

Пульсирующие ледники и ледниковая катастрофа на Северном Кавказе

В.М. Котляков¹, О.В. Рототаева², Н.И. Осокин³.

Гляциологическая изученность многих районов Кавказа еще недостаточна, а систематическое исследование пульсирующих ледников Кавказа фактически не проводилось. В последние годы темпы хозяйственного освоения горных территорий опережают темпы изучения ледников и других опасных природных явлений в высокогорье, что ведет иногда к неожиданным и крупным потерям. Недавний и самый трагический тому пример – Кармадонская катастрофа 2002 года в Северной Осетии, которая унесла более 130 человеческих жизней и вызвала разрушения в долине р. Геналдон.

Проблема диагностики пульсирующих ледников в настоящее время еще не имеет однозначного решения. Как в теоретическом, так и в терминологическом отношении целый ряд даже основных понятий в ней не определен до конца. Отнесение ледников к типу пульсирующих предполагает возникновение в них время от времени аномально высоких скоростей перемещения значительных масс льда. Такое явление нередко вызывает структурную перестройку всего ледника, приводит к наступанию его фронта, изменению гидрологического режима ледника и процессов в приледниковой зоне, разрушениям в нижележащих долинах.

Термин «пульсация» предполагает определенную периодичность такого явления. Однако все большее число наблюдений показывает нерегулярность подобных событий, и более того, для очень многих ледников с известными динамическими аномалиями не установлено признаков повторяемости явления. Поэтому термин «подвижка ледника», применяемый часто как синоним ледниковой пульсации, более универсален.

На основе анализа аэрофотоснимков 1946, 1957, 1981, 1987 гг., космических снимков (МКС и ASTER спутника Terra) 2000 – 2002 гг., литературных данных [8, 9, 13 и др.], в том числе перечня подвижек ледников Кавказа, составленного К.П. Рототаевым, сделан предварительный список ледников с известными подвижками или явными проявлениями неустойчивого динамического режима на Северном Кавказе. Наиболее известны

ледники – Девдоракский, Колка, Хрумкол (№ 86 по Каталогу ледников [4], р. Черек Балкарский) и Муркар (№ 149 в бассейне р. Самур), а также Большой Азау (бассейн р. Баксан). Их можно отнести именно к пульсирующим, т.к. подвижки их повторялись. Описаний других пульсирующих ледников на Кавказе нет, но есть сведения об отдельных подвижках некоторых ледников. Для ряда ледников Кавказа зафиксированы не сами подвижки, но признаки их недавнего завершения – резкие изменения в морфологии ледников и необычно быстрая их деградация. Это два небольших ледника – Тепли (№ 7) и Суаргом (он же Хардотчин, № 6) в верховьях р. Фиагдон.

Среди ледников, где отмечены подвижки или их следы, выделяются ледники, расположенные в высоких карах на склонах главных долин. Иногда концы их выходят на крутые скалы устьевой ступени, и при подвижках происходят обвалы льда. Таков, например, ледник Зейгалан в верховьях долины Мидаграбин (№ 32 бассейна р. Гизельдон) с обширной областью питания и коротким крутопадающим языком.

На устьевую ступень выходит и язык ледника Уилпата (№ 3 в бассейне р. Ардон), занимающего цирк на левом склоне над ледником Цея. Динамика ледника неустойчива, край его испытывает частые колебания, а иногда и быстрые подвижки.

Немногочисленные данные наблюдений свидетельствуют о подвижках ледников других типов: ледник Чегет-Кара (№ 37 в бассейне р. Баксан), питающийся обвалами фирна и льда со стен массива Донгуз-орун, долинный ледник Аманауз (№ 59, бассейн р. Кубань), ледник Восточный Штулу (№ 119 бассейна р. Черек Балкарский), левый поток сложного долинного ледника Мосотацете (№ 21, бассейн р. Урух), левый поток ледника Бартуйцете (№ 39 в бассейне р. Урух).

Вообще подвижки отдельных потоков в сложных ледниках Кавказа – явление не редкое. При этом не обязательно происходит быстрое наступание фронта ледника. Перемещения массы, даже значительные и резкие, могут происходить в пределах общего контура ледника, видоизменяя лишь отдельные его час-

¹ В.М. Котляков – академик, ИГ РАН.

² О.В. Рототаева – к.г.н., ИГ РАН.

³ Н.И. Осокин – к.г.н., ИГ РАН.

ти. Подвижки составляющих потоков на самых крупных ледниках могут поддерживать существование общего мощного языка. Так, на аэро- и космических снимках 1957, 1981, 1987 и 2000 гг. хорошо прослеживается попеременная активизация потоков в двух крупнейших ледниковых системах – Безенги и Мижиргичиран (№ 1 и № 38, бассейн р. Черек Безенгийский). Наземные наблюдения последних десяти лет показали, что конец ледника Мижиргичиран стационарировался и даже наступил на 20 м. Перед концом языка образовался вал напорной морены, а поверхность его в отдельные годы повышалась так, что лед переваливался через гребни береговых морен (устное сообщение Ю.Г. Ильичева, Ю.В. Ефремова).

Таким образом, даже предварительный перечень ледниковых подвижек показывает, что это явление присуще ледникам самых разных морфологических типов и встречается в разных районах Северного Кавказа. Однако особое внимание следует уделить вулканическим массивам – районам двух высочайших вершин Центрального Кавказа – Эльбруса и Казбека. Эти массивы отличаются концентрацией пульсирующих ледников на их склонах; они расположены в активных тектонических зонах, где эндогенные процессы могут влиять на проявление пульсаций ледников, менять их цикличность и т. д.

На южном склоне Эльбруса находится один из крупнейших ледников Северного Кавказа – Большой Азау (№ 29, бассейн р. Баксан), динамика которого многие годы изучается гляциологами Московского университета. Причиной его пульсаций, очевидно, являются периодические выбросы льда через узкую горловину ущелья, выше которой создается подпруживание и постоянный напор большой массы льда, образованной двумя крупными потоками [3, 12]. Пульсации ледников характерны для ледникового комплекса Кюкюртлю на западном склоне Эльбруса [1, 10]. Признаки подвижек есть также на эльбрусских ледниках Уллучиран (№ 1) и Терскол (№ 26).

Среди ледников Казбека нами уже отмечены пульсации Девдоракского ледника, крупные выбросы и сели формировал в 1910–1913 гг. ледник Абано; катастрофическую подвижку в 1909–1910 гг. испытал ледник Чач. В 1966–1968 гг. наступал ледник Мна. Все эти ледники находятся на территории Грузии. Наибольший интерес вызывает самый необычный пульсирующий ледник Кавказа – ледник Колка, расположенный на северном склоне массива Казбека, в Республике Северная Осетия-Алания (№ 39, бассейн р. Геналдон).

Много уже написано о *Кармадонской катастрофе*. После 8 часов вечера 20 сентября 2002 г. по

долине р. Геналдон со страшным грохотом прокатилась гигантская масса льда, воды и камней, уничтожая все на своем пути, сдирая на склонах лес и рыхлые отложения до высоты 100 м. Ее остановил вход в узкую теснину Скалистого хребта, и ниже через ущелье был выжат водо-грязевой сел с обломками льда, неся дальнейшие разрушения на протяжении еще 12 км. Все днище Кармадонской котловины оказалось под завалом длиной около 4 км, толщина которого достигала местами 100 м и более, а объем его оценен в 110–120 млн м³. В боковой долине близ селения Саниба возникло подпрудное озеро, уровень которого возрастал в течение месяца после ледникового выброса.

Сорвался пульсирующий ледник Колка, уже известный своими неоднократными подвижками [11]. Прежде они происходили с интервалом около 70 лет – в 1835, 1902 и 1969 гг. Подвижка 1902 г. завершилась подобным, но менее масштабным высокоскоростным ледовым выбросом, который завалил дно долины льдом и камнями на протяжении 8 верст и погубил много людей и тысячи голов скота. В 1969–70 гг. подвижка прошла по «классическому» сценарию – за три месяца язык продвинулся на 4 км, без катастрофических последствий. И всего через 32 года в сентябре 2002 г. преждевременная подвижка ледника Колка вызвала катастрофу колоссального масштаба. На этот раз совершенно необычным было то, что ледник полностью ушел из своего цирка, его ложе оказалось открытым. В пустом ледниковом цирке много дней висело облако газа с запахом сероводорода.

На правом борту ледника – крутом скалистом склоне с висячими ледниками были обнаружены ледово-каменный обрыв и исчезновение большого участка фирново-ледовых полей под гребнем (объем их оценивали от 3 до 15 млн м³). Поэтому сразу же возникла версия, что причиной катастрофы явился мощный обвал льда и горных пород в тылу правого борта ледника Колка, который ударил в ледник и заставил его сорваться. Такая версия была поддержана целым рядом публикаций.

Однако свидетельства и фотоснимки очевидцев – альпинистов, побывавших в цирке Колки в июле и начале сентября, говорят о том, что необычно активное обрушение льда и горной породы на склоне началось по крайней мере с июля 2002 г., а в первых числах сентября этот ледяной обрыв оказался уже в значительной мере сформированным (рис. 1).

Детальное исследование сейсмической обстановки в Северной Осетии в 2002 г., выполненное В.Н. Дробышевым (Севосгеозко) по данным ЦОМЭ Геофизической службы РАН, показало, что самым сейсмически активным месяцем в году был июль. Вер-



Рис 1. Правый склон ледника Колка 2 сентября 2002 г.

шина Джимарай-хох испытала 14 июля землетрясение силой в 5 баллов; а в эпицентре, который находился всего в 8 км к западу от нее, сила толчка достигла 6,1 балла. В этот же день произошло еще два землетрясения, оказавших воздействие на гору силой 2,31 и 3,58 балла [2]. Следующее значительное землетрясение произошло здесь 22 августа силой 3,41 балла.

Роль землетрясений в формировании обвалов льда и горных пород не надо переоценивать. Весь Кавказ лежит в зоне высокой сейсмической активности, а фирново-ледяные поля и висячие ледники существуют.

По нашему мнению, землетрясение 14 июля могло спровоцировать начало необычно больших обвалов в тылу Колки. Но они могли начаться и раньше, и позже, так как причина их образования закладывалась уже давно. По расчетам И.М. Лебедевой и О.В. Роготаевой [6] за последнее десятилетие на высоте 4 000 м на фирновом плато – в области питания висячих ледников отрицательные средние летние температуры сменились на положительные. Таяние и сток возросли в 2–3 раза по сравнению с 1994 г., когда метеоусловия были близки к средней многолетней величине. Температура фирново-ледяных толщ и мерзлых горных пород на правом склоне над ледником в последние годы постепенно росла, а устойчивость их уменьшалась, и начались обвалы.

Для нас с самого начала казалось очевидным, что такой стремительный и дальний выброс ледника с огромной скоростью мог произойти лишь при накоплении под ледником и внутри него очень большого количества воды. Накоплению воды способствовал ряд условий. С середины 90-х годов происходило устойчивое повышение как летних температур, так и годовой суммы осадков. Семь лет подряд – до схода ледника осенью 2002 г. температура лета превышала норму. Наши расчеты показали, что на леднике Колка таяние превышало средневековую норму в 1,5–2 раза, и в сток включились даже участки фирновых полей, расположенных на высоте

4 000–4 300 м. Увеличение осадков и повышение летней температуры воздуха в зоне аккумуляции ледника привело к росту доли жидких осадков с 20–30% до 50%. Расчет водного баланса различных частей и всего бассейна ледника Колка показал, что по сравнению с 1994 г. в течение 8 лет подряд количество талой воды ежегодно образовывалось в 1,5–2 раза больше – сумма этого превышения около 25 млн м³. Эта величина соизмерима с объемом пустот ледника – 24–36 млн м³ [11]. Лето 2002 г. было хотя и не таким жарким, но особенно дождливым, отмеченным катастрофическими ливнями и наводнениями в Осетии и других районах Северного Кавказа. Все это должно было привести к накоплению в рыхлых толщах под ледником и в самом леднике больших запасов воды. Об этом свидетельствуют также свежие следы схода нескольких селей из ущелья Колки перед подвижкой – в конце августа, что было отмечено альпинистами.

Кроме того, дополнительному таянию могли способствовать проявления вулканического фактора, признаками которого были выходы газа, активно разрушающийся склон, появление фумарол на стене. Это могло создать особые термические условия и под самим ледником, что увеличивало таяние и скопление воды.

Дополнительный материал для исследования причин срыва ледника, масштабов и последствий разрушительного процесса могло дать непосредственное обследование зоны зарождения катастрофы – цирка ледника Колка и прилегающей к нему территории.

В рамках выполнения Программы Президиума РАН «Изменения окружающей среды и климата: природные катастрофы» и работ Межведомственной экспедиции МЧС в июне – сентябре 2003 года гляциологическим отрядом Института географии РАН были проведены наземные полевые работы в районе ледников Колка–Майли. Они включали маршрутное обследование освободившегося ложа ледника Колка на всем его протяжении, левой боковой морены, «ригеля» на днище и образовавшегося за ним озера, морен между ледниками Колка и Майли, а также поверхности языка ледника Майли и его долины. Проведены GPS-съемки, выполнены фотосъемки с борта вертолета.

Подтвердилось участие большого количества воды в сошедшем ледово-каменном селе. По характеру нарушений и отложений, оставленных на бортах цирка и разделяющем ледники моренном «треугольнике», определено, что с правого края ледника Колка через морену произошел выплеск мощного потока воды, несущего обломки льда и камней.

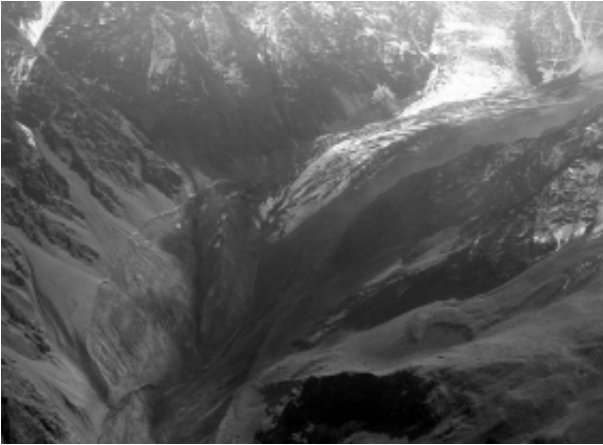


Рис. 2. Поверхность ледника Майли после схода ледника Колка.

Волна воды смыла поверхность моренного массива между ледниками Колка и Майли и перехлестнула через язык ледника Майли на правый склон его долины. Об этом говорит целый ряд геоморфологических признаков.

На участке гребня правой морены Колки, где прошел поток воды, сформировался характерный микрорельеф поверхности с плотной и ровной укладкой обломков, типичный для потоков плоскостного смыва. Это отличие хорошо заметно по сравнению с соседней частью той же моренной гряды, где после ухода ледника осталось беспорядочное нагромождение грубообломочного несортированного материала, характерное для ледниковой морены.

Ниже поверхность моренного «треугольника» размывта водой и пропилена эрозионными бороздами глубиной от 20 см до 1 м, направленными к леднику Майли, местами с застрявшими в них остатками льда. Структура поверхности самого ледника Майли осталась практически не измененной, но с четким следом заплесков воды по верхнему краю прошедшего по льду потока, который виден на рис. 2.

Далее, на правом склоне над языком Майли верхняя граница этого потока хорошо заметна на осыпях в виде узкой полосы обломков льда на высоте до 300 м над дном долины. При этом очень важно отметить, что форма осыпей оказалась не нарушенной, чего безусловно не могло бы быть в случае прохождения здесь самой массы ледово-каменного селя. Более того, на поверхности осыпей осталось множество борозд стока текучей воды, которых не было до подвижки.

Таким образом, по нашему мнению, это был водный поток со льдом. Проследив его границы по горизонталям топокарты, можно убедиться, что ему нигде на этом участке не пришлось «захлестывать» вверх по склону, вода на всем его пути стекала вниз.

В то же время основная масса ледово-каменного селя устремилась по обычному пути – вниз по ущелью Колки, борта которого содраны и изрезаны параллельными продольными бороздами. Высоко на скалах левого борта ущелья видны свежие заплески двигавшейся массы – черный материал сланцевой морены (рис. 3). Между двумя этими потоками осталась нетронутой часть гребня моренной гряды, разделяющей долины Майли и Колки, с сохранившейся растительностью. В июне мы шли здесь по «оазисам» зеленой травы и цветов среди хаоса разрушений.

Одним из объектов, вызывавших ряд вопросов, был «ригель», обнаруженный после схода ледника на поверхности ложа, и образовавшееся за ним озеро, представлявшее потенциальную угрозу в случае прорыва. Считалось, что ригель – это порог из коренных пород – возможное препятствие для стока льда в бывшем леднике, и даже обсуждался вариант его разрушения взрывом для предотвращения подвижек ледника в дальнейшем. Наземное обследование показало, что «ригель» представляет собой подковообразную поперечную плотину, состоящую из глыб льда, покрытых обломочным материалом, круто спускающуюся тремя ступенями вниз по долине (рис. 4). Высота его гребня в центральной части 25–30 м и у бортов долины 30–60 м. Выходов коренных пород не обнаружено.

Мы полагаем, что причиной образования плотины является сужение и поворот долины на этом участке, что затруднило уход наиболее крупных и тяжелых остатков разрушившегося ледника и обеспечило отрыв «хвоста» – крупного массива льда и камней от основной массы селевого потока.

Озеро за «ригелем» в конце июня 2003 г. имело размеры 150 × 50 м – примерно вдвое меньше, чем осенью 2002 г. Судя по морфологии береговой линии, уровень озера нестабилен. Борта его сложены об-

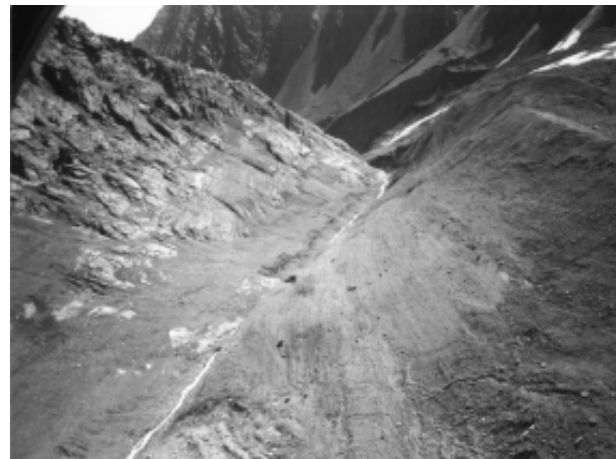


Рис. 3. Основной путь движения ледника Колка.

ломочным материалом с выходами льда, превышение плотины в средней ее части над озером составляло всего 10–15 м, ширина ее здесь – порядка 50 м. Рыхлый материал плотины обеспечивал постепенный сток воды. Действительно, в течение лета уровень воды в озере постепенно понижался, и к концу сентября оно исчезло без катастрофических последствий.

Обследовано днище ледника. Остатков зимнего накопления снега на ложе в последних числах июня не оказалось, хотя у правого борта сохранились отдельные конуса весенних лавин. Рельеф днища неровный, выходов коренных пород не обнаружено. Все оно покрыто толщей обломков разной величины. На снимках, сделанных сразу после схода ледника, на ложе были видны остатки раздробленного льда, в основном в виде полос вдоль левого борта. Но в сентябре – октябре 2002 г. стояла теплая погода, и они активно таяли. В июне 2003 г. на ложе остались лишь самые крупные массивы льда, такие, как уже упомянутая «плотина» на повороте у выхода из цирка, или сохранившийся немного ниже надвинутый на правую морену длинный ледяной останец. Он сложен ледниковым льдом с хорошо выраженной слоистостью, и, очевидно, был перемещен движущейся массой вдоль правого борта на 300–500 м.

В самом цирке у подножья правого борта сохранились фрагменты более старого донного льда, изоброжденные врезамы поверхностных водотоков, которые у подошвы склона уходят под рыхлую толщу. На фотоснимках, сделанных с вертолета сразу после схода ледника, обращало на себя внимание то, что в правой части днища появилась целая серия параллельных валиков и борозд, вытянутых поперек оси долины и общего движения льда. Такое направление и унаследовали сейчас ручьи талых вод.

Донный лед обнаружен также и на дне долины ниже «ригеля» – по-видимому, здесь обнажились остатки мертвых льдов на конце пассивного, деградировавшего языка.

Большой интерес вызывает происхождение «муравьиных куч» – конусов правильной формы высотой до 50–150 см, которые сложены мелкообломочным материалом и частично содержат ледяные ядра (рис. 5). Обычно эти формы характерны для медленного таяния поверхности ледников и остаются на месте прежних ледниковых мельниц и колодцев. Здесь же они оказались широко распространены почти на всей поверхности днища. Возможно, это результат неравномерного таяния многочисленных обломков льда, оставшихся на ложе после ухода ледника. Но пока происхождение их остается загадкой.

Наиболее активная часть – обвальный конус в тыловой части цирка. Здесь на днище осталась ступень – тоже массив льда, насыщенный и заваленный обломочным материалом. Контур верхнего ледового обрыва несколько изменился после 2002 г., а в июне – августе 2003 г. с гребня непрерывно падали камни, т. е. обвалы продолжались и год спустя. В конце сентября они практически прекратились, но на запыленной свежим снегом стене Джимарай-хоха стали четко видны полосы потоков воды из-под края льда.

Проведено обследование левой береговой морены. Высота ее внутреннего склона 100 м. В трех местах остались следы перехлеста через ее гребень ледовых или водных масс. Главный, верхний ледяной выброс остался в ложбине между мореной и склоном в виде длинного языка на высоте 3 340 м. Он мог образоваться как переваливанием льда ледника через морену при его накоплении выше уровня ее гребня, так и в результате одного из крупных обвалов. Возможность таких обвалов, перекрывающих всю тыловую часть цирка ледника и достигающих левой морены, подтверждается материалами аэрофотосъемок прошлых лет. Более нижние небольшие заплески через гребень морены (на отметках 3 250 м и 3 100 м) вероятнее всего образованы водой со льдом.

Запах газа в цирке не обнаружено. Но нами был выполнен специальный отбор проб снега и льда в цирке, а также воды из озера, ручьев, реки Колка. Вообще главным показателем вулканогенного компонента в составе воды является содержание сульфатов. Оказалось, что остатки ледникового льда в средней части днища содержат ионов SO_4 в 10–15 раз больше фоновой его концентрации в находящемся рядом лавинном снеге этой зимы. Более того, в воде озера содержится сульфат-иона в 500 раз больше, чем в том же снеге, и в



Рис. 4. «Ригель» – ледово-каменная плотина, образовавшаяся на днище цирка после схода ледника. 29 июня 2003 г.

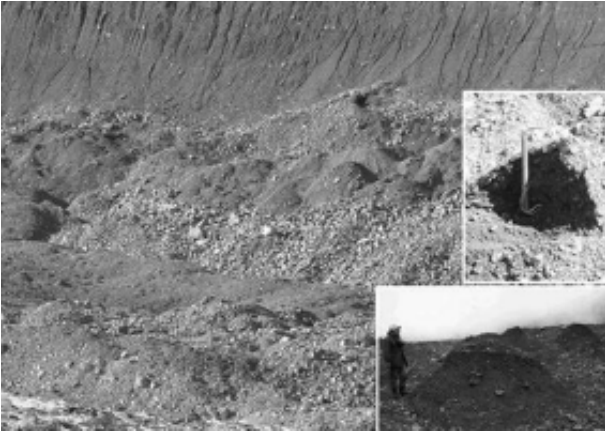


Рис. 5. «Муравьиные кучи» на днище ушедшего ледника, 28 июня 2003 г.

50 раз больше – чем в ручье на склоне между ледниками Колка и Майли.

Еще одним показателем связи с глубинным процессом вулканологи считают соотношение серы и хлора. По измерениям в прежние годы, в водах реки Геналдон, во льду Майли и в минеральных источниках в верховьях долины отношение S/Cl составляло сотые, десятые доли, редко первые единицы. Сейчас это соотношение в воде реки Колки оказалось более 30, а в водах озера достигает 100–150 целых (т. е. в 1 000 и 10 000 раз больше, чем прежде!). Все это доказывает, что геохимическая картина связана с активными процессами, происходящими в недрах Казбек-Джигарайского массива, и что в катастрофическом процессе участвовал гидротермальный фактор [7], т. е. не исключен вариант возобновления вулканической активности.

Для определения возможных локальных источников геотермального тепла были выполнены измерения радиояростной температуры ложа ледника и прилегающих склонов. Измерения проводились в сентябре дистанционным термометром TERMOPOINT с оптическим разрешением 1:60, с точностью измерения, равной 0,5°C в диапазоне от –10 до +50°C. Наблюдения велись в утренние и вечерние часы, когда солнце было скрыто ближайшими вершинами и не могло вносить существенных помех при дистанционном измерении. Температурный фон ложа в утренние часы составлял 5–6°C, в вечерние 11–12°C сразу после захода солнца и 7–8°C через полчаса после захода. Никаких локальных источников тепла на ложе и склонах по данным этих измерений не обнаружено.

Анализ всех полученных данных позволяет *сделать заключение о причинах и возможном сценарии произошедших событий*. Важнейшей их предпосылкой является необычный режим пульсирующего ледника Колка. Само строение ледника вызывает

постепенное накопление в нем избыточных масс льда и нарастание напряжений, приводящих к подвижке при накоплении критической массы [11]. По прошествии 32 лет после очередной подвижки ледник уже находился безусловно в динамически неустойчивом состоянии. Но преждевременный срыв его и колоссальный масштаб катастрофы были спровоцированы целым комплексом сложившихся факторов.

Повышение температуры воздуха в течение нескольких лет и прогрев ледово-фирновых масс и мерзлых пород на склоне привел к необычно активным обрушениям льда и горной породы на правой стене над ледником в июле–сентябре 2002 г. В свою очередь эти длительные обвалы увеличили массу ледника, создали значительную перегрузку в его тыловой части и предельно повысили неустойчивость ледника.

Проведенное обследование подтвердило, что ледово-каменный сель был подготовлен скоплением большого объема воды в леднике и под ледником, которое сыграло главную роль в потере устойчивости, в отрыве его от ложа и силе выброса. Обилие воды обусловлено в значительной мере повышением летней температуры воздуха и увеличением годового количества осадков в течение нескольких лет перед катастрофой. Геохимические исследования свидетельствуют об активизации вулканической деятельности Казбека, что скорее всего вызвало дополнительное донное таяние ледника, дополнительные напряжения и разрушения в ледниковом теле. Важную роль играет общее тектоническое строение района: долина Колки находится в зоне крупных разломов, где возможны смещения отдельных блоков и часты землетрясения.

Мы предлагаем вероятный сценарий развития катастрофы.

В течение нескольких последних лет в леднике и на ложе накапливалась жидкая вода. В течение июля–сентября 2002 г. в результате обвалов льда и горных пород ледник набрал критическую массу (при нормальном развитии событий на это потребовалось бы более 30 лет). Ледник начал терять устойчивость. Непосредственным пусковым импульсом катастрофического процесса мог стать очередной обвал. Вероятно, процесс начался где-то между центральной и тыловой частью цирка с резкого обрушения сводов над внутренними или подледными полостями с водой. Рухнувшая часть ледника с силой выдавила из-под себя воду. Поток воды с кусками льда и обломочной фракцией устремился с большой скоростью поверх нижележащей части языка и по прямому направлению (выше поворота в цирке) переклестнул через правую морену на ледник Майли, а на отдельных участках – и через левую морену Колки. Разру-

шение основного тела ледника лишило опоры его боковые правые притоки на крутом склоне, в нижней части которых произошел отрыв по зонам трещин. Направление их схода на днище реконструируется по системе ориентированных вниз по правому склону параллельных валиков и борозд на остатках старого придонного льда. Это добавило массы и энергии в начавшееся движение утратившего целостность ледника (но не утратившего весь запас воды). Основная масса ледника пошла по главному ущелью р. Колки, набрав дополнительную скорость на разгонном участке в конце его, где уклон превышает 20°. Эти этапы на самом деле были частями единого быстротечного процесса, и общий вал ледово-каменного селя, насыщенного водой, ринулся в долину, взлетая на ее склоны, сдирая лес и рыхлую породу.

Мы считаем, что этот процесс должен был развиваться стремительно. Если бы он проходил постепенно, с задержками, ледник не был бы выброшен целиком из своего ложа. Значительная его часть осталась бы и в цирке, и в ущелье Колки, и на языке Майли, как это было при прежних подвижках. Кроме того, ледник не смог бы преодолеть 15 км по долине со скоростью более 100 км в час [5], с очередными заплесками на оба склона долины р. Геналдон до высоты более 100 м.

Сам ледник Колка теперь десятки лет будет восстанавливать свой объем. Хотя с учетом современного потепления климата, отсутствия температурного скачка на ложе ледника, потере в результате обвала висячих ледников – части области питания этот процесс может существенно затянуться. Состояние ледника Майли в настоящий момент стабильное, и он не

проявляет признаков активности. Высота его поверхности ниже ледопада за последние годы в результате интенсивного таяния понижалась, как и у большинства ледников Кавказа. Большие участки рыхлых пород, обнажившихся на бортах в бассейне ледников Колка–Майли после подвижки, могут служить источником образования селей. Для контроля за развитием всех процессов необходимы периодические наземные обследования и аэровизуальные наблюдения с вертолета. Перспективно также использование космических съемок высокого разрешения.

Но самой неотложной задачей, без которой дальнейший мониторинг не может отвечать минимальным современным требованиям, является создание крупномасштабной топографической карты уникального объекта – пустого ложа, где начинается формирование нового ледника, грозящего будущими катастрофами.

В условиях современных изменений климата и вероятного возобновления вулканической активности возможно существенное изменение устойчивости ледников, фирново-ледовых образований и мерзлых горных пород в условиях высокогорья Кавказа. Необходим мониторинг изменений состояния природной среды, экспериментальные исследования и построение моделей по устойчивости элементов природной среды высокогорья в условиях изменяющегося климата для снижения негативных последствий возможных катастрофических процессов на хозяйственную деятельность.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 04-05-65031, и программы поддержки научных школ № НШ-698.2003.5.

Литература

1. Винников Л.П., Лабутина И.А. Изменения ледника Кюкюртлю на Эльбрусе за четверть века. – МГИ, 1987. Вып. 60. С. 147–152.
2. Дробышев В.Н. Анализ сейсмической обстановки на территории РСО-Алания в 2002 г. Горная Осетия. (В печати).
3. Золотарев Е.А., Харьковский Е.Г. Оледенение Эльбруса в конце XX в. (цифровая ортофотокarta Эльбруса на 1997 г.). – МГИ, 2000. Вып. 89. С. 175–181.
4. Каталог ледников СССР, т. 8, 9. – Л.: Гидрометиздат, 1970, 1977.
5. Котляков В.М., Рототаева О.В., Десинов Л.В., Зотиков И.А., Осокин Н.И. Катастрофические последствия грандиозной подвижки ледника Колка на Северном Кавказе. – Изв. АН, сер. Геогр., 2003. № 1. С. 45–54.
6. Лебедева И.М., Рототаева О.В. Климатический фактор катастрофической подвижки ледника Колка в 2002 году. – Материалы гляциологических исследований, вып. 97, М., 2004 (в печати).
7. Муравьев Я.Д. Газовое извержение в Колкинском цирке – возможная причина развития ледника по катастрофическому сценарию. – Материалы гляциологических исследований, вып. 97, М., 2004 (в печати).
8. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 288 с.
9. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1993. 431 с.
10. Рототаев К.П. По следам ледниковых загадок // Сб.: Побежденные вершины, 1973–74 гг. – М.: Мысль, 1976. С. 65–80.
11. Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. 169 с.
12. Рототаева О.В., Никитин С.А., Бажев А.Б., Носенко Г.А., Носенко О.А., Веснин А.В., Хмельской И.Ф. Толщина льда на южном склоне Эльбруса. – МГИ, 2002. Вып. 93. С. 143–151.
13. Цомай В.Ш., Алиев И.А. Современное состояние ледника Муркар. – МГИ, 1987. Вып. 60. С. 152–155.