенсационности и оглядки на властные структуры.

Вниманию читателей предлагается профессиональный, с точки зрения гляциологии, взгляд на проблему. Выводы автора основаны на 30-летнем опыте изучения пульсирующих ледников высокогорных районов мира, включая полевые исследования и мониторинг нескольких сотен активных ледников с помощью воздушных и космических съемок. Он был востребован в практической работе по оценке возможных последствий подвижек ледников в высокогорных районах бывшего Советского Союза, при составлении карт пульсирующих ледников Памира и Каракорума главного научного труда отечественной гляциологии – Атласа снежно-ледовых ресурсов мира [1] и при разработке Инструкции [5].

По определению, пульсирующий ледник – это ледник, которому свойственны резко выраженные релаксационные колебания, приводящие к перестройке его динамического режима и перераспределению в нем вещества без изменения общей массы. Как правило, при подвижке ледник увеличивается в размерах, оккупируя на время прилегающую часть долины. В большинстве случаев ледники наступают на десятки и сотни метров, но известны многочисленные случаи увеличения длины ледников при подвижках на километры и даже первые десятки километров в горах Памира, Каракорума, Аляски и некоторых других районах мира. И в очень редких случаях: при достижении ступеней или при наличии обильной водной составляющей часть продвигающегося ледника отрывается, устремляясь на высокой скорости вдоль своего речного русла.

После подвижки ледника Колка некоторые гляциологи (Ю.Г. Ильичев и др.) высказывают мнение о необходимости введения отдельного понятия «катастрофический ледник», однако это совершенно не правомерно, так как катастрофические последствия – это в том числе и результат отсутствия дол-

жной системы мониторинга. При своевременном же прогнозе любая подвижка ледника становится интересным фактом проявления сил Природы, а сам ледник – важным объектом научных исследований.

Пульсирующие ледники выделены в особый класс ледников. Их главное отличие от обычных – неустойчивость динамического режима, как показали исследования гляциологов нескольких десятков стран, не зависит напрямую от флуктуаций климата, крупных обвалов льда и горной породы, антропогенной деятельности и т. п. Указанные факторы влияют только на увеличение или уменьшение периода времени между подвижками.

И важно заметить, что при любом состоянии активизации на ход развития подвижки не оказывают прямого влияния слабые землетрясения, которые, таким образом, не могут стать «спусковым механизмом». Истинная роль разгрузки напряжений земной коры состоит в продуцировании обрушения лавин, льда и скальных пород, догружающих в том или ином темпе область накопления избыточной порцией вещества, что приводит к ускорению пульсации ледника.

Существует весьма популярное в среде специалистов по экзогенным процессам мнение о возможности подвижек ледников при создании громких шумовых эффектов, от взрывов или падения крупных предметов, например авиабомб. Оно объяснимо тем, что к пульсациям ледников подходят «с меркой» лавинщиков. Заметим, что в первые недели после Геналдонской катастрофы МЧС в соответствии с лавинной логикой планировало операцию по сбросу оставшихся висячих ледников с помощью обстрелов или путем взрывов по частям.

На самом деле для подвижки ледника обязательно многолетнее превышение в балансе массы приходной части над расходной. В редких случаях ледник может получить большую порцию вещества, соизмеримую с многолетним положительным сальдо, за короткое время. И непременным условием является накопление в некоторой области ледника, как правило в тыловой части, такой большой критической массы, которая может привести к возникновению сдвигающих сил, способных преодолеть силы, противодействующие сдвигу. Во время пульсации запас устойчи-

¹Л.В. Десинов – к.г.н., Институт географии РАН, г. Москва.

ности постепенно уменьшается, пока не происходит перестройка динамического режима ледника, стремящегося занять новое устойчивое состояние.

На величину положительного баланса массы ледника прямо влияют площадь и толщина моренного покрытия его языка, уменьшающие абляцию, то есть расход вещества, и степень превышения площади области накопления льда над площадью зоны его таяния. И большая роль в динамике подвижки принадлежит строению ложа ледника: наличию сужений, поворотов, ригелей, участков разной крутизны, ступеней и т. п. Любое препятствие задерживает на время разрядку напряжений, но усиливает этот процесс.

Таковы самые очевидные факторы предрасположенности ледников к пульсациям.

В мировой практике исследований ледниковых пульсаций ледник Колка занимает важнейшее место не только по причине катастрофических последствий подвижек, но прежде всего из-за редкого случая трехкратно наблюдавшегося быстрого продвижения с документальным фиксированием признаков динамической нестабильности и разгрузки. В реконструкции последней подвижки автором учитывались только достоверно установленные особенности событий 1902, 1969 и 2002 годов, свидетельства и фотографии участников спортивных групп – очевидцев эволюции ледника, результаты опроса местных жителей (не всегда объективные), данные сейсмических станций.

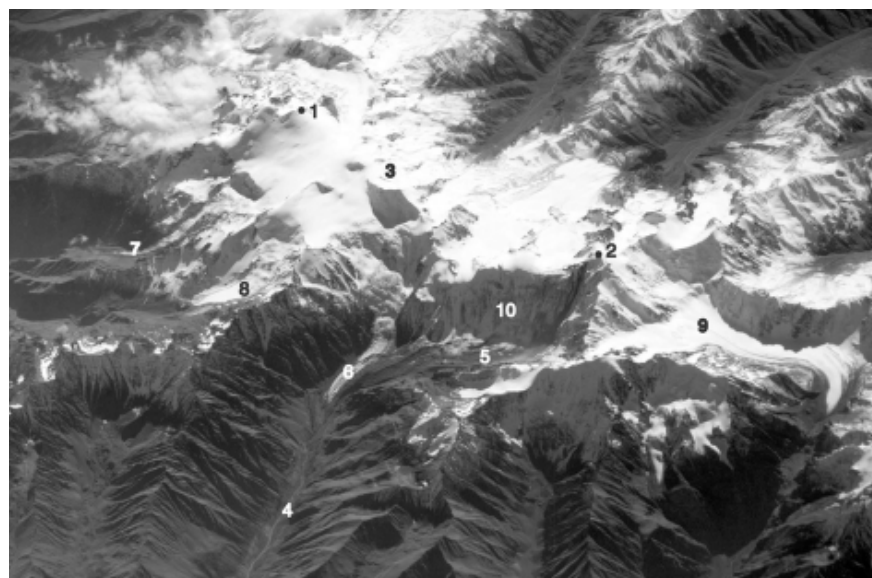


Рис. 1. Космический снимок Казбек–Джимарайского горного узла, полученный сразу после катастрофы командиром МКС В.Г. Корзуном: 1 – вулкан Казбек, 2 – вершина горы Джимарай-хох, 3 – пик Майли-хох, 4 – долина реки Геналдон, 5 – ложе ледника Колка, 6 – ледник Майли, 7 – ледник Девдоракский, 8 – ледник Абано, 9 – ледник Мидаграбин.

СРАЗУ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ. ВЕРСИИ И ОФИЦИАЛЬНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общее представление о состоянии ледника Колка в первые дни после катастрофы дают снимок, сделанный с борта международной космической станции командиром экипажа Валерием Корзуном (рис.1), и фотография с борта вертолета (рис.2). Первый из них получен во время прохождения МКС над г. Владикавказом, а второй – из точки, расположенной над мореной, разделяющей ледники Колка и Майли.

Сразу после катастрофы ледник Колка имел уникальный вид: почти полностью открылось его ложе, что в мировой практике изучения ледников не имело аналога. С восточного плеча горы Джимарай-хох спадал ободранный льдом и камнями склон, который в средствах массовой информации преподносился как почти вертикальный. Оценивая его реальную крутизну по карте М 1:10 000, получаем средний уклон всего около 35°, хотя в отдельных местах крутизна достигает 60°, а у подошвы снижается до 10–15°. У подножия горы клубилось облако газа. В левой краевой ложбине лежали большие порции колкийского льда. Практически обнажился ригель, прикрытый сверху тонким слоем грязного льда и моренным материалом. Ниже ригеля сохранился тонкий слой льда языка ледника, по которому проследовала основная унесенная масса. На обеих террасах над устьем речки Шау лежали скопления отложенного льда.

Единый комплекс ледника Колка, который состоял из главного тела и 13 нависающих над ним небольших ледников, был разрушен. Два висячих ледника сохранились лишь частично, а двух других не было вовсе. Возрожденные ледники, образованные вдоль правого края Колки обвалами льда с висячих ледников, были обрезаны. Сохранились только их верхние части на подошве склона, и были вскрыты их самые нижние слои, которые, как оказалось, выполняли роль ледовой облицовки правой части ложа ледника Колка.

Вдоль левого края ледника пролегает высокая береговая

морена. Она является препятствием, в которое упирается лед. Дело в том, что линии тока в верхней части ледника направлены не вдоль него, как обычно, а поперек осевой линии. Круто развернувшись у морены вправо, линии тока принимают продольное направление. Такой затрудненный отток льда является важнейшей особенностью ледника Колка.

Другое препятствие – крутой поворот ущелья на 60° , который приходится преодолевать наступающему леднику при подвижке. А третье препятствие – очень узкий (V-образный) поперечный профиль этого ущелья, в которое ледник с трудом «втискивается» из широкой чаши.

Названные 3 причины так сильно подпруживают движение льда, что способны надолго задерживать его быстрое продвижение, провоцируя его импульсный выброс после накопления большой критической порции. Подпруживание вызывает накопление избыточного объема льда в области оттока и рост напряжений сдвигающих сил.

В оценке причины Геналдонской катастрофы основная роль отводилась сотрудникам Росгидромета и Минприроды, на которые и возложены заботы по мониторингу горных районов России.

23 сентября достоянием страны стал вывод экспертов, что причина катастрофы – внезапное обрушение с Казбек-Джигарайского высокогорного плато висячего ледника, выбившего Колку из ложа. На следующий день об этом сообщил жителям Северной Осетии заместитель начальника республиканского Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды А.П. Полквой [8]. Еще через 2 недели эта версия была изложена на дискуссии «за круглым столом» во ВНИЦ РАН и РСО-А [3] несколькими ее участниками. К концу октября 2002 г. такая оценка события была признана подавляющим числом людей, причастных к оперативному изучению ледника. Вскоре появились публикации с обоснованием таких выводов [4,6,7,9], сделанных не на основе многолетних исследований динамически нестабильных ледников и документального подтверждения этих взглядов, а путем вероятностной эмоциональной оценки наблюдаемой ситуации.

Версия причины катастрофы из-за обвала небольших ледников была признана МЧС и стала официальным заключением.

Особое место занимали совсем «экзотические» версии, которые высказывались в ряде случаев весьма авторитетными учеными. Так, 10 октября 2002 г. информационное агентство Stringer в Интернете, в статье «Задним числом крепки» приводит высказывание академика М.Ч. Залиханова о внешних причинах подвижки: «Например, землетрясение. Или

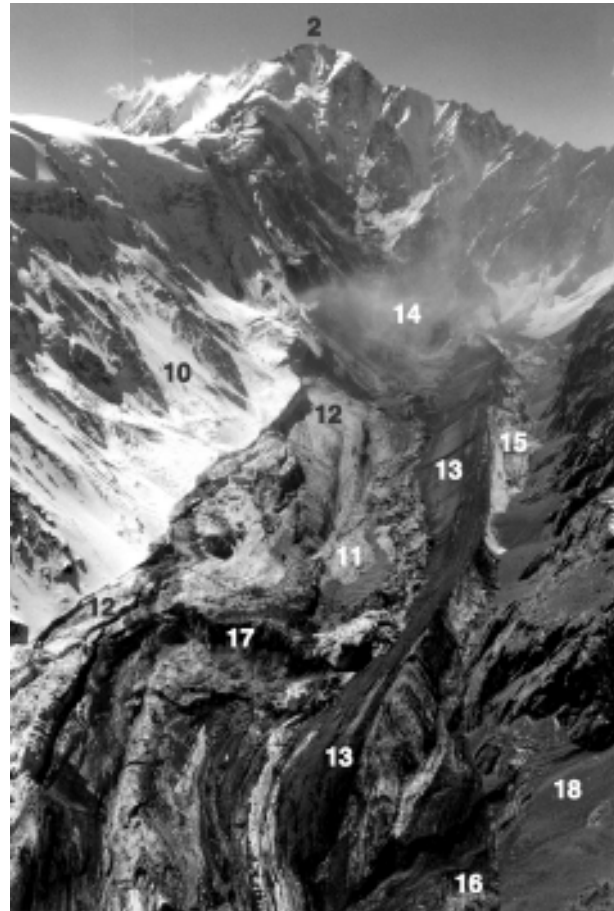


Рис.2. Вид верхний Геналдонской долины на третий день после катастрофы:

10 – уступ плато на правом борту ледника Колка; 11 – порции льда, оставшиеся на ложе после выноса всего ледника; 12 – ледовая облицовка правого склона ложа, созданная возрожденными ледниками; 13 – левая береговая морена; 14 – облако газа; 15 – колкийский лед в краевой ложбине; 16 – отложенный лед на террасе над речкой Шау; 17 – ригель; маскированные отложениями льда и моренного материала; 18 – устье речки Шау. киношники что-то взорвали. Мои ученики, доктора наук Василий Панов и Юрий Ефремов – лучшие специалисты в области геофизики кавказских ледников, соавторы книги – в один голос заявляют: этого не могло случиться без внешнего толчка – землетрясения или взрыва. Имела место искусственная встряска, послужившая толчком к сходу ледника с катастрофической скоростью».

7 октября 2002 г. газета «Природно-ресурсные ведомости» приводит дополнительную аргументацию академика М.Ч. Залиханова о внешнем воздействии в виде «военных действий с применением тяжелой артиллерии по соседству с ледником». А многие жители г. Владикавказа рассказывают приездом, что всему виной фейерверк, устроенный артистами.

И все же в первые месяцы после катастрофы некоторые ученые усомнились в официальной оцен-

ке события. Председатель Владикавказского научного центра РАН и РСО-А профессор А.Г. Кусраев, профессор СКГТУ В.И. Голик и профессор СОГУ Б.М. Бероев предостерегали от поспешных выводов [3]. И очень важно – Президент Республики Северная Осетия-Алания А.С. Дзасохов высказал понимание аргументации автора против версии единовременного обвала и рекомендовал в дальнейших исследованиях обратить особое внимание на роль землетрясений в подготовке подвижки ледника Колка.

Не будучи доказанной, версия одновременного обрушения как минимум трех висячих ледников обростала такими «подробностями», как вертикальный удар, раскалывание ледника на большие «куски», отделение от ложа и перенос на воздушной подушке в долину и многими другими домыслами.

Особое значение придавалось якобы аналогичному случаю – литературным сведениям о вертикальном ударе висячих ледников горы Уаскаран (Перу) по подвершинному леднику с выносом его в долину. Уаскаранские сели в 1962 и 1970 гг. уносили тысячи человеческих жизней, а морфологические особенности этого горного узла весьма близки Казбек-Джидмарайскому массиву. Но эти факты еще не могут служить неоспоримым аргументом подобия причин геналдонских и перуанских катастроф.

Документальное подтверждение сомнительности устоявшихся взглядов на причину уаскаранских катастроф было найдено автором в альбоме [11]. В нем помещены фотографии, сделанные в последних числах мая 1970 г. Вилемом Геккелем, который в составе группы чехословацких альпинистов совершал восхождение на вершину Уаскарана. В день катастрофы 31 мая участники группы погибли. Однако по воле случая был найден фотоаппарат В. Геккеля. Извлеченную пленку проявили, а фотографии опубликовали в виде альбома. В альбоме гора Уаскаран, сфотографированная за несколько дней до трагедии, предстает без того висячего ледника, который якобы упал вертикально вниз 31 мая! А подвершинный ледник завален льдом, обрушившимся еще до фотосъемки. Такие вот аналогии...

Автор прибыл к леднику Колка на четвертый день после схода селя и увидел здесь следы, неоспоримо свидетельствующие о типичной перестройке тела пульсирующего ледника перед началом его быстрого наступания. Эти признаки многократно описаны в научной литературе и научно-популярных изданиях. Десятки следов ледниковой подвижки, присутствовавшие в верховье Геналдонской долины до катастрофы и после нее, изложены в Инструкции [5], специально созданной для мониторинга, прогнозирования и изучения процессов пульсации ледников.

Наша оперативная оценка причины катастрофы-пульсации ледника Колка не только не была принята коллегами и руководителями поисково-спасательных работ, но вызвала резкую отрицательную реакцию.

Пульсирующие ледники начали изучаться в Советском Союзе с 1963 г., когда в горах Памира произошла катастрофическая подвижка ледника Медвежьего. За 20 лет активных исследований были изучены десятки ледниковых пульсаций и установлены основные признаки их развития от завершения одной подвижки до начала и завершения следующей. Результаты этих исследований и стали фактическим материалом для разработки инструкции. В горах бывшего СССР были выделены эталонные пульсирующие ледники, ставшие объектом постоянного изучения. Некоторые из них наблюдались круглогодично.

Правда, на территории России после распада СССР оказался только один из хорошо изученных пульсирующих ледников. Он подробно описан в монографии [10]. Ледник находится в горах Северной Осетии и называется Колка. Ледник расположен от столицы республики всего в 50 км. До катастрофы две трети этого расстояния можно было преодолеть по асфальтированному шоссе.

И в этой книге ее главный автор К.П. Рототаев, изучавший ледник 8 лет кряду и много раз возвращавшийся сюда позднее, детально описал подвижку ледника, случившуюся в конце 1969 г., и Геналдонскую катастрофу 1902 г. Прогнозируя возможные будущие быстрые подвижки Колки, он отметил, что «ледовый сель со значительным водосодержанием, подобный выбросу 1902 г., в современных условиях способен при еще больших скоростях движения достигать Скалистого хребта и даже проникать в ущелье с образованием крупных заторов. Такой сель обеспечивает значительные взбегающие волны на склоны при поворотах долины, интенсивно обогащается обломочным материалом склонов и поймы, превращается в высокоактивный смешанный сель. Он должен сильно разгружаться в пределах Кармадонской котловины, частично Скалистого хребта и особенно на Гизельском участке».

Катастрофа именно такого масштаба случилась 20 сентября 2002 г.

К.П. Рототаев пришел к выводу об отсутствии угрозы от падения висячих ледников на Колку. Оценив размеры и толщину этих ледников, он признал их роль в жизни главного ледника лишь как один из основных способов его питания.

Если результаты исследований подвижки ледника Колка, выполненные Институтом географии РАН

в 1968–1978 гг., спрессовать в одну фразу, то трудно найти более точные слова, чем те, что приводятся в предисловии к монографии [10]: «Наступание ледника Колка – не случайное явление вроде известных по литературе обвалов, а результат сложного взаимодействия природных процессов ледниковой зоны, в значительной части еще малоизученных».

Рассмотрим вкратце те факторы, которые повлияли на последнюю подвижку ледника Колка.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Объективные показатели сейсмической активности в районе ледника Колка изложены в Каталоге землетрясений Кавминводского полигона Геофизической службы РАН, предоставленном с комментариями автору руководителем Центральной опытно-методической экспедиции ГС РАН О.Е. Старовойтом и заведующей отделом И.П. Габсатаровой (г. Обнинск) и ведущими сейсмологами ОАО «Институт Гидропроект» РАО «ЕЭС России» А.А. Годзиковской и А.Г. Бугаевским (г. Москва). Аналогичные данные с подробным аналитическим обзором приводит ведущий специалист СОГЭП «Севостозко» В.Н. Дробышев (г. Владикавказ).

Изложение основных сейсмических событий в районе ледника Колка основано на выводах вышеуказанных специалистов. Они косвенно подтверждаются прямыми наблюдениями и фотосъемкой участников спортивных групп, совершавших горвосхождения в период с июня по сентябрь 2002 г. в верховьях долин Геналдон, Фиагдон, Ардон и Урух.

Анализ каталога землетрясений выполнен с акцентом только на значимые события. В *таблице 1* показана картина сейсмической активности в верховье Геналдонской долины весной и летом 2002 года. Заметим, что все данные этой таблицы, кроме времени регистрации сейсмических событий, являются расчетными величинами. Так, реально ошибка при вычислении координат эпицентра может достигать нескольких километров.

Весной и в первой половине лета 2002 г. Казбек-Джигарайский горный узел подвергся 5 сильным сейсмическим воздействиям. А 14 июля, в 0 час. 53 мин. (время по Гринвичу) всего в 8 км западнее горы Джигарай-хох произошла разрядка напряжений земной коры силой около 6 баллов. Его магнитуда 3,9, а энергетический класс 9,8 (по данным В.Н. Дробышева). Эпицентр располагался на глубине 5,4 км, что позволяет отнести землетрясение к разряду мелкофокусных. Очевидно, что сила сцепления всячих ледников со склоном и устойчивость блоков горных пород уменьшились очень значительно.

Вскоре, в 17 час. 47 мин. последовал второй толчок с эпицентром в точке, расположенной от верховий ледника Колка в 36 км. А в 23 час. 58 мин. произошел третий удар стихии. Эпицентр очага находился у населенного пункта Дзуарикау в 16 км от тыловой зоны ледника Колка.

По склону правого борта ледника началось интенсивное обрушение льда и горных пород (остается непонятным, почему же не было обрушения горных пород по склону левого борта долины? – *Прим. редактора*). Через 4 дня космическая съемка фиксирует появление в тыловой зоне ледника Колка конусов выноса упавшего вещества, а спустя 8 дней группа альпинистов, руководимая Э.Т. Манукянцем (г. Владикавказ), совершая восхождение на пик Геодезистов, расположенный напротив правого борта ледника Колка, слышала почти непрерывные обвалы. Грохот падающего льда и камней отмечался ими во время многочасового восхождения на вершину.

С большой долей уверенности следует признать 14 июля 2002 г. началом этапа быстрого накопления ледником Колка критической массы вещества, т.е. днем вступления ледника в состояние активизации. С этого дня толщина моренного плаща и объем конусов ледовых обвалов быстро увеличивались.

Помимо основных землетрясений в горах Северной Осетии с 6 марта по 31 июля произошло 95 сейсмических событий, не связанных со взрывами. По видимому, они не оказали большого влияния на устойчивость всячих ледников и горных пород на склонах вокруг ледника Колка, но отбрасывать эти события нельзя, так как процесс накопления механических повреждений, возникающих вследствие прохождения сейсмической волны сквозь пространство геологической среды, является необратимым. На некотором рубеже становится вполне достаточным не очень сильное воздействие одного из упомянутых факторов на потенциальный очаг экзогенной активизации для того, чтобы устойчивость была окончательно потеряна.

С 1 по 21 августа верховье долины р. Геналдон испытало еще 17 слабых сейсмических толчков. А 22 августа в 08 час. 25 мин. произошло главное по значимости землетрясение, сыгравшее важную роль.

Это сейсмическое воздействие на комплекс ледника Колка оказалось силой более 3,4 баллов. В 42 км от эпицентра на сейсмической станции Цей были смещены приборы, фиксировавшие этот удар. В результате, как отмечают О.Е. Старовойт и И.П. Габсатарова, «на сейсмограмме широкополосного прибора СКД вертикальная компонента была «выбита» за пределы сейсмограммы

Таблица 1

Зафиксированные сейсмические толчки в районе ледника Колка с марта по сентябрь 2002 г.

№№ землетрясений	Дата, время по Гринвичу	Координаты эпицентра, град		Расстояние от Джимарай-хох, км	Глубина очага, км	Магнитуда	Энергетический класс	Сила воздействия на Джимарай-хох, баллы
		с.ш.,	в.д.,					
93	21 марта	42,85	44,33	16	4,6	5,02	9,3	более 2
134	23 апреля	42,92	43,94	44	0,5	2,96	8,0	около 1
169	2 июня	42,84	44,72	32	8,3	3,7	9,4	около 3
172	4 июня	42,41	43,33		1,5	3,95	9,9	более 1
219	27 июня	42,82	44,34	16	11,8	3,05	8,1	около 3
244	14 июля 0 ч 53 мин	42,73	44,29	8	5,4	3,9	9,8	около 3,5
245	17 ч 47мин	42,81	43,29	36	5,7	3,1	8,3	около 1
246	23 ч 58мин	42,82	44,35	16	10,4	3,2	8,4	около 1
265	29 июля 1 ч 57 мин	42,99	44,3	32	2,7	3,	8,2	около 1
266	2 ч 04 мин	42,74	43,351	85	5,0	2,9	7,8	около 1
269	0 ч 30 мин	42,96	44,02	44	4,4	2,9	7,9	около 1
292	22 августа 8 ч 25 мин	43,16	43,80	67	11	5,1	11,7	3,41
297	26 августа	42,66	43,81	45	1,25	3,14	8,3	более 1
321	8 сентября 15 ч 15мин	43,95	38,95	420	13,3	4,14	10,3	
322	19 ч 42мин	43,50	46,17	190	10	4,2	10,3	
331	13 сентября	42,61	43,87	50	1,36	2,77	7,6	около 1
337	16 сентября	43,70	38,83	450	14,0	3,88	9,8	
338	17 сентября	43,56	43,10	170	2,5	1,07	5,4	
	20 сентября	Землетрясение произошло спустя 3 часа 49 минут после катастрофы						

(световая точка исчезла) и запись была восстановлена через 6 минут принудительно. На сейсмограмме короткопериодного прибора СКМ-3 на вертикальной компоненте также произошло смещение световой точки, в результате чего наложились две дорожки сейсмической записи. Таким образом, не удалось сделать замер амплитуды на вертикальной компоненте (а она здесь должна быть наиболее значительной), а произвести замер амплитуд только на одной из горизонтальных составляющих».

Участники спортивных групп, совершавших восхождение в верховьях долин Урух, Ардон и Фиэгдон, приводят многочисленные факты возникновения камнепадов и оползней 22 августа сразу после 8 час. 25 мин. Они рассказывают о том, что земля шаталась под ногами, а отдельные предметы падали с поверхностей, где находились в момент толчка.

В последующие дни после 22 августа вплоть до 5 сентября, когда с ледника Колка ушли последние очевидцы, с восточного плеча горы Джимарай-хох лед и горные породы падали непрерывно, так что грохот одного обвала перекрывал другой. Тем более, что 26 августа произошло последнее перед катастрофой заметное землетрясение. Его очаг находился у населенного пункта Камсхо в верховьях Ардонской долины, в 45 км от тыловой части ледника Колка. Между 22 августа и 20 сентября отмечены еще 38 сейсмических событий, которые не оставляли лед, горные породы.

В научной печати и прессе широко обсуждались землетрясения, происходившие 8, 17 и 20 сентября.

Гляциолог Росгидромета В.Д. Панов в сообщении [6] высказал мнение, что причиной разового обвала всяческого ледника стало землетрясение, произошедшее 8 сентября. При этом он не объяснил, каким образом ледник мог удерживаться на склоне еще 12 дней.

Согласно каталогу землетрясений, 8 сентября произошло 5 сейсмических событий: в 0 час. 45 мин., в 2 час. 35 мин., в 15 час. 15 мин., в 19 час. 42 мин. и в 21 час. 26 мин. Из них первое, второе и пятое были очень слабыми даже в эпицентре. Третье землетрясение произошло в море недалеко от г. Туапсе, а четвертое – севернее г. Гудермес в Чеченской Республике. По оценке сейсмологов, большая удаленность туапсинского толчка практически погасила ударную волну, а гудермесское землетрясение отразилось на верховьях ледника Колка как весьма слабое возмущение.

17 сентября произошло землетрясение, очаг которого располагался южнее г. Тбилиси. На сейсмостанции Цей оно зарегистрировано как очень слабое. 20 сентября землетрясение с эпицентром в районе Геленджика произошло спустя несколько часов после катастрофы.

Такова картина разрядок напряжений земной коры, оказавших влияние на устойчивость льда и горной породы, находившихся на правом борту ледника Колка. После катастрофы обрушение материала продолжалось до конца сентября 2003 г., когда полевым отрядом Института географии РАН были отмечены последние обвалы. Итак, начавшись в середине июля 2002 г., обрушения заняли интервал времени более 14 месяцев. Не 14 секунд или минут, а 14 месяцев!

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Дешифрирование космических снимков показывает, что Казбек-Джимарайский массив пересекают 3 субмеридиональных и 2 субширотных крупных разломов земной коры. На космическом снимке (рис. 1) четко прослеживается разлом, трассируемый с грузинской стороны по долине Мна и далее на север по языку ледника Майли и долине Геналдон. Второй разлом выходит из Грузии от долины Саватиси и проходит в направлении юг-север точно через восточное плечо горы Джимарай-хох. С севера вкрест простирания этим структурам по осетинской части гор и параллельно Главному хребту пролегает субширотный разлом. Тыловая зона ледника Колка расположена как раз в месте пересечения двух разломов и потому отличается особой подвижностью.

Эта геологическая особенность является очень важным фактором наличия в балансе массы ледника Колка особенно большой доли скальных обломков, активно поступающих в его тыловую область с южного и западного склонов. По расчетам В.Г. Ходакова [10], среднее мореносодержание ледника Колка близко 25 кг/м^3 , что является очень высоким показателем. Такое насыщение колкийского льда обломочным материалом происходит в обычных условиях жизни ледника. Однако во второй половине лета 2002 г. в результате непрерывного обрушения горных пород и «орошения» ими его тыловой области, показатель моренонасыщения превышал, по свидетельству очевидцев, норму в 10 раз и более. Этому активно содействовала природа состава горных пород, слагающих склон: гнейсы и глинистые сланцы, с характерной плитчатой отдельностью. В отдельных местах они прорваны интрузиями позднеглиоценовых гранитоидов.

Вулкан Казбек относится к числу «спящих». Его последнее извержение происходило в голоцене. Сегодня, по мнению многих ученых (директора СКО ИГЕМ РАН А.Б. Дзайнукова, профессора СКГТУ О.З. Габараева [3] и др.), под Казбек-Джимарайским горным массивом вероятно активизация глубинных очагов тепла, а в основании склона, вме-

шающего ледник Колка, возможна динамика изменения температуры горных пород. В результате этого на горных склонах усиливаются экзогенные процессы, на ложе ледников образуются повышенные порции воды, в местах выхода минеральных источников изменяется на время температура воды.

Последняя подвижка ледника Колка в полной мере проявила вулканический аспект катастрофы. Однако, к сожалению, геологические службы федерального и регионального уровней и вулканологи РАН не проявили настойчивости (при полном отсутствии финансирования на эти цели. – *Прим. редактора*) в сборе информации сразу после катастрофы, хотя до последних чисел октября 2002 г. в тыловой части ледника Колка и на правом склоне в зоне обрушения льда и камней были явные признаки вулканических проявлений: вскрывшиеся фумаролы на склоне и в месте контакта склона с ложем выделяли огромные порции газа с большим содержанием серы (рис. 2). Этот газ плотно закрывал тыловую часть ледника, но в просветах довелось наблюдать фумарольные проявления и на освободившейся части ложа.

Важным результатом наблюдений правого борта ледника стало фиксирование влажных пятен в зоне обрушения вещества и нескольких потоков воды, стекавших по склону, чего ранее не отмечалось.

В начале сентября 2003 г. нам удалось выполнить сканирование всего правого борта для поиска тепловых проявлений. Применялся прибор шведской фирмы AGA, зондирующий в спектральном диапазоне около 14 мкм. Он довольно точно фиксирует температурные контрасты. Однако наши усилия ни к чему не привели: склон остыл и приобрел практически равную температуру в равновысоких поясах.

В дальнейших исследованиях эволюции ледника Колка измерения температурных полей совершенно обязательны, так как верховье Геналдонской долины принадлежит к области неовулканизма.

Таким образом, наличие температурных проявлений не документировано. Но с учетом их явных признаков необходимо признать присутствие летом и осенью 2002 г. в тыловой зоне ледника Колка внутреннего разогрева.

РЕШАЮЩАЯ РОЛЬ ВОДЫ

Решающая роль в катастрофическом характере последней подвижки ледника Колка принадлежит воде. Жидкая фаза во льду изменяется под влиянием 3 основных факторов: повышения давления и концентрации солей и притока тепла. Все эти факторы присутствовали на леднике Колка летом 2002 г. в явном виде.

Давление возрастало по мере обрушения все новых порций льда и горных пород.

В тыловой части ледника минерализация льда была намного выше той, что обычно бывает на ледниках Кавказа. Это показали результаты эксперимента. Дело в том, что в июне 2002 г. сотрудниками Института географии РАН О.В. Рототаевой и Г.А. Носенко были взяты пробы воды из льда и озера, оставшихся на ложе ледника, и свежего лавинного снега. Химический анализ, выполненный в Институте вулканологии ДВНЦ РАН, обнаружил громадную разницу в превышении содержания сульфатов в материале 2002 г. над новыми порциями поступающего на ледник вещества: в некоторых образцах в тысячу раз. Еще в 1976 г. Г.Н. Голубев установил [2], что при содержании солей в соотношении 5 частей на миллион по весу количество воды в леднике повышается на 2%. Но в нашем случае это соотношение было превышено в сотни раз.

И очень важным фактором повышения количества воды на ложе является приток тепла со стороны Казбека, ведь ледник расположен на его северо-западном склоне. Отсутствие данных о температурном режиме правого борта ледника Колка является самым серьезным упущением геологического мониторинга ледника в сентябре–октябре 2002 г. На качественном уровне приток тепла проявил себя в полной мере.

Четвертый фактор – возникновение условий для скольжения одних массивов льда по другим по трем пространственным координатам из-за резкого повышения напряжений в активизирующемся леднике. Это резко повлияло на появление в теле ледника больших дополнительных порций воды.

А на ложе при переходе ледника от спокойного состояния в активизированное с увеличением скорости скольжения количество воды также быстро прибавлялось (пятый фактор). Если в спокойную фазу толщина водной пленки была, согласно представлениям гляциологов, всего около 1 мм, то при активизации толщина слоя водной «смазки» возросла до высоты неровностей. В 2003 году на открытых участках ложа эти неровности измерялись десятками сантиметров.

Большое дополнительное количество воды ледник Колка получил и по причине чисто климатической, ведь в последние годы на Сев. Кавказе атмосферные осадки в гляциальной зоне выпадали больше нормы. Это шестая причина. Наконец, в полной мере проявил себя вулканогенный фактор, о чем сказано выше.

Ложе ледника примерно на 90% его площади представляет собой огромное, слабонаклоненное «корыто» (рис. 1, 2), сток воды из которого затруднен риге-



Рис.3. Фрагмент правого борта ледника Колка, где произошло обрушение льда висячих ледников и горных пород. Снимок (О.В. Неподоба, г. Краснодар) сделан за 18 дней до катастрофы. Цифрами обозначены характерные узнаваемые точки склона. На переднем плане – лед и камни набухшей области оттока ледника Колка, которые напозли на вал левой береговой морены и свалились в краевую ложбину.

лем. Этот ригель нигде не обнажен до коренных пород. Более того, почти повсеместно, кроме средней части, он несет на себе толщу отложившегося 20 сентября льда и моренного материала. В середине вала морены возвышается над ложем всего на 15 м. Он проницаем для воды, что установлено по медленному понижению уровня озера, образовавшегося сразу после подвижки, и последующему его исчезновению.

К сентябрю 2002 г. в корытообразном ложе ледника Колка был накоплен огромный объем воды, а движение льда осуществлялось не просто на водной смазке, а по толстому слою жидкости. Рассматривая влияние водной смазки, Г.Н. Голубев сделал следующий вывод: «Если интенсивность донного таяния увеличится на порядок и соответственно увеличится толщина водной пленки, то можно ожидать резкого увеличения скоростей, то есть подвижки ледника». От себя заметим, что если интенсивность увеличится на два порядка, то следует ожидать катастрофу! Вполне возможно, что толщина водной пленки увеличилась в отдельных местах ложа даже на три порядка.

РЕАЛЬНАЯ КАРТИНА ОБВАЛОВ

До июля 2002 г. тыловая зона ледника Колка была очень ровная, без заметных нагро-

мождений моренного материала. Об этом свидетельствует ряд фотографий, сделанных участниками спортивных групп. А к концу августа эта зона представляла собой сплошное нагромождение камней.

14 июля началось падение горных пород и первых порций льда на склоне, расположенном точно в месте пересечения двух главных разломов. Через 4 дня съемка со спутника «Terra» аппаратурой ASTER фиксирует конус выноса обрушенных пород. Как было отмечено выше, 22 июля, на восьмой день, интенсивность обвалов была весьма высокой. И, судя по снимку космонавта В. Корзуна, сделанному 13 августа с борта МКС, в средней зоне ледника Колка уже не было элементов открытой поверхности льда.

А в начале сентября туристы фотографировали склон, уже освободившийся ото льда. По их наблюдениям (О.В. Неподоба и др., г. Краснодар), с первых чисел сентября продолжался обвал в основном горных пород. Сравнивая по маркировочным точкам фотографии склона по состоянию на 2 сентября 2002 г. (рис. 3) со снимками, сделанными после катастрофы (рис. 4), обнаруживаем соответствие в положении линии отрыва льда висячих ледников. В

Тот же фрагмент правого борта. Снимок сделан после катастрофы. Густым темным оттенком проявился участок склона, на котором продолжалось обрушение камней еще целый год после подвижки.



Рис.4. Тот же фрагмент правого борта. Снимок сделан после катастрофы. Густым темным оттенком проявился участок склона, на котором продолжалось обрушение камней еще целый год после подвижки.

конце августа и в первые дни сентября активно разрушался только самый нижний из висячих ледников, отмеченный цифрой 30. Он перестал существовать к 5 сентября, создав ледяной конус выноса у подножия склона в точке, отмеченной цифрой 35. Это означает, что еще за **15 суток до катастрофы произошла полная разгрузка ледовой облицовки этого участка правого борта ледника Колка.**

Таким образом, документы убедительно опровергают версию об обвале висячих ледников единым махом 20 сентября.

Эти неоспоримые сведения вызвали новую версию о грандиозном обвале скалы, якобы произошедшем вечером 20 сентября в результате землетрясения с эпицентром в районе Геленджика. Однако, как было показано выше, оно произошло через несколько часов после катастрофы. А связь падения этой гипотетической скалы с землетрясениями от 8, 13 и 16 сентября не аргументируется анализом реального влияния этих сейсмических толчков на состояние склона. На самом же деле эти землетрясения были лишь фоновыми, как десятки других.

Весь материал, упавший в тыловую зону ледника Колка, находился до обрушения на довольно небольшом по площади участке правого борта. В генерализованном виде он ограничивается трапецией с основанием около 700 м, верхней кромкой длиной около 900 м и двумя боковыми линиями протяженностью 1200–1400 м. Средняя крутизна этого участка склона, как было показано выше, около 35°.

Этот склон имеет множество больших и малых ступеней, обрывов, мульд. Лед и камни, спадая вниз, невольно взаимодействовали с этими неровностями рельефа, разрушаясь на них на более мелкие фракции. Лед оседал вниз в виде типичных конусов выноса, а каменный материал орошал тыловую зону ледника таким образом, что первые порции достигали подножия левой береговой морены. Но позднее, когда поверхность ледника покрылась грядами и кучами камней, следующие порции уже едва проникали до осевой части ледника. По сведениям туристов, проходивших в конце августа–начале сентября вдоль осевой линии тыловой области, отсюда до склона правого борта пролегли гряды обрушенной породы высотой до 10 метров, которые в свою очередь были насыпаны на материал более ранних обвалов.

Для оценки массы обрушившегося льда автор воспользовался расчетами К.П. Рототаева величины площади висячих ледников и схемой, на которой он показал положение каждого из них [10]. В

соответствии с этой схемой ледники №8 и №9 упали полностью, ледники №7 и №10 лишь частично. Общая площадь обрушения составляет не менее 0,45 км², а толщина льда в среднем около 50 м. При плотности льда, близкой к 0,7 г/см³, получаем массу упавшего льда около 15 млн тонн.

Хотя объем каменного материала, устилавшего тыловую зону, превышал объем ледовых обвалов, примем их равными. Это дает возможность оценить массу обрушенных камней с учетом их удельного веса не менее 40 млн тонн. Таким образом, общая дополнительная нагрузка на тыловую зону составила не менее 55 млн тонн. Следует заметить, что, по оценке геологов (И.М. Васьков и др., г. Владикавказ), масса обрушенных пород была намного большей.

В нормальных условиях ледник Колка, по оценке К.П. Рототаева, имел ежегодный положительный баланс массы 1–1,3 млн тонн, что при 65-летнем цикле пульсации дало ему основание прогнозировать следующую подвижку на 2035–2040 гг. П.М. Лурье и В.Д. Панов на основании анализа климатических показателей 70–90-х годов предположили возможность более ранней подвижки ледника: уже к 2010–2015 годам.

Расчеты К.П. Рототаева по достижению ледником Колка такой критической массы, которая вызовет его подвижку, оказались точными. Ведь к лету 2002 года леднику не доставало 35–40 млн тонн вещества. И эту порцию он получил уже к середине августа 2002 г., а следующие 5 недель его тыловая зона продолжала догружаться обрушением пород.

Таким образом, к концу августа на леднике Колка возникли все условия для начала быстрой подвижки. Но еще ранее на пульсирующем леднике всегда возникают признаки динамической неустойчивости. Как правило, в первую очередь по телу ледника прокатывается серия волн активизации.

13 августа 2002г. командир Международной космической станции Валерий Корзун, выполняя по заданию автора (научного руководителя программы «Ураган» – мониторинг природной среды с российского сегмента МКС) съемку перевалов Главного хребта, сделал снимок Казбек-Джидарайского горного узла с разрешением на местности 5 м. Ледник Колка попал в поле снимка только нижней и средней частями.

Снимок показывает, что 13 августа язык ледника имел вогнутую в профиле форму. Это дает основание сделать вывод, что самая нижняя часть ледника еще не была активизирована, т. е. волны напряжений не достигли этой зоны. А вот выше видна первая волна активизации, которая проявилась

выпуклой дугой, обращенной вниз в долину. Сюда уже пришли волны деформаций. Это фронт пульсации. Еще выше видна целая серия подобных волн. В продольном сечении это череда лбов, по которой поверхность ледника повышается. А за ними в поперечном сечении ледника уже явно видна и хорошо дешифрируется его выпуклая форма.

И это очень важно: серия волн активизации и выпуклый профиль свидетельствуют о приближении подвижки!

Сопоставляя данные К.П. Рототаева с реальным обрушением вещества с правого борта, автор рассчитал, что ледник Колка с 14 июля получал ежедневно порцию льда и горных пород, соответствующую годовому положительному балансу массы нормального периода эволюции. Принимая, что с 14 июля по 5 сентября ежедневное обрушение было примерно одинаковым, получим к началу второй декады августа величину около 35 млн тонн. А это как раз та критическая масса, которая объясняет появление волн активизации, зафиксированных 13 августа.

Продвижение на этот момент волн активизации уже к зоне ригеля не означает, что они совершили долгий путь. По-существу, они возникли совсем рядом, в очень близком поперечном профиле, так как область оттока в 2002 г. занимала гораздо большую часть ледника, чем просто тыловую зону. Ведь упавшие массы льда и камней закрыли не только самую верхнюю, но и среднюю часть ледника. Ригель на ложе служил естественным препятствием для оттока льда, поэтому оперативный простор для прокатывания волн активизации практически отсутствовал.

Возникнув, они после прохождения короткой дистанции тормозились, быстро догоняя одна другую. Нарастающие напряжения в конце концов вызвали скол по одной из внутренних плоскостей скольжения. Это событие произошло 28 августа, когда 2 местных жителя, находившиеся у Верхних Кармадонских источников, стали свидетелями прохождения мощного селевого потока. Этот поток остановился у створа Белой Речки, где был обнаружен 29 августа и краснодарскими туристами. Он представлял собой грязе-каменную массу с кусками льда. Аналогичное событие происходило в 1902 и в 1969 годах.

В соответствии с рекомендацией К.П. Рототаева [10] 28 августа 2002 г. следует считать днем начала последней подвижки ледника Колка.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПОДВИЖКИ ЛЕДНИКА

В первые дни после 28 августа скорость продвижения ледника была небольшой. Иначе туристы заметили бы подвижку. Во время аналогичного этапа в 1969 г. она составляла не более 10 метров в сутки.

На фотографиях тыловой зоны видно, что здесь уже возникли большие трещины и поверхность ледника поднялась выше «забора» левой береговой морены. Лед начал спадать в краевую ложбину. Проявился ярчайший признак начала подвижки. С этого этапа даже в случае полного прекращения обвалов пульсация приобрела бы необратимый характер. Сдвигающие силы уже преодолели тормозящие, и началась разрядка напряжений.

Уместно напомнить данные К.П. Рототаева: в 1969 г. за первые 6 суток быстрого наступания ледник продвинулся на 1300 метров, а затем, после короткой остановки, за 20 суток – еще на 750 метров.

Ускоренное движение ледника Колка в 2002 году началось не ранее 11 сентября, когда верховье долины наблюдалось последний раз туристской группой (М.О. Иванов, г. Владикавказ), но не позднее 13 сентября, когда местные жители отметили очень мощные звуковые эффекты, исходившие из-за по-

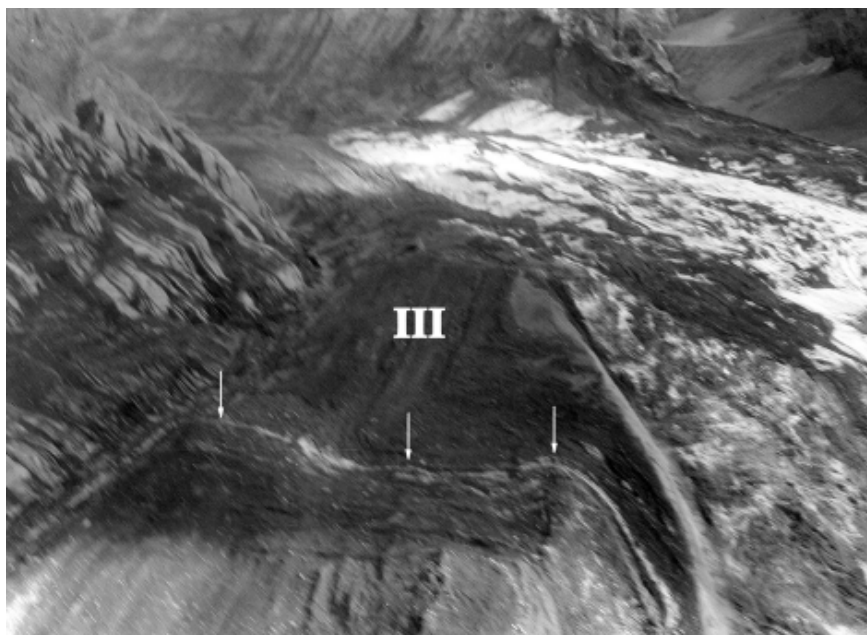


Рис.5. Валы донной морены – след позиционирования ледника Колка в конце III этапа нагнетания льда во фронтальную часть ледника, перед началом быстрого движения.

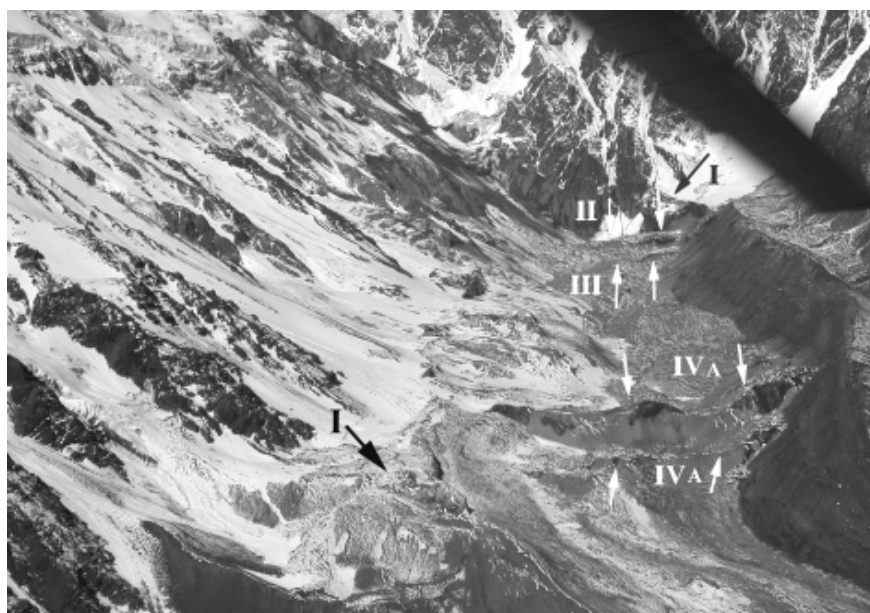


Рис. 6. Следы максимальных положений поверхности ледника Колка перед началом I, II и III этапов нагнетания льда к месту поворота долины. IV A – следы отложения льда и моренного материала на двух уступах ригеля в конце этапа быстрого выноса ледника из своего вместилища.

ворота долины со стороны ледника. В этот день сейсмические станции Северной Осетии зарегистрировали землетрясение.

За 7 суток с 13 по 20 сентября 2002 года фронт наступающего ледника Колка преодолел дистанцию около 1600 метров и к середине ночи с 19 на 20 сентября достиг позиции, отстоящей от места слияния рек Колка (исток реки Геналдон) и Майли примерно в 1200 м. Здесь ледник оставил моренные валы, которые перемещал перед собой как бульдозер (рис. 5). За этот период и произошла полная перестройка поверхности ледника.

В эти 7 дней наступание ледника практически соответствовало его перемещению в период с 28 сентября по 4 октября 1969 г., когда фронт подвижки также достиг крутого поворота ущелья.

После катастрофы ледник Колка оставил много следов, которые свидетельствуют о том, что кульминация подвижки проходила в 3 этапа. По этим признакам нами реконструирована динамика оттока массы вещества из верхней части ледника сначала к его языку, а затем к каньону и срыв ледника в водно-гляциальный сель, то есть переход движения от вязкотурбулентного типа в жидко-турбулентную фазу.

Обозначим эти этапы цифрами I, II и III. На рис. 5, 6, 7, 8 оставленные во время подвижки следы помечены этими цифрами, а стрелки показывают положение каждого из них.

13 сентября ледник пришел в ускоренное движение, наступая со скоростью несколько сотен мет-

ров в сутки. Это и было началом первого этапа. Поверхность ледника поднялась выше гребня левой морены не только в самом месте ее зарождения, но и в районе ригеля. Лед перевалил в этих местах через гребень и остался в краевой ложбине и возле устья речки Шау.

В области оттока лед перемещался как оседающая и растягивающаяся пластина. Это отмечено во многих случаях наземных исследований пульсирующих ледников. Все точки поверхности смещались в направлении ригеля, сохраняя взаимное пространственное расположение, постепенно строго пропорционально увеличивающееся в продольном направлении. Расстояние

между точками практически не изменялось в поперечном направлении. При внешней кажущейся хаотичности движения эта закономерность всегда присутствует на завершающем этапе подвижки.

Ниже ригеля, в самом начале правой береговой морены осталась большая порция льда, зафиксированная максимальный уровень поверхности ледника в средней зоне перед началом первого этапа (обозначено I на рис. 6). А в верховье ледника на гребне левой береговой морены отложилась та порция льда, которую ледник выдавил еще к концу августа. Она маркирует самый высокий уровень поверхности к началу первого этапа разгрузки зоны оттока, то есть к 13 сентября (также обозначено I на рис. 6).

В области оттока за трое суток первой фазы разгрузки произошло очень сильное оседание поверхности. В устьях возрожденных ледников вдоль правого борта образовались обрывы льда. Важный след ледник оставил под крутой стеной восточного склона. Здесь к скалам прилепилась большая порция льда, прикрытого сверху толстым слоем камней. Эта сбросовая структура (терминология гляциологов. – Л.Д.) не была вовлечена в подвижку. Она осталась как след максимально высокого положения поверхности ледника перед II этапом подвижки (рис. 6).

Уровень понижения поверхности к началу второго этапа остался и на внутренней части левой береговой морены. Здесь в сентябре и октябре сохранился шлейф ледовых примазков (рис. 7).

Второй этап начался 16 сентября, так как именно в этот день местными жителями вновь были отмечены очень сильные грохочущие звуки, доносившиеся из верховий, – «как из пушек стреляли». В этот день произошло землетрясение.

Сбросовая структура II на *рис. 6* показывает, что после некоторой стабилизации оттока льда из тыловой зоны ледник вновь пришел в ускоренное движение, в результате чего поверхность понизилась до уровня верхней части сбросовой структуры III (*рис. 6*). Отток происходил быстро, но так же, как в первом случае, лед уходил в виде оседания и движения в направлении ригеля.

На внутреннем скате левой береговой морены остался второй шлейф ледовых останцев. По разнице уровней сбросовых структур в тылу и шлейфов на скате левой морены можно судить об объемах льда, вынесенных за второй цикл кульминации подвижки.

Судя по положению следов, к 20 сентября выше ригеля толщина ледника уже не превышала 50 м, причем поверхность была раздроблена тысячами трещин и разломов на призматические блоки. Известно, что глубина таких трещин не превышает 25–30 м. Это означает, что пластичный несущий лед сохранил только около 20 м своей толщины без трещин.

Около 2 часов ночи 20 сентября сработал последний спусковой механизм. В это время примерно в двух км от ледника Колка и севернее него, за гребнем левого борта ледника, примерно на одном уровне с его поверхностью остановились на отдых 3 человека: Александр Цирахов – житель поселка Джимара с товарищами. По сведениям А. Цирахова, около 2 часов они были разбужены очень сильным толчком снизу. Около 1 минуты земля содрогалась. Был слышен сильный гул. Вернувшись в поселок, надеясь на спасение людей и полагая, что произошло сильное землетрясение, они обнаружили безмятежно спящих людей, не ощутивших толчка. Так что же это было?

Объяснить это явление удалось после дешифрирования снимков, на которых показан участок левого борта ледника Колка, расположенный над гребнем береговой морены в самом тылу зоны оттока (*рис. 7*, след примазка IIIА).

Сравнивая эту фотографию со снимком того участка правого склона долины Геналдон, в который ударил селевой поток в начале девятого часа вечером 20 сентября (*рис. 8*, примазок IVB), обнаруживаем полную идентичность следов, оставленных мощным водным потоком со льдом. Факт удара водно-ледовой массы в правый борт долины р. Геналдон принимается безукоризненно всеми аналитиками катастрофы. Сравнивая оставленные следы, убеждаешься в том, что и на левый склон над ледником также воздействовали вода и лед.

Речь идет о газо-гидравлическом ударе со стороны ложа тыловой части ледника Колка. Его вызвала теплая или относительно горячая вода, смешанная с газами и нагретая в фумарольной зоне ложа. До тех пор, пока ледник был довольно толстым, он удерживал давление воды и газов. Но, потеряв прочность внешнего слоя льда толщиной 25–30 м и постепенно становясь тоньше от оттока массы, ледник не выдержал давления воды снизу и был практически взорван в самом тылу.

На *рис. 7* показана стрелками глубокая борозда (позиция IIIВ), оставленная во время газо-гидравлического удара большой порцией льда, переброшенной через гребень береговой морены. Эта масса колкинского льда, отмеченная позицией III, оставалась до начала лета 2003 г., а к сентябрю уже была прикрыта сверху каменным плащом – своеобразной поверхностной мореной.

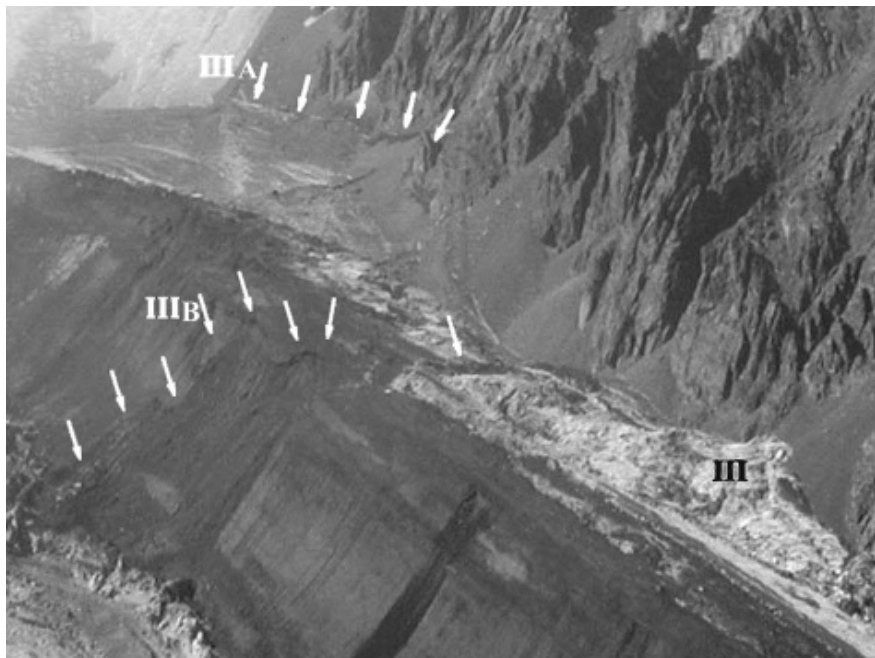


Рис. 7. Следы газо-гидравлического удара в тыловой области ледника Колка: шлейф ледового примазка высоко на склоне – III А и глубокая борозда на склоне левой морены, образованная от выпихивания льдом во время его выброса в крайнюю ложбину – III В.

К ночи 20 сентября фронтальная часть подвижки или с трудом протискивалась в крутой и очень глубокий поворот (рис. 8) или уже была заторможена. Ведь по опыту двух предыдущих подвижек головной части ледника предстояло добрать такую большую порцию вещества, которая обеспечивает преодоление «затвора».

Газо-гидравлический удар создал условия для импульсивного перемещения большого объема еще оставшегося льда верхней и средней зоны. Этой массе предстояло догрузить фронтальную часть ледника, чтобы прорвать сходу «затвор».

20 сентября с 2 час. 21 мин. происходила заключительная фаза кульминации подвижки. Лед и вода догружали «затвор». На скалах левого берега у поворота долины остался след максимального положения поверхности перемещенного льда перед стартом ледника (рис. 8). В это время над ригелем и за ним находился тыл ледово-каменной массы, вовлеченной в подвижку.

В период между 19 час. 40 мин. и 19 час. 50 мин. накопившаяся критическая масса льда, пропитанного водой, ускоряясь, рванулась в долину. В 20 час. 9 мин. 5 сек. произошел контакт фронта подвижки с правым бортом долины в виде мощного удара льда, воды и камней. Средняя скорость движения ледника с учетом пройденной дистанции 1 300 м оказалась близкой 3,5 км/ч. По-видимому, в момент контакта с правым бортом она достигла 10 км/ч.

Быстро покидая свое вместилище, ледник оставил на ригеле порцию льда и камней. А так как ригель имел 2 ступени, то лед и моренный материал отложились здесь в виде двух слоев (рис. 6, поз. IVA). Вдоль оси этой «этажерки» отложений не возникло, так как именно здесь пролегал главный стрежень быстро вытекающей с ложа воды.

После удара в правый борт основная масса оказалась в начале прямолинейного участка Геналдонской долины. Отсюда началось ускоренное продвижение селя вдоль трога. По всей вероятности, с этого времени вязко-турбулентный поток превращался в жидко-турбулентный, ведь при ударе произошло разрушение консолидированной массы ледника, а хлы-

нувшая вода стала насыщать собой ледово-каменную смесь. В результате активного трения между крупными и мелкими частями этой массы и трения о ложе долины количество воды быстро прибавлялось.

Следующий сильный удар был нанесен в левый борт долины в 20 час. 10 мин. 21 сек., т. е. спустя 76 сек. после первого. С учетом расстояния между зонами контакта скорость селя уже достигала 60 км/час. Затем селевая масса пронеслась вдоль тальвега долины, захлестывая на плечи трога. В 20 час. 13 мин. 30 сек. был зафиксирован обрыв проводов ЛЭП, проложенной поперек долины в 11 км от места первого контакта ледника с правым бортом. Средняя скорость селя достигла 140 км/час. Далее, на широкой пойме Кармадонской котловины скорость селевой массы должна была уменьшиться.

Закономерен вопрос: какими данными подтверждается такая точность оценок времени событий?

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЗАПИСИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕДНИКА КОЛКА

Основные фазы движения ледника Колка фиксировались многими сейсмическими станциями на территории Северной Осетии. Нам известны данные измерений аналоговой сейсмостанции «Цей», принадлежащей Центральной опытно-методической экспедиции Геофизической службы РАН, двух цифровых сейсмостанций ОАО «Институт Гидро-

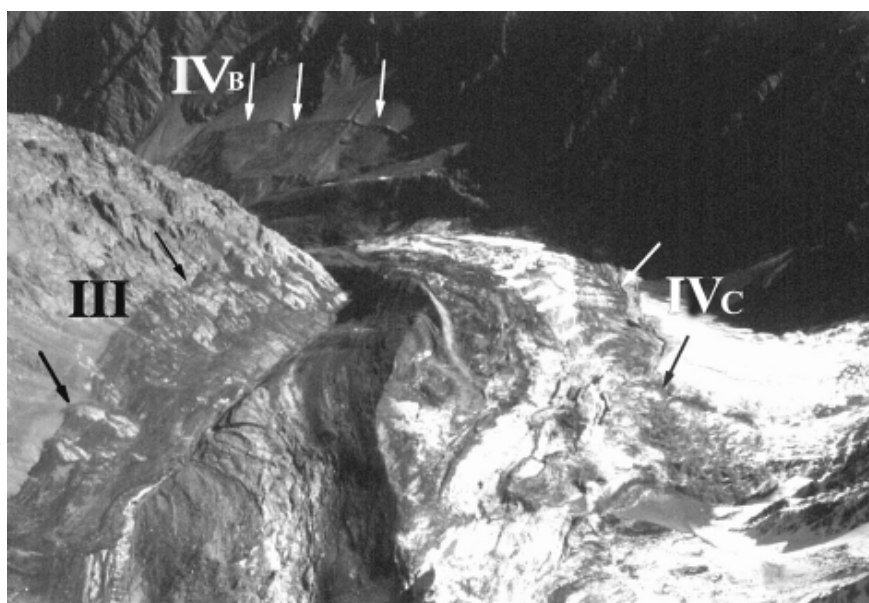


Рис 8. След уровня максимального повышения поверхности ледника Колка в зоне нагнетания льда – III и следы катастрофического выноса ледника в Геналдонскую долину: шлейф ледового примазка высоко на склоне правого берега долины – IV B и граница сдирания поверхностного слоя на языке ледника Майли – IV C.

проект», располагавшихся в районе Зарамагской ГЭС, и четырех цифровых сейсмостанций Владикавказского научного центра, функционировавших в долинах Фиагдон, Ардон, Чикола и Зарамаг. Соответствующие данные измерений и анализа любезно предоставили О.Е. Старовойт, А.А. Годзиковская, И.П. Габсатарова и А.Г. Бугаевский. Первая из этих станций ведет регистрацию непрерывно, а все другие – в ждущем режиме обнаружения и регистрации сейсмических событий.

20 сентября 2002 г. в 2 час. 21 мин. 30 сек. станция «Зарамаг-Бад» зафиксировала прохождение через геологическую среду волны возбуждения, вызванной, скорее всего, не землетрясением, а толчком на поверхности, которая утасла через 40 секунд. Этот сигнал совпадает со временем газо-гидравлического удара в тыловой зоне ледника Колка и документально подтверждает сообщение А. Цирахова.

Соответствующая сейсмограмма приводится на рис. 9. Эта уникальная запись в отличии от всех других не имеет четкой интерпретации сейсмологов, так как отсутствуют аналоги фиксирования подобного природного явления. Автор принимает осторожную позицию коллег и со своей стороны полагает, что эта сейсмограмма будет востребована со временем как яркий пример фиксирования приборами мощных выбросов воды и газа.

Более однозначно И.П. Габсатарова интерпретирует сейсмограмму, полученную станцией «Цей». Приводим дословно ее мнение: «Это цуг колебаний в 02 час. 27 мин. 47 сек., длительностью 12–15 секунд в максимальной части, имеющий период 0,6 сек. и амплитуду 0,03 микрона. По виду записи его можно отнести к поверхностной волне. Очень слабое начало колебаний на этой же компоненте можно отметить в 02 час. 27 мин. 25 сек., период колебаний 0,8 сек., амплитуда 0,01 микрона, начавшийся слабо выраженными колебаниями, лучше всего видными на компоненте восток–запад. Общая длительность колебаний 1 минута 12 секунд». От себя заметим, что станции Северной Осетии реально фиксировали только сейсмические события энергетического класса 6 и более (здесь противоречие с данными В.Б. Заалишвили и др. – см. статью в этом номере. – Прим. редактора). Совершенно очевидно, что поверх-

ностная волна, вызванная газо-гидравлическим ударом, по мере развития этого процесса воспринималась записывающей аппаратурой не в полной мере.

Дальнейшие исследования могут дать дополнительную информацию об уникальном событии, происходившем в третьем часу ночи 20 сентября. Вполне вероятно, что оно развивалось более продолжительно, чем 1 минута 2 секунды.

Московские сейсмологи, рассматривая вечернюю ситуацию в верховье Геналдонской долины, на основе своего анализа делают следующий вывод: «Можно утверждать, что сигналы от движения ледника появились на сейсмограммах между 19 час. 58 мин. 38 сек. и 20 час. 08 мин. 13 сек. Анализ сейсмограммы станции «Цей» показал, что отдельные группы квазиоднородных колебаний с $T=0,6$ сек начинают просматриваться с 20 час. 05 мин. 13 сек.». А станция «Чикола» регистрирует волны возбуждения с 19 час. 56 мин. Более ранние сигналы осторожные сейсмологи принимают как возможные фоновые колебания грунта.

Таким образом, следуя обобщенной логике сейсмологов, автор предварительно отодвигает время старта ледника к 19 час. 56 мин. В 20 час. 5 мин. 13 сек. сейсмостанция «Цей» обнаруживает поверхностный толчок, который, вероятно, следует интерпретировать как воздействие на преграду основного или правого потока ледника Колка, продвигавшегося по нижней части ледника Майли и отделенного от главного потока высокой береговой мореной, пролегающей между обоими ледниками. Сейсмологи оценивают это событие как «значительный удар при движении ледника», оценивая само движение «как работу вибратора».

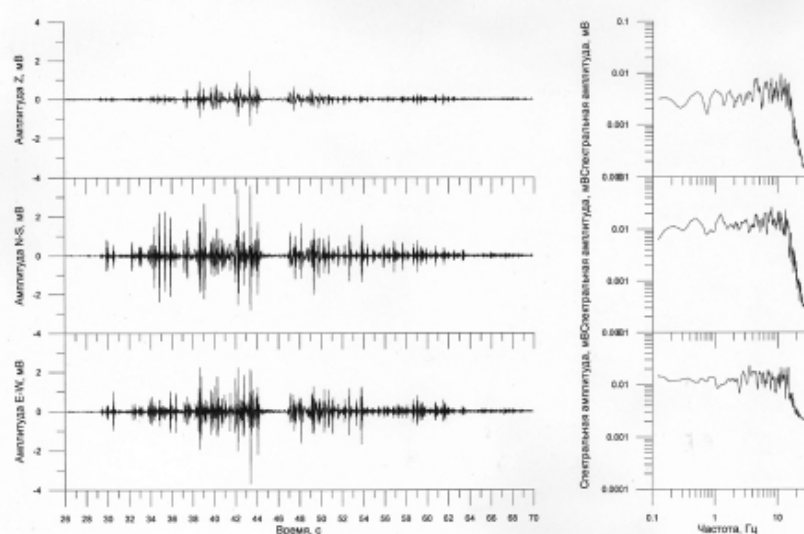


Рис. 9. Регистрация события, произошедшего 20.09.2002 г. в 02 час. 21 мин. 26 сек. пунктом сейсмологических наблюдений «Зарамаг-БАД».

Очевидно, что на первом этапе ускоренного движения ледник Колка как вибратор создавал воздействия на геологическую среду, заведомо меньшую, чем энергетический класс 7. Поэтому необходимо еще раз отодвинуть «влево» время начала движения фронтальной части ледника Колка и учесть запись якобы фоновых колебаний грунта, фиксировавшихся с 19 час. 43 мин. 38 сек. Суммируя все данные, следует принять за начало катастрофы отрезок времени между 19 час. 40 мин. и 19 час. 50 мин.

В 20 час. 8 мин. 13 сек. станции «Зарамаг-Ствол» и «Чикола», а спустя еще 14 сек. станции «Зарамаг-Ствол» и «Фиагдон» фиксируют еще два движения ледника Колка, которые, по всей вероятности, соответствуют контакту продвигающегося льда основного или правого потоков с какими-то препятствиями. Еще через 8 сек. колебания грунта заметно усиливаются.

В 20 час. 9 мин. 5 сек. и цифровая станция «Зарамаг-Ствол», и аналоговая станция «Цей» реагируют на мощный удар в правый борт Геналдонской долины.

В 20 час. 10 мин. 21 сек. на сейсмограмме станции «Цей» появляется весьма заметное увеличение амплитуды смещения во время первого контакта с левым бортом долины. За 30 сек. до этого момента сразу 3 станции ВНИЦ РАН и Правительства РСО-А регистрируют на резкое усиление колебаний от движения селевой массы.

В 20 час. 11 мин. 40 сек. включается четвертая республиканская станция, установленная в Ардоне. По-видимому, она реагирует на очередной заплеск селевой массы на плечо трога. Далее до 20 час. 15 мин. 30 сек. колебания на сейсмограммах всех станций идут с нарастанием амплитуды. Последние цифры соответствуют моменту удара селевой массы по преграде Скалистого хребта.

ВЫВОДЫ

1. Катастрофа в Геналдонской долине 20 сентября 2002 г. вызвана подвижкой пульсирующего ледника Колка, пришедшего в состояние неустойчивого динамического режима ранее ожидаемых сроков в результате наложения нескольких факторов: повышенной сейсмической активности, проявления влияния вулкана Казбек с увеличением нагрева отдельных участков правого борта и газовой выделения фумарол, прихода значительного количества воды с атмосферными осадками и в результате таяния льда.

2. Версии о разовом обвале висячих ледников или блока горных пород не подтверждаются фактическими данными. Обрушение материала висячих ледников произошло в период с 14 июля по 5 сентября, а обвалы скал происходили с середины июля 2002 г. до сентября 2003 г.

3. Накопление минимальной критической массы вещества в тыловой части ледника Колка, вызвавшей его активизацию, произошло к началу второй декады августа. В последующие 5 недель область оттока догружалась льдом и скальными породами, что привело к возникновению особенно высоких напряжений в теле ледника.

4. Подвижка ледника началась 28 августа 2002 г., а кульминация произошла в период с 13 по 20 сентября 2002 г. в три этапа. Своеобразным спусковым механизмом катастрофы стал газо-гидравлический удар снизу в тыловой зоне ледника, произошедший в предрассветный час 20 сентября.

5. Ледник начал быстрое наступание из-за поворота долины, как и раньше – в 1902 и 1969 гг. На прямолинейном участке троговой долины скорость движения селя достигала 140 км/час.

6. Катастрофические последствия подвижки можно было минимизировать. Однако регулярных наблюдений за ледником практически не осуществлялось.

Литература

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. – М.: Институт географии РАН, 1997. Часть 1. С. 144, 238.
2. Голубев Г.Н. Гидрология ледников. – Л.: ГИМИЗ, 1976. 248 с.
3. Горы, жизнь в горах и опасные геологические процессы // Вестник ВНИЦ, 2002. Т. 2. №4. С. 42–54.
4. Запорожченко Э.В. Ледник Колка и долина реки Геналдон: вчера, сегодня, завтра. – Сб. науч. трудов ОАО «Севкавгидропроводхоз», вып. 16, 2003. С. 15–35.
5. Инструкция по составлению Каталога пульсирующих ледников СССР. – МГИ, 1982. вып. 44, С.208–225.
6. Панов В.Д. Трагедию в Северной Осетии спровоцировало землетрясение // Газета «Известия» от 9 октября 2002 г.
7. Панов В.Д., Ильичев Ю.Г., Лурье П.М. Ледниковый обвал в горах Северной Осетии в 2002 г. // Метеорология и гидрология, 2002. № 12. С. 94–98.
8. Полквой А.П. Каковы же причины схода ледяной лавины? // Газета «Северная Осетия» от 24 сентября 2002 г.
9. Попович В.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии. // Криосфера Земли, 2003. Т. 7. № 1. С. 3–19.
10. Ротомеев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. 169 с.
11. Vilem Heckel. The last peak. Praga, Nakladatelstvi, Pressphoto, 1979.