

УДК 551.32

ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕДНИКА КОЛКА ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ 2002 ГОДА

© 2012 В. М. Котляков, академик РАН, Н. И. Осокин, к.г.н., О. В. Рототаева,
к.г.н., Г. А. Носенко, к.г.н.

Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Старомонетный переулок,
дом 29. Институт географии РАН, e-mail: igras@igras.ru

Изучена динамика восстановления ледника Колка после катастрофы 2002 года. В ходе маршрутных работ выполнялись GPS наблюдения, фотосъемка с реперных точек, получены данные автоматических датчиков температуры, и пр. После схода ледника в 2002 г. существенно изменились температурные условия в его бассейне, продвижение границ возрождающегося ледника в цирке Колки за 10 лет после катастрофы происходило неравномерно.

Ключевые слова: ледник Колка, температурный режим, динамика восстановления

Ледник Колка явился виновником Кармадонской катастрофы 2002 года. Преждевременный срыв пульсирующего ледника и образование высокоскоростного ледово-водно-каменного селя было явлением совершенно особого типа, вызванным целым комплексом внешних факторов и не имеющим аналогов в мире по своему масштабу и специфике развития процесса. Характер подвижки ледника Колка в 2002 г. отличался от описанной ранее подвижки [Рототаев К. П. и др., 1983]. В первые годы после Кармадонской катастрофы Институтом географии РАН основное внимание уделялось поиску причин катастрофы и восстановлению картины событий [Котляков В. М. и др., 2003, Haeberli W. et al., 2004, Котляков В. М. и др., 2008]. В настоящее время наибольший интерес вызывает вопрос о возможности восстановления ледника в цирке Колки. Впервые наземные исследования проводились нами в июне и сентябре 2003 г. Позже в июле и сентябре 2006, а также в сентябре 2009, 2010, 2011 и 2012 гг. обследовалась долина Геналдона и ледниковый бассейн Колка-Майли. Наибольший интерес для нас представляли наблюдения в цирке ледника Колка за процессами формирования нового ледникового тела. В ходе маршрутных работ выполнялись GPS наблюдения, фотосъемка с реперных точек, получены данные автоматических датчиков температуры, и пр.

После катастрофического разрушения и выброса ледника из цирка 20 сентября 2002 г. вдоль правого борта в нижней части склона осталась полоса ледового обрыва; бывшие крутопадающие притоки ледника Колка оказались «отрезанными» и лишенными своих языков. Они потеряли и значительную часть своего питания, т.к. обвалы, предшествовавшие катастрофе, привели к исчезновению мощных наметенных карнизов и фирново-ледовых полей у гребня хребта над правым бортом ледникового цирка. С начала 1970-х годов, когда площадь этих полей с висячими языками составляла 1,28 км², за последующие 30 лет до 2002 г. она почти не изменилась.

Однако в настоящее время продолжают процессы постоянного метелевого переноса снега с юга и юго-запада, с Майлийского плато и верховьев ледника Суатиси через гребень в цирк Колки; в тыловой части цирка накапливается лавинный

снег – все это дает питание бывшим притокам ледника Колка. Из них в наилучших условиях, очевидно, оказались ледники, получающие питание с участка гребня, где находились в 1970-е годы висячие ледники № 11-13 (рис.1). Здесь гребень полого снижается, и сюда устремляются потоки ветрового переноса снега вдоль южного отрога Джимарайского массива.

Наиболее крупный из прежних притоков № 13, потерявший «надежную опору» после схода Колки, первым начал продвигаться вниз уже в 2003 г. Вероятно, причиной его быстрой реакции было не только поступающее питание, но и сползание масс льда, накопленных в этой боковой мульде на склоне еще до подвижки. По наблюдениям в сентябре 2006 г., язык нового ледника выдвинулся поперек днища цирка уже далее его середины, по направлению к левой морене Колки (рис. 2). По визуальным оценкам толщина льда близ крутого выпуклого фронта активно наступающего нового ледника составляла не менее 20-25 м. Все тело ледника, особенно в его верхней части, находившейся на склоне, было разбито многочисленными глубокими трещинами. На поверхности – большое количество разнообломочного каменного материала, поступившего со склона, что было всегда характерно и для самого ледника Колка.

В самом тылу цирка начинал формироваться второй участок накопления льда на ложе, хотя здесь процесс имеет еще значительно меньший масштаб по сравнению с выдвиганием правого притока. Источник накопления снега и льда – огромный лавиносбор на склоне г. Джимарай-Хох. Здесь и во времена существования ледника Колка находился его узкий юго-западный исток с наиболее высокой верхней отметкой – 3850 м, на 400 м выше начала ледника в цирке. Из года в год лавины постоянно сходили по крутым кулуарам, собирающим снег со всей скальной стены массива от вершины до подножья, и значительную площадь в верховье ледника всегда занимал перелетовывающий снег обширного лавинного конуса. Именно здесь в настоящее время накапливается новый фирново-ледовый массив.

После «ухода» ледника в тыловой части днища под стеной Джимарайского массива остались две хорошо выраженные «ступени», заваленные мореной – очевидно, остаток льда ледника Колка. Сюда же после катастрофы ещё в течение года достаточно интенсивно продолжал поступать материал обвалов горной породы. Эти моренные ступени теперь начинают покрываться новым льдом.

По нашим наблюдениям в первых числах июля 2006 г., как и в последних числах июня 2003 г., на ложе ледника уже стоял весь зимний снег, не обнаружено крупных снежников. Остатки лавинного снега находились лишь в тыловой части цирка. Рельеф ложа по сравнению с 2003 годом заметно не изменился, муравьиные кучи и валы сгладились, но были еще хорошо видны. Не обнаружено озер, луж, а также поверхностного стока. Очевидно, что сток проходит в толще моренных отложений.

К середине сентября 2009 г. фронт основного нового выдвинувшегося ледника окончательно пересек ложе и достиг подножья левого моренного вала Колки. Поверхность языка заметно выровнялась. Значительная часть льда сместилась в его концевую часть, высота фронта достигала 25-30 м при ширине около 200 м. На крутых его откосах наблюдались частые обрушения, сползания морены, вызванные летним таянием и движением льда. В тыловой части цирка значительно расширился второй участок нового формирования льда на ложе, хотя процесс здесь все еще не так ярко выражен по сравнению с выдвиганием правого притока. Накопление льда хорошо заметно в рельефе новообразующегося массива, поверхность которого

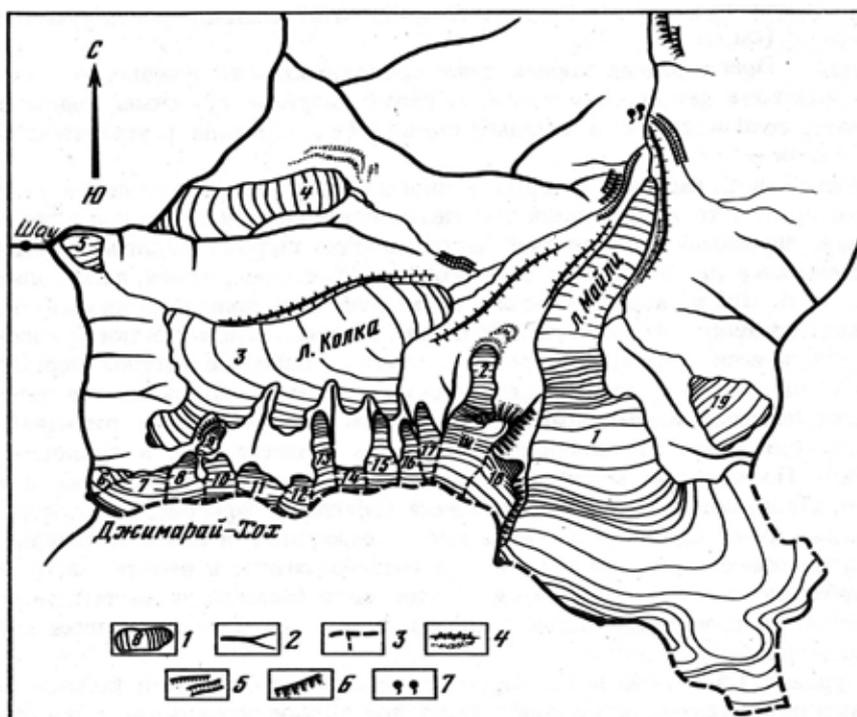


Рис. 1. Ледники верховьев р. Геналдон, 1 – ледник и его условный номер, 2 – линии хребтов и отрогов, 3 – ледоразделы, 4 – моренные валы, 5 – обрывы, 6 – скальные уступы, 7 – минеральные источники.



Рис. 2. Продвижение языка нового ледника на днище цирка Колки, август 2006 г.
Фото Д. А. Петракова

повысилась и представляет собой крупные бугры, засыпанные мореной и разбитые трещинами. Таким образом, продолжается процесс заполнения льдом ложа ледника. В средней и нижней его части постоянно происходит и второй процесс – абляция мертвого льда под мореной. После катастрофы уже летом 2003 г. на днище начали развиваться термокарстовые процессы.

В настоящее время формированию многочисленных воронок и провалов вдоль обоих бортов ложа способствуют талые воды, причем весь сток в цирке превратился в подземный. Мелкие ручьи, обильно стекавшие с правого склона, уже через несколько десятков метров исчезают под мореной. Наиболее крупные термокарстовые воронки глубиной до 15 м развиваются ближе к левому борту, где под мореной проходит сток талых вод от продвинувшегося фронта молодого ледника. Здесь, судя по глубине провалов, толщина погребенного льда может достигать 10 и более метров. Поперечный вал в нижней части цирка, состоящий из льда и камней, прежде называвшийся «ригелем», уже в 2006 г. по сравнению с 2003 г. понизился в центральной части примерно на 10 метров, но у левого края еще сохранялись останцы льда, прикрытые мореной. При обследовании в 2009 г. льда здесь уже не обнаружено.

Ниже «ригеля» талые воды выходят из-под рыхлой толщи на высоте 2890 м несколькими ручьями. Самый значительный из них ближе к правому борту имел расход воды около 1 м³/сек на момент посещения в конце сентября 2009 г. Расход воды в реке Колка недалеко от слияния с р. Майли, измеренный в сентябре 2006 г., составлял 6-8 м³/сек. Это указывает на достаточно интенсивное таяние льда в цирке – на его склонах и в толще морены.

В сентябре 2009 г. на ложе перед фронтом ледника (на высоте 3100 м) и на левой боковой морене (3135 м) были установлены термометрические автоматические датчики для определения температурного режима в цирке при новых изменившихся условиях. Датчики помещались на горизонтальных открытых участках среди камней и были защищены от прямой солнечной радиации. Срочные измерения температуры продолжались в течение года.

По наблюдениям в середине сентября 2009 года, ледовые массы формирующихся тыловых ледников уже тогда сомкнулись своими краями на ложе, образовав единое тело с трехлопастным нижним краем неравномерной высоты и сложной конфигурации. В сентябре 2010 г. общая масса льда выше главного правого потока (№ 13) еще более расширилась, ее левая граница примкнула вплотную к подножью левой морены Колки.

Передовой фронт общего ледового тела принадлежит по-прежнему основному активно наступавшему в прошлые годы притоку. Но его продвижения за год практически не произошло. Язык этого ледника в 2010 г. подвергся на участке днища цирка значительному абляционному выравниванию, трещиноватый характер его поверхности, наблюдавшийся ранее, исчез. Моренный покров стал более равномерным и полностью закрыл поверхность языка. Высота фронта 30, местами 35 м, по всему периметру язык окаймлен шлейфом осыпей моренного материала, чего не было в прошлом году. Ширина языка составила 300 м, абсолютная высота нижней точки 3170 м.

Наиболее интенсивное накопление льда в средней и тыловой частях общего ледникового тела привело к повышению его поверхности, разбитой многочисленными трещинами, до 3300 м. В средней части заметно несколько ступеней – валов, округлых в плане и постепенно уменьшающихся вверх по склону; вероятно, они

образуются из-за неравномерного поступления льда. Моренный материал на них отличается иным составом обломков с более светлой окраской. Здесь внизу у левого края теперь вовлечен в общее накопление льда остаток ступени погребенного льда.

В тыловой части левее массива нового льда, разорванного трещинами, под склоном горы Джимарай-Хох располагается полоса фирнового поля, которое питается лавинными выбросами снега. Ширина фирна в правой его части составляет лишь несколько десятков метров, тогда как в левой, ближе к моренной гряде, достигает 400-500 м. Здесь находятся два крупных лавинно-обвальных конуса высотой до 50 м, поверхность фирна усыпана глыбами камней и щебнем, что подтверждает большую лавинную активность в этой части цирка Колки. Средний уклон фирнового поля от 0 до 10-15 градусов, он увеличивается с севера на юг, в направлении главного поступления снега.

По результатам GPS съемки осенью 2010 г. общая длина всего ледникового массива достигла 1300 м.

Развитие термокарстовых процессов на днище идет менее активно, чем в первые годы после катастрофы, чему способствует, вероятно, увеличение толщины моренного чехла и формирование устойчивой дренажной сети под мореной. Все же мы отметили укрупнение некоторых провалов в центральной части вдоль линии подземного дренажа талых вод; термокарст развивается и в скоплениях мертвого льда на месте бывшего «ригеля».

В 2010 году отмечена активизация еще одного из прежних правых притоков ледника Колка. На расстоянии около 500 метров ниже фронта нового ледника к ложу спускается боковой ледник (бывший № 15, см. рис.1). Поверхность его языка в виде плоского конуса заметно повысилась и покрылась трещинами, заваленными каменным материалом, что указывает на перемещение масс льда в сторону днища.

Осенью 2010 г сняты показания автоматических датчиков температуры, поставленных год назад.

После схода ледника в 2002 г. существенно изменились температурные условия в его бассейне вследствие ряда причин. На днище цирка абсолютная высота поверхности понизилась на 50-100 м до уровня прежнего ложа ледника Колка, исчезло охлаждающее влияние ледникового тела, на месте которого оказался сплошной моренный покров, значительно нагревающийся в летнее время. Над левым краем нового формирующегося ледника поднимается на 200 м (на 50 м по высоте) крутой склон черной боковой морены, обращенный на юг, что создает дополнительный нагрев приледникового воздуха и усиливает таяние.

По данным измерений на ложе, отрицательные средние суточные температуры установились 27 сентября 2009 г. и сохранялись до середины мая 2010 г. (рис. 3). Период минимальных значений (до $-13,0$ °C) температуры здесь наблюдался с конца ноября до середины декабря, в дальнейшем она возросла до начала таяния снежного покрова. На месте установки датчиков на ложе (3100 м) прогрев снежной толщи до 0 °C впервые отмечен 09 мая 2010 г., а окончательный сход снежного покрова произошел 5-6 июня. Средняя годовая температура здесь составила $-0,7$ °C. Период отрицательных температур продолжался 252 дня при среднем значении $-4,5$ °C, а длительность теплого периода в 2010 г. составила не менее 113 дней.

Наши измерения на левой боковой морене показали положительную среднюю годовую температуру поверхности на высоте 3135 м. (Значительный нагрев поверх-

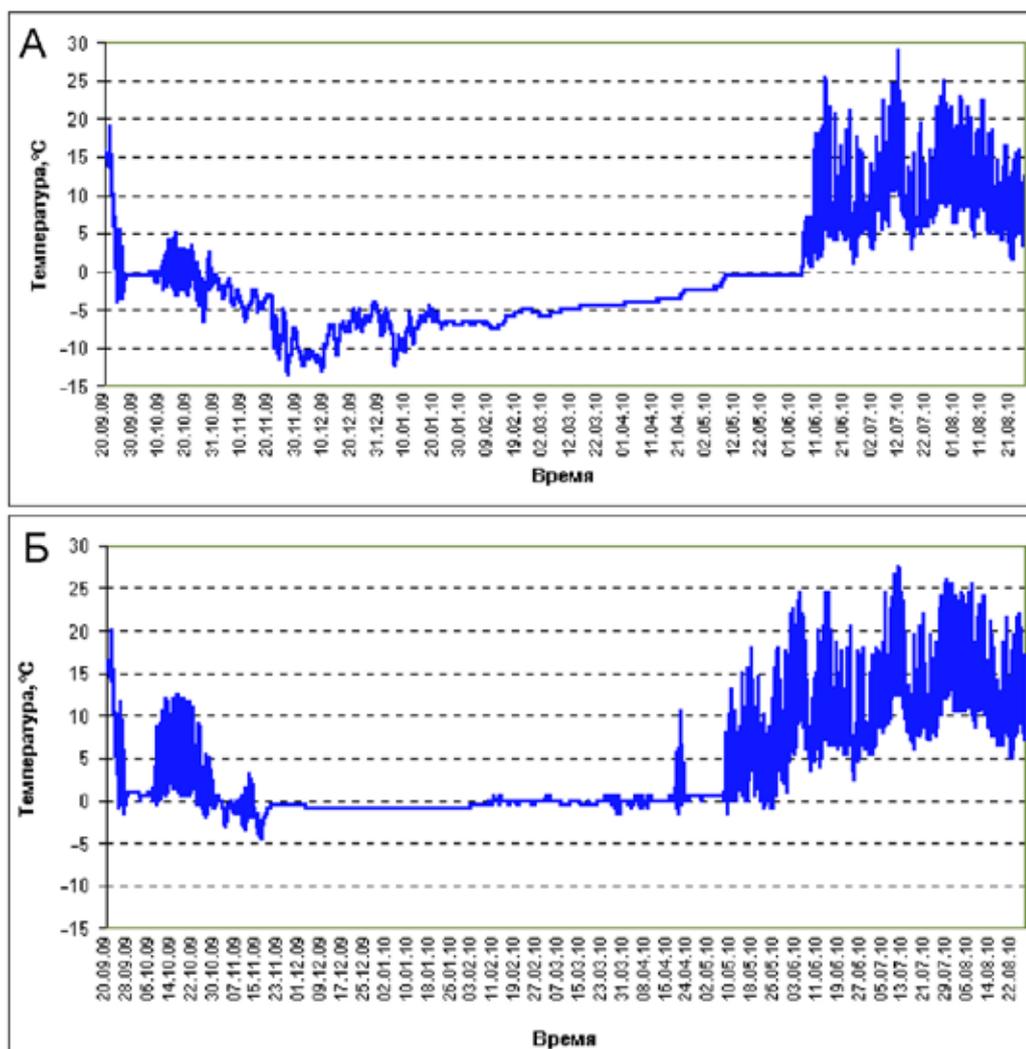


Рис. 3. Ход средних суточных температур 2009/2010 гг. по измерениям: А – на днище цирка, 3100 м; Б – на морене, 3135 м.

ности морены объясняет быстрое исчезновение крупной гряды льда, оставшейся за ней в ложбине после катастрофы, в течение одного-двух лет). Снежный покров на морене сошел весной 2010 г. на 1,5 месяца раньше, чем на днище, – уже 18 апреля. Средняя температура здесь в зимний период также оказалась существенно выше, чем на ложе: около $-1,0$ °С. Сравнение температур показывает, что ложе ледника выхолаживается зимой значительно больше, это задерживает процесс таяния мертвых льдов.

Подобные измерения проводились ранее, в 2004/2005 году на левом борту цирка на высоте 3250 м [Nuggel, 2009]. Средняя годовая температура скального грунта здесь составила $-2,2$ °С, причем датчики были заглублены на 10 см в толщу каменного материала. При сравнении данных необходимо также учитывать рекордно высокие температуры воздуха летом 2010 г. на всей Европейской части России; при этом в высокогорье Кавказа (по данным метеостанции Терскол) средняя температура каждого из летних месяцев с июня по сентябрь превышала норму за полувековой период наблюдений на 2 °С.

По измерениям в сентябре 2010 г., суммарный расход воды в ручье Колка на выходе его из-под морены ниже «ригеля», в середине дня после непогоды составлял в среднем около $1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$.

При наблюдениях в цирке на этот раз особенно привлекала внимание чрезвычайная активность камнепадов, в основном в тыловой его части на соединении правого гребня с массивом Джимарай-Хох. Частые обвалы камней и льда не прекращались в период нашего посещения. Там же были хорошо видны локальные участки на стенах, где зарождались камнепады и черные потёки талой воды, причем они совершенно совпадали с теми, что мы наблюдали в 2002-2003, 2006 и 2009 гг. По всей вероятности, это постоянство указывает на эндогенную природу процессов, не затихающих в районе ледника Колка и связанных с вулканическим аппаратом Казбека.

В сентябре 2011 г. в тыловой части цирка высота ледника у скал горы Джимарай-Хох составляла 3350-3400 м. Правая часть ледника заметно выше левой; на фирновом поле множество крупных камней, образовавших «ледниковые грибы» высотой до 60-80 см, что косвенно указывает на величину летнего таяния.

В средней части ледникового тела точки GPS-съёмки зафиксировали продвижение его фронта еще на несколько десятков метров. Вектор движения здесь направлен в сторону моренного вала, ледник за год и окончательно закрыл последний участок мертвого льда в тылу цирка. Край ледника надвинулся на подножье моренного вала, поднявшись на 25-30 м.

Нижняя фронтальная часть всего нового ледника осталась по-прежнему стабильной. В отличие от верхних частей ледника, здесь поверхность языка становится близка к горизонтальной. Фронт ледника заметно распластался в правой его части за минувший год, прежде всего за счет оползания и накопления морены у его основания.

Таким образом, продвижение границ возрождающегося ледника в цирке Колки за 10 лет после катастрофы происходило неравномерно. В первые четыре года (до 2006 г.) доминировало выдвигание прежнего правого притока Колки, затем оно сменилось накоплением льда под огромным лавиносбором на склоне массива Джимарай-хох в тыловой части цирка при стабилизации границ общего ледникового тела. За последние три года (2010-2012 гг.) ледник почти не расширил свою площадь, продолжая увеличиваться в объеме в средней и верхней части (рис. 4).

Одним из последних источников информации о размерах нового ледника являются космические снимки ASTER от 20 сентября 2011 г., позволяющие проводить площадные и высотные измерения. Дешифрирование границ формирующегося ледника выполнено с использованием программы GLIMSVIEW по изображениям, синтезированным из трех каналов (0,52-0,6 нм, 0,63-0,69 нм и 0,78-0,86 нм) с геометрическим разрешением 15 м. Снимки прошли предварительную обработку в архиве NASA LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center), где они были орторектифицированы в картографической проекции UTM WGS 84 с использованием программного обеспечения PCI OrthoEngine. Положение границ в 2006, 2009 и 2010 годах было восстановлено по данным наземных GPS-съёмок и цифровых фотосъёмок (рис. 5).

Площадь ледника соответственно составила: в 2006 г. – $0,17 \text{ км}^2$, в 2009 г. – $0,4 \text{ км}^2$, 2010 г. – $0,57 \text{ км}^2$ и 2011 г. – $0,6 \text{ км}^2$. По предварительным осторожным оценкам, объем ледника порядка 10 млн м^3 . В таком случае это 7,6% объема ледника Колка, измеренного в 1988 г. [Никитин С. А. и др., 2005].



Рис. 4. Ледник Колка 22 сентября 2012 г. (фото Р.А. Чернова)

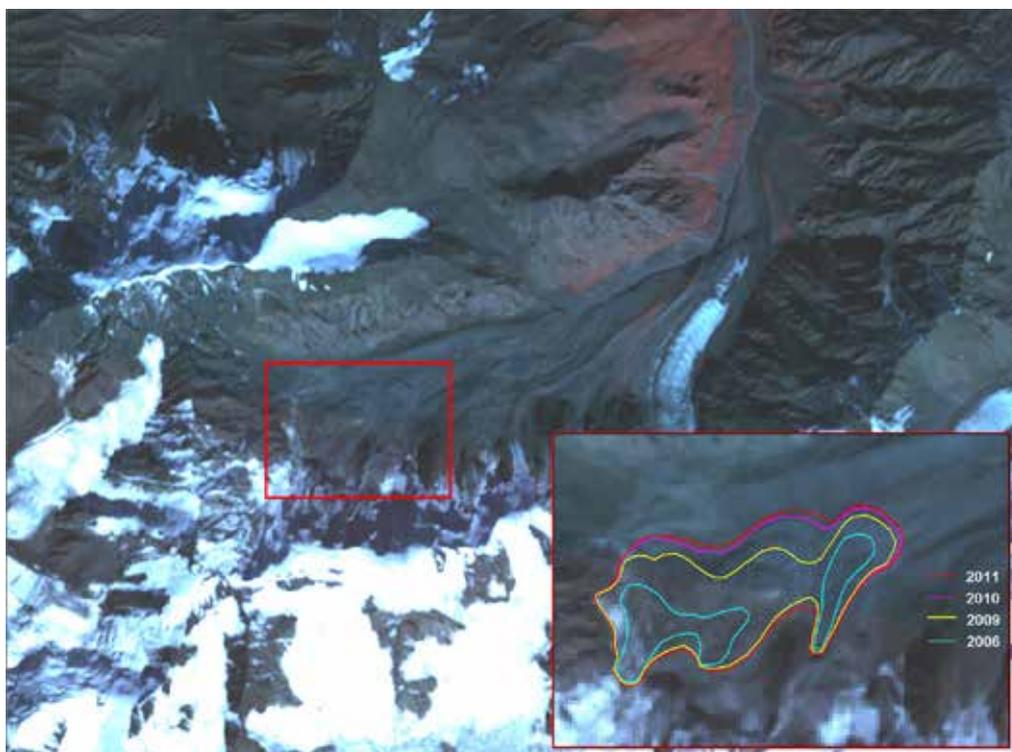


Рис. 5. Космический снимок ASTER от 20 сентября 2011 г.; изменение границ нового ледника в цирке Колки за годы наблюдений.

Заметные изменения за эти годы произошли на конце ледника Майли. Если в 2003 г. мы проходили вверх вдоль ущелья Колки по морене, то в 2006 году здесь путь оказался перекрыт ледовым откосом. Левый край фронта ледника Майли надвинулся влево на морену, поверхность его стала выше на 10-15 метров, была разбита трещинами, часть льда переваливала через моренный вал и сваливалась в ручей Колка. В 2009-2011 гг. здесь по-прежнему сохранялись крутые откосы майлийского льда, покрытые сползающим мокрым моренным материалом. В то же время нижняя часть фронта ледника в глубине долины Майли, на месте грота с выходом реки отступила на десятки метров по сравнению с 2003 годом. Мы считаем состояние ледника Майли в настоящий момент стабильным, он не проявляет признаков активности.

В заключении необходимо отметить: ледник Колка медленно, но возрождается. Для контроля за развитием всех процессов необходимы периодические наблюдения, как наземные, так и аэровизуальные с помощью вертолета. Перспективно также использование космических съемок высокого разрешения. Для расчетов накопления, таяния и баланса вещества вновь образующегося в цирке ледника, как и висячих ледников, нужны метеонаблюдения в ледниковой зоне Колка-Майли, что требует установки здесь (параллельно с поселком Кармадон) автоматической метеостанции. Метеорологический контроль должен сопровождаться высокоточным геодезическим.

Вся предыдущая история ледника Колки говорит о том, что периодически происходят катастрофические события в долине реки Геналдон. С большой вероятностью можно сказать, что она будет и в будущем. Необходимо повторное освоение этой территории проводить с учетом будущей ледниковой катастрофы.

Литература

1. 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.
2. Котляков В. М., Асоян Д. С., Кононова Н. К., Осокин Н. И., Рототаева О. В. Особенности катастрофических природных процессов на северном Кавказе на рубеже XX-XXI вв. // Изменение окружающей среды и климата. Т. 3. Опасные природные явления на поверхности суши: механизм и катастрофические следствия. М.: ИГ РАН, 2008. С.190-209.
3. Никитин С. А., Веснин А. В., Осипов А. В. Результаты радиолокационного зондирования пульсирующих ледников Кавказа и Памира. // МГИ. 2005. Вып. 99. С. 151-153.
4. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 169 с.
5. Haeberli W., Huggel C., Käab A., Zraggen-Oswald, S., Polkvoj, A., Galushkin, I., Zotikov I., Osokin I. The Kolka-Karmadon rock/ice slide of 20 September 2002: an extraordinary event of historical dimensions in North Ossetia, Russian Caucasus. // Journal of Glaciology, Vol. 50, No. 171, 2004 p.533-546.
6. Huggel C. Recent extreme slope failures in glacial environments: effects of thermal perturbation // Quaternary Science Reviews 28. 2009. P. 1119-1130.

DYNAMICS OF GLACIER KOLKA RECOVERY PROCESSES AFTER THE CATASTROPE OF 2002

**V. M. Kotliyakov, academitian RAS, N. I. Osokin, Sc. Candidate (Geography),
O. V. Rototaeva, Sc. Candidate (Geography), G. A. Nosenko, Sc. Candidate
(Geography)**

Institute of Geography of RAS, Moscow, Russia, e-mail: igras@igras.ru

Dynamics of glacier Kolka recovery processes after the catastrophe of 2002 is investigated. During field works there were performed GPS measurements, photo survey from reference points, obtained data from temperature data loggers, etc. After the fall of glacier in 2002 temperature conditions in its basin had been significantly changed. In 10 years borders of recovering glacier were changed irregularly.

Keywords: glacier Kolka, temperature conditions, recovery dynamics