

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ ЛОЖА ЛЕДНИКА КОЛКА НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКУЮ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ

© 2025 г. Р.А. Чернов*, А.Я. Муравьев

Институт географии РАН, Москва, Россия

**e-mail: chernov@igras.ru*

Поступила в редакцию 28.12.2024 г.

После доработки 23.02.2025 г.

Принята к публикации 18.04.2025 г.

По данным дистанционных методов исследований отмечены высокие темпы продвижения фронта ледника Колка — около 380 м за 2018–2024 гг. В результате полевых работ 2024 г. в предполье ледника Колка выявлено несколько термокарстовых воронок, указывающих на наличие пласта льда толщиной до 20 м. Предположительно, фронт ледника надвинулся на массив мёртвых льдов, который сохранился после схода ледника в 2002 г., и продвигается по нему.

Ключевые слова: Кавказ, фронт ледника, термокарстовые процессы, мертвые льды, плоскость скольжения

DOI: 10.31857/S2076673425020029, **EDN:** FPKVCY

ВВЕДЕНИЕ

Карово-долинный ледник Колка расположен в верховье левого притока р. Геналдон, в глубоком скалистом цирке, образованном горными массивами Джимара-Хох и Шау-Хох. Ледник получает питание за счёт притока льда от висячих ледников, лавинных и ледово-каменных обвалов. Нестабильность ледника Колка неоднократно проявлялась в прошлом на примере его подвижки 1969–1970 гг. или катастрофических обрушениях 1902 и 2002 гг. Катастрофа 2002 г. характеризовалась непредсказуемостью и высокой скоростью движения ледово-каменного потока. Несмотря на усилия многих научных групп, причины выброса ледника Колка и преобразование его в высокоскоростной поток до конца не ясны.

В начале 2000-х годов в научных кругах преобладала обвальная гипотеза причин катастрофы (Васьков, 2004; Познанин, 2009), связанная с проявлением сейсмичности района и разрушением мёрзлых пород в цирке. Также была выдвинута гипотеза о мощном газодинамическом взрыве под ледником (Муравьев, 2005; Бергер, 2007). Вероятно, влияние вулканогенного фактора было значимым, на что указывают исследования данных тепловой космической съёмки и наземных датчиков, выявившие активизацию

глубинных процессов в недрах «спящего» вулкана Казбек (Гурбанов и др., 2014). Высказано мнение о внеочередной пульсации ледника, хотя характер катастрофы резко отличался от пульсации ледника в 1969–1970 гг. (Десинов, 2004). В то же время, ряд гляциологов отмечали, что основными факторами, спровоцировавшими катастрофическое обрушение ледника 2002 г., были проявление поствулканических процессов под ледником и накопление в теле ледника значительных объёмов воды (Котляков и др., 2014). Оба фактора непосредственно связаны с условиями на ложе ледника. Предположение о возможном изменении условий скольжения ледника Колка по ложу, приводящих к динамической неустойчивости, было приведено ещё в результатах исследований его пульсации (Рототаев и др., 1983).

В 2003–2023 гг. гляциологи Института географии РАН и географического факультета МГУ проводили регулярные наземные наблюдения в цирке ледника Колка. Фотосъёмки цирка с опорных точек и с воздуха при помощи БПЛА, повторные GPS съёмки поверхности ледника и его фронта, анализ спутниковых снимков позволяли наблюдать динамику возрождения ледника с 2002 г. (Чернов, Рототаева, 2010; Носенко

и др., 2017; Аристов и др., 2019). После заполнения льдом верховья цирка ледника Колка, процесс его наступания, казалось бы, замедлился. В 2015–2016 гг. скорость продвижения его фронта составляла 15–20 м в год. На этом этапе было высказано мнение о невозможности восстановления ледника в прежних размерах и снижении по этой причине потенциальной опасности его обрушения (Котляков и др., 2014).

Регулярные наблюдения показали, что уже с 2003 г. наблюдался процесс заполнения льдом тыловой части цирка ледника. В первые годы после катастрофы со склонов Джимарай-Хох поступало до 4.5 млн м³ от висячих ледников и в виде снежно-ледовых обвалов. Но постепенно поступающее ежегодно количество льда сократилось до величин от 2 (Котляков и др., 2014) до 3.5 млн м³ (Аристов и др., 2019). С 2017 г. состояние ледника изменилось, его фронт заметно активизировался.

Тело ледника образовано слиянием потоков льда с правого борта и тыловой части цирка. С левого борта движению ледника препятствует высокий моренный вал. Особенностью морфологии ложа ледника является его постоянный уклон от тыловой части до уровня около 2900 м. Кроме того, днище ложа сужается, и на уровне около 3000 м его ширина не превышает 300 м. Вся поверхность ледника бронирована мореной, что препятствует летнему таянию льда. Эти особенности морфологии, питания и абляции ледника создают условия для быстрого накопления его массы.

Цель исследования — выявление массивов мёртвых льдов на ложе перед ледником Колка как вероятной причины активного продвижения фронта ледника в последние годы, выявление особенностей стока из цирка ледника.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные полевых наблюдений и разновременных спутниковых съёмок. Спутниковые снимки использовались для определения пространственного положения границ ледника на разные даты. Дешифрирование границ фронта ледника было произведено ручным методом по следующим спутниковым снимкам: WorldView-2 от 01.10.2012 и 19.08.2019, Sentinel-2 от 01.09.2020, 27.08.2021, 03.09.2022, 27.08.2023 и 02.09.2024. Граница ледника 2018 г. была взята из Каталога ледников России (glacru.ru..., 2025), где она была

получена в результате дешифрирования по снимку Sentinel-2 от 28.08.2018. При расчёте изменений площади прифронтальной части ледника погрешность рассчитывалась как произведение длины границы участка приращения ледника на разрешающую способность спутниковых снимков, по которым она была дешифрирована (10 м для снимков Sentinel-2 и 2 м для WorldView-2).

Полевое обследование термокарстовых воронок перед фронтом ледника включало: определение их местоположения, глубины и толщины обнажений льда, где это было возможным. Для определения координат и высот объектов в полевых исследованиях использована GPS-съёмка. Рулеткой и мерной рейкой измерялись толщина слоя морены в шурфах, глубина и ширина водотоков. Расход воды в притоках ручья Колка был определён как произведение площади сечения потока на прямолинейном участке и мгновенной скорости воды (измерено поплавком).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным полевых наблюдений в сентябре 2024 г. фронт ледника имеет высоту около 40 м, его средний уклон составляет 35°. По периметру фронта ледника образовался напорный вал морены, который состоит из пород, слагающих морену предполья ледника. В сентябре 2024 г. фронт ледника находился на высоте около 3040 м (рис. 1, а).

На пологом пространстве перед ледником наблюдается развитие термокарстовых процессов. Термоэрозионные воронки вытянутой формы образовались около бортов ложа. Наиболее глубокая из них имеет вертикальное обнажение, которое указывает на мощность подстилающего льда — около 20 м (см. рис. 1, б). В основании воронок имеются туннели, по которым талая вода дренируется в долину подо льдом. На поверхности морены протяжённых водотоков не наблюдается и, фактически, весь сток из цирка ледника имеет подлёдный характер. На удалении от ледника развитие термокарстовых процессов локализовано в центральной части ложа. Здесь массив мёртвых льдов значительно возвышается (Л.В. Десинов называл эту часть массива «ригелем») и имеет сложную форму, напоминающую подкову, обращённую вершиной к долине. Многочисленные обнажения на крутых склонах сооружения показывают, что под слоем морены находится лёд. Несмотря на положительные

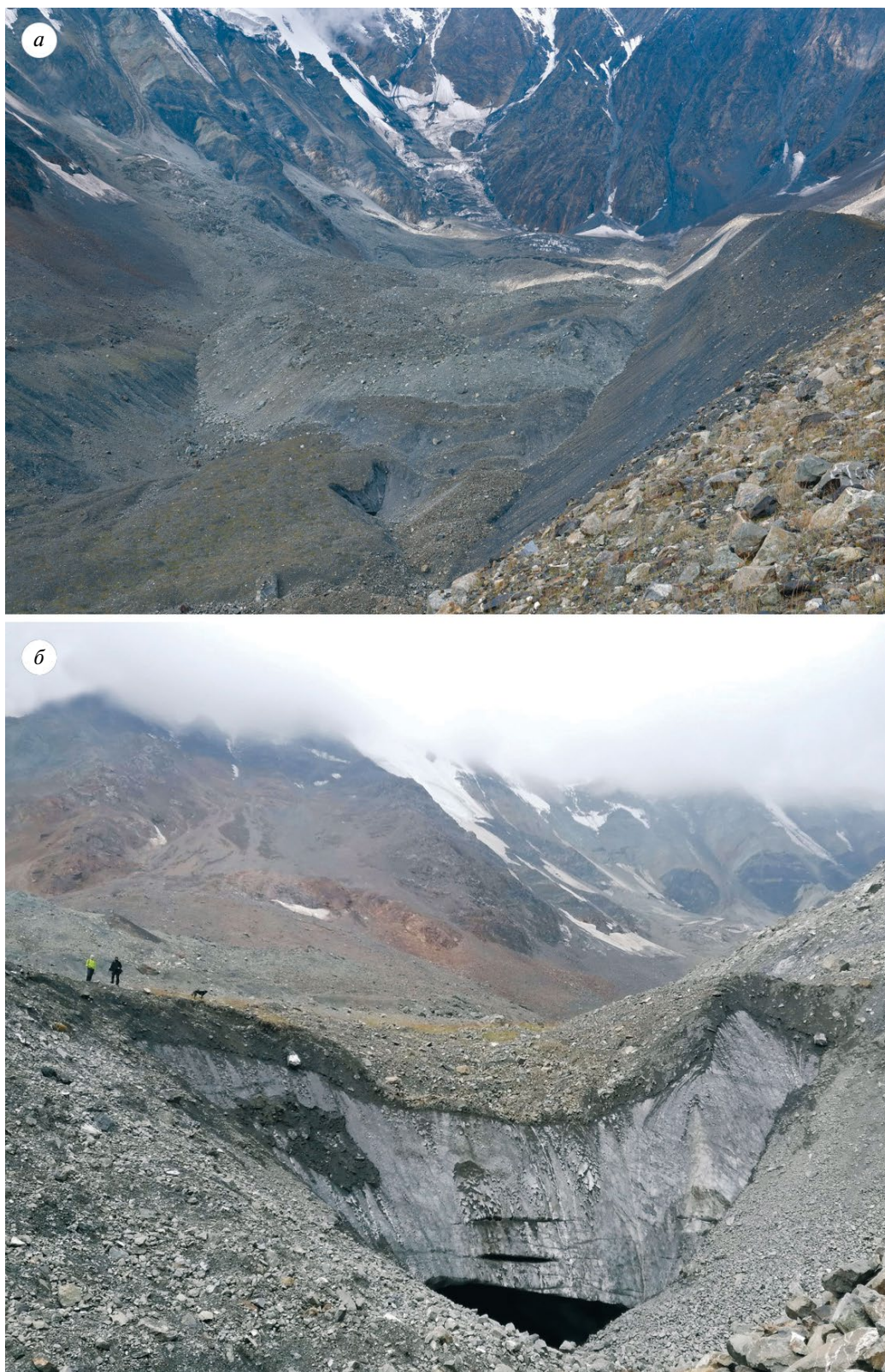


Рис. 1. Фронт ледника Колка в сентябре 2024 г. (а), обнажение мёртвого льда на пространстве перед фронтом ледника (б). Фото А.Я. Муравьева (а) и Р.А. Чернова (б), 08.09.2024

Fig. 1. The Kolka Glacier front in September 2024 (a), exposure of dead ice in the area in front of the glacier (b). Photo by A.Ya. Muraviev (a) and R.A. Chernov (b), 09/08/2024

температуры воздуха в летний период, таяние происходит, по-видимому, крайне медленно из-за мощного слоя морены. Общая конфигурация массива сохранилась с момента катастрофы 2002 г. Это лёд, который остался в цирке после схода ледника в 2002 г. на высоте около 3020 м (Котляков и др., 2014).

Маршрутные наблюдения в области сооружения массива мёртвых льдов не выявили каких-либо поверхностных водотоков. Определённо, талая вода из цирка ледника протекает по подлёдным каналам. Выход талых вод на поверхность происходит на удалении 1.1 км от текущего положения фронта ледника на высоте 2915 м (рис. 2). Многочисленные родники, расположенные возле правой морены, формируют два ручья, которые соединяются вместе перед впадением в ручей Шао. Их протяжённость составляет около 300 м. На момент посещения расходы воды в них были соизмеримы и суммарно составляли около 0.8 м³/с. Расход воды в обоих ручьях был измерен в период между 14 и 15 часами при ясной погоде 09.09.2024.

Текущее положение фронта ледника показывает, что с августа 2023 г. по сентябрь 2024 г. он продвинулся примерно на 70 м. Динамика границ ледника за последнее десятилетие показывает высокие темпы продвижения ледника (см. рис. 2). В период с 2012–2018 гг. приращение площади ледника составило 0.12 ± 0.02 км². До 2014 г. оно происходило, в основном, за счёт заполнения пространства перед левым моренным валом (Котляков и др., 2014), после 2014 г. — за счёт продвижения его фронта. За 2018–2024 гг. площадь ледника увеличилась на 0.13 ± 0.03 км². Оба периода оказались фактически равноценны по приращению площади, но в последние 10 лет площадь ледника увеличивалась преимущественно за счёт удлинения его языковой части. Её продвижение на 380 м в плане соответствует понижению абсолютной высоты нижней границы ледника на 40 м. Кроме того, на основе геодезических измерений было отмечено повышение его поверхности. Как показано в работе (Аристов и др., 2019), высота поверхности ледника в 2014–2017 гг. увеличивалась в среднем на 2 м в год. В этих условиях следует предположить, что отток льда из цирка не компенсирует его питание. При уровне питания ледника около 2–3.5 млн м³ ежегодный отток льда головной части ледника в несколько раз меньше — порядка 0.7 млн м³ (объём льда у фронта ледника, перемещенный за год на 70 м).

В настоящее время ледник надвигается на поле мёртвых льдов. Скорости наступания фронта уже достаточно велики и по величине достигли значений, которые были измерены на кануне подвижки 1969 г., т.е. около 20 см в сутки (Рототаев и др., 1983). Вероятно, изменившиеся условия на ложе фронтальной части ледника будут способствовать увеличению скорости его движения. Даже при сохранении настоящих темпов его продвижения через 3–4 года ледник достигнет сооружения из массива мёртвых льдов, которое по высоте соизмеримо с фронтом. Встретившись с препятствием, фронт ледника неизбежно замедлит своё движение.

Возникает вопрос о причине активного продвижения фронта ледника Колка после 2018 г. Условия питания ледника не могли заметно измениться за последние два десятка лет. До 2016 года отмечается стабильный уровень зимних осадков (Котляков и др., 2014; Носенко и др., 2017). Приращения площади ледника показывают, что продвижение его фронта вполне отражает стабильные условия питания. Выявленные высокие скорости его движения связаны с условиями скольжения на ложе. Вероятно, фронтальная часть ледника движется по пласту льда, который остался после катастрофы 2002 г. Ранее неоднократно было отмечено, что в цирке ледника и на его ложе могло остаться много льда (Котляков и др., 2014). В ходе полевых работ в сентябре 2024 г. термокарстовые воронки (в них наблюдались обнажения льда) были обнаружены у левого и правого краёв, а также в нижней части выположенной поверхности ниже фронта ледника (см. рис. 2). Это позволяет предположить, что внутреннее строение этого тела, относительно однородно, как и вид его поверхности. Развитие термокарстовых воронок происходило при воздействии временных поверхностных водотоков. Прямые измерения показали, что толщина моренного чехла составляет около 1 м, что также видно в обнажении на рис. 1, б. При такой толщине морены фактически исключается таяние пласта льда, так как его температура близка к среднегодовой температуре на ложе и поэтому отрицательна (Чернов, Рототаева, 2010).

Существование пласта льда, предположительно сохранившегося с Кармадонской катастрофы, указывает на то, что в момент срыва ледника в сентябре 2002 г. массы льда могли двигаться по плоскости скольжения, а не собственно по ложу, как предполагалось ранее. Возможность срыва ледника по плоскости скольжения была высказана по результатам изучения подвижки

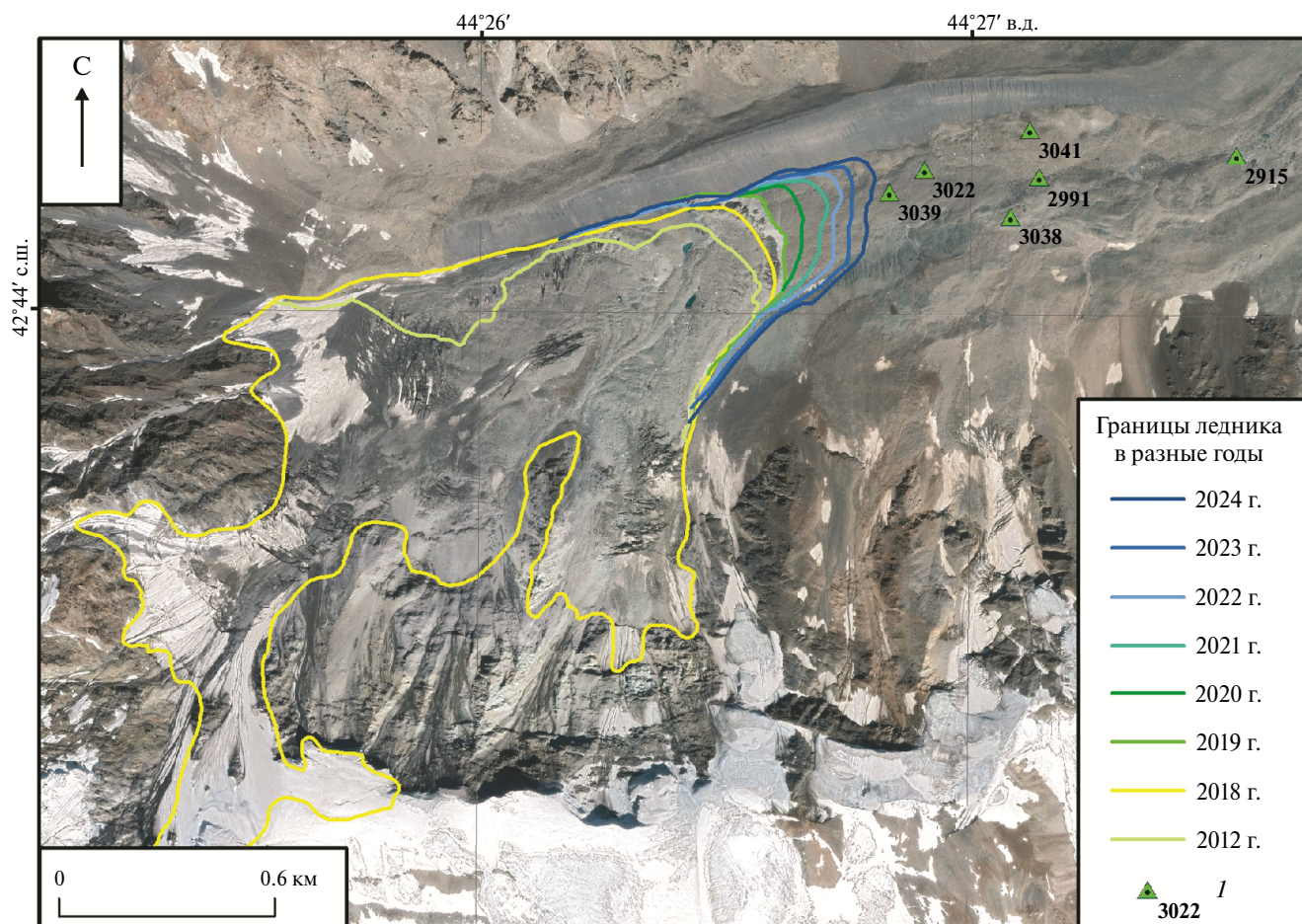


Рис. 2. Границы ледника Колка и положение его фронта с 2012 по 2024 г., *I* — абсолютные высоты поверхности мёртвого льда в августе 2024 г. В подложке спутниковый снимок WorldView-2 от 19.08.2019

Fig. 2. Boundaries of the Kolka Glacier and the position of its front from 2012 to 2024, *I* — absolute heights of the dead ice surface, August 2024. In the background is a satellite image WorldView-2 from 08/19/2019

в 1969–1970 гг. (Рототаев и др., 1983). Поверхность скольжения генерализует подлёдный рельеф, поэтому её сопротивление движению ледника много меньше, чем движение по неровностям ложа. Следует отметить, что моренный чехол в предполье ледника исключается из плоскости контакта ледника и мёртвого льда, так как он сдвигается фронтом. По периметру фронта ледника образовался напорный вал из рыхлого материала высотой более 10 м (см. рис. 1, *a*).

Анализ материалов, описывающих катастрофы ледника Колка в 1902 и 2002 гг. и подвижки 1969–1970 гг. (Рототаев и др., 1983; Чернов, Рототаева, 2010; Котляков и др., 2014), указывает на перемещения льда из цирка ледника двумя различными сценариями, отличающимися скоростями движения ледовых масс. Возможность преобразовываться в высокоскоростной поток

ледово-каменных масс, по-видимому, обусловлена значительным накоплением воды в теле ледника и срывом ледника по плоскости скольжения.

Полевые исследования на пространстве перед фронтом ледника подтвердили наличие пологой поверхности, сложенной льдом. Её уклон составляет 6° , ширина — около 200 м, а протяжённость — 300–350 м. В нашем представлении эта поверхность является фрагментом плоскости скольжения, по которой происходило обрушение ледника. Ниже уровня 2990 м поверхность перекрывается грядой мёртвых льдов. Эта гряда высотой до 50 м и протяжённостью около 500 м окажется значительной преградой продвижению ледника через несколько лет. Приблизительный расчёт объёма мёртвого льда в массиве даёт величину 6–8 млн м^3 . Смыкание тела ледника и сооружения мёртвых льдов значительно увели-

чат общую массу ледника, но при этом остановят движение его фронта.

На этом этапе возрождения ледника Колка, его состояние может приблизиться к критическому. Под напором ледника массив мёртвых льдов неизбежно включится в движение. Общая масса будет выдвигаться в область, имеющую уклон более 10° , и способствовать его неустойчивости. Не исключена вероятность накопления воды в теле ледника вследствие деформации базального слоя льда, под которым идёт сток. Упоминания о нарушении стока ручья Колка накануне катастрофы 2002 г. были неоднократно выделены в публикациях Л.В. Десинова (Десинов, 2004). Также ранее в работе (Рототаев и др., 1983) было отмечено, что в случае затруднённого стока вода, накапливающаяся в леднике, может отжиматься к плоскости скольжения и боковым зонам. Динамика этого процесса изучена мало, но при затруднении подлёдного стока накопление воды в теле ледника в течение одних суток может достигать 70 тыс. м^3 , в соответствии с нашими оценками расходов воды в притоках ручья Колка ($0.8 \text{ м}^3/\text{с}$). Неустойчивость ледника, который движется по ледяной плоскости скольжения и слою воды, становится крайне вероятной. Импульс для начала ускоренного движения масс льда может зависеть от случайных внешних воздействий: обвал, землетрясение, газовый выброс под ледником или обрушение внутренней полости ледника.

Фактически за нижней границей массива мёртвых льдов начинается зона транзита масс льда, где ледник преобразовался в скоростной поток. Об этом явно свидетельствует «сглаженный» рельеф бортов долины и характерная поверхностная штриховка крупных блоков обломочного материала. Деформация массива мёртвых льдов под напором ледника — ключевой этап для возможных прогнозов следующей катастрофы ледника. Включение их в движение и выдвигание в зону транзита может иметь характер подвижки подобно событиям 1969 г. или срыва части ледника по плоскости скольжения и образование скоростного потока. Наиболее вероятно то, что решающую роль в неустойчивости ледника снова сыграет накопление воды в его теле. В настоящее время сток воды из цирка происходит через узкий створ под массивом мёртвых льдов. С целью мониторинга состояния ледника Колка необходимо провести детальное исследование объёма мёртвого льда методами радиолокации и, возможно, получить сведения о структуре подлёдной гидросети, определить режим стока в летний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полевые исследования в цирке ледника Колка позволили сделать предположение о существовании обширного массива мёртвых льдов, который заполняет днище цирка и простирается перед ледником на расстояние до 0.9–1.0 км. Непосредственно перед фронтом обнаружены термокарстовые воронки, в одной из них толщина льда достигает 20 м. Предположительно, массив льда имеет форму пласта, покрытого слоем моренного материала. Этот пласт сохранился с момента Кармадонской катастрофы 2002 г. Сток талой воды из цирка ледника идёт под массивом мёртвых льдов и выходит на поверхность уже за его пределами.

Сравнение данных о положении фронта ледника за последние 10 лет указывают на значительные скорости его наступания, которые достигли значений, измеренных накануне подвижки в 1969 г. С августа 2023 по сентябрь 2024 г. фронт переместился примерно на 70 м. По-видимому, быстрому продвижению фронта ледника Колка способствует то, что ледник выдвинулся и скользит по пласту льда, который прежде был плоскостью срыва и скольжения при катастрофе 2002 г. На расстоянии около 300–350 м от текущего положения фронта ледника расположена гряда мёртвых льдов высотой до 50 м, которая является частью ледника Колка, оставшейся в цирке после катастрофы 2002 г. При смыкании ледника и массива мёртвых льдов отток льда из цирка будет затруднён. На этом этапе восстановления ледника его состояние может приблизиться к критическому, так как деформация подлёдной гидросети стока может способствовать накоплению воды в теле ледника.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Института географии РАН № FMWS-2024-0004. Авторы выражают благодарность ведущему инженеру-геологу (НИИОСП им. Н.М. Герсевича) Т.В. Вшивцевой за участие в полевых работах в цирке ледника Колка.

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences FMWS-2024-0004. The authors express their gratitude to the leading engineer-geologist T.V. Vshivtseva (Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures) for her participation in field work in the cirque of Kolka Glacier.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аристов К.А., Петраков Д.А., Коваленко Н.В., Тимошин С.А., Колчин А.А., Дробышев В.Н. Мониторинг ледника Колка в 2014–2017 гг. методом наземной стереофотосъёмки // *Лёд и Снег*. 2019. Т. 59. № 1. С. 49–58.
<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-1-49-58>
- Бергер М.Г. Ледник Колка. Катастрофа 20 сентября 2002 года — внезапный газодинамический выброс ледника. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 246 с.
- Васьков И.М. Возможный механизм обвала и динамика движения ледово-каменных масс в верховьях р. Геналдон (на Центральном Кавказе в сентябре 2002 г.) // *Вестник Владикавказского науч. центра РАН*. 2004. Т. 4. № 2. С. 34–45.
- Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Докучаев А.Я., Цуканова Л.Е. Изучение динамики теплового поля в контурах выявленной дистанционными методами тепловой аномалии (по данным наземных термодатчиков). Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра. Владикавказ: Центр геофиз. исслед. Владикавказского науч. центра РАН и РСОА, 2014. С. 74–87.
- Десинов Л.В. Пульсация ледника Колка в 2002 году // *Вестн. Владикавказского науч. центра*. 2004. Т. 4. № 3. С. 72–87.
- Каталог Ледников России // Электронный ресурс. URL: <https://www.glacru.ru/ледниковые-районы/кавказ/> (Дата обращения: 01.04.2020).
- Котляков В.М., Рототаева О.В., Носенко Г.А., Десинов Л.В., Осокин Н.И., Чернов Р.А. Кармадонская катастрофа: что случилось и чего ждать дальше М.: Издательский дом «Кодекс», 2014. 184 с.
- Муравьев Я.Д. Газовое извержение в цирке — возможная причина развития подвижек ледника Колка по катастрофическому сценарию // *Материалы гляциол. исследований*. 2005. Вып. 98. С. 44–55.
- Носенко Г.А., Рототаева О.В., Никитин Н.А. Особенности изменений ледника Колка с 2002 по 2016 г. // *Лёд и Снег*. 2017. Т. 57. № 4. С. 468–482.
<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-468-482>
- Познанин В.Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф. М.: ИМГРЭ, 2009. 182 с.
- Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 168 с.
- Чернов Р.А., Рототаева О.В. О развитии посткатастрофических процессов в цирке ледника Колка и долине р. Геналдон (северный склон Казбекского массива) // *Лёд и Снег*. 2010. № 4. С. 25–29.
[glacru.ru](https://www.glacru.ru) // Электронный ресурс. URL: <https://www.glacru.ru> (Дата обращения: 23.02.2025).

Citation: Chernov R.A., Muraviev A.Ya. On the possible influence of the Kolka glacier bed on its dynamic instability. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2025, 65 (2): 210–217. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673425020029

On the Possible Influence of the Kolka Glacier Bed on Its Dynamic Instability

© 2025 R. A. Chernov[#], A. Ya. Muraviev

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[#]*e-mail: chernov@igras.ru*

Received December 28, 2024; Revised February 23, 2025; Accepted April 18, 2025

After the Karmadon catastrophe of 2002, the viewpoint was discussed that the important factors triggered the Kolka Glacier collapse were post-volcanic processes beneath the glacier and the accumulation of significant volumes of water in the glacier body. Both factors are directly related to the conditions on the glacier bed. The hypothesis of a possible change in the conditions of the Kolka Glacier sliding along the bed, leading to dynamic instability, was proposed earlier in the results of studies of its movement in 1969–1972. Field studies in the Kolka Glacier cirque in September 2024 revealed several thermokarst funnels in which ice is exposed. In the thermokarst funnel located near the glacier front, the visible ice thickness exceeds 20 m. The location of the thermokarst funnels and the surface character in the glacier foreland indicate the presence of an extensive layer of dead ice appears to extend just in front of the glacier and served as the sliding plane along which the glacier left

the bed in 2002 In the last 6 years, a significant advance of glacier terminus (up to 70 m per year) has been noted, the revived glacier moves over a layer of dead ice and its speeds are close to the critical values on the eve of the 1969 movement. It is possible that the water in the glacier body will influence its dynamic instability in the future, since the meltwater runoff from the cirque is of a subglacial nature. The accumulation of water in the glacier body can be facilitated by deformation of the ice mass at the bed and obstruction of drainage.

Keywords: Caucasus, glacier front, thermokarst processes, dead ice, sliding plane

REFERENCES

- Aristov K.A., Petrakov D.A., Kovalenko N.V., Timonin S.A., Kolchin A.A., Drobyshev V.N. Monitoring of Kolka Glacier in 2014–2017 by terrestrial stereophotogrammetry. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2019, 59 (1): 49–58. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-1-49-58> [In Russian].
- Berger M.G. *Lednik Kolka. Katastrofa 20 sentyabrya 2002 goda – vnezapnyy gazodinamicheskiy vybros lednika*. Kolka Glacier. The Catastrophe of September 20, 2002 – sudden gas-dynamic ejection of the glacier. Moscow: LKI Publishing House, 2007: 246 p. [In Russian].
- Vaskov I.M. Possible mechanism of collapse and dynamics of icerock masses in the upper reaches of the Genaldon river. *Vestnik Vladikavkaz Scientific Center*. Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. 2004, 2: 34–45 [In Russian].
- Gurbanov A.G., Gazeev V.M., Leksin A.B., Dokuchaev A.Ya., Tsukanova L.E. *Izuchenie dinamiki teplovogo polya v konturah vyyavlennoj distancionnymi metodami teplovoj anomalii (po dannym nazemnykh termodatchikov)*. *Lednik Kolka: vchera, segodnya, zavtra*. Study of thermal field dynamics in contours of thermal anomaly detected by remote methods (according to data from ground-based temperature sensors). Kolka Glacier: yesterday, today, tomorrow. Vladikavkaz: Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Russian North Ossetian, 2014: 74–87 [In Russian].
- Desinov L.V. Pulsation of the Kolka Glacier in 2002. *Vestnik Vladikavkaz Scientific Center*. Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. 2004, 4 (3): 72–87 [In Russian].
- Katalog Lednikov Rossii*. Glaciers of Russia. Retrieved from: URL: <https://www.glacru.ru/ледниковые-районы/кавказ/> (Last access: April 1, 2020) [In Russian].
- Kotlyakov V.M., Rototaeva O.V., Nosenko G.A., Desinov L.V., Osokin N.I., Chernov R.A. *Karmadonskaya katastrofa – chto sluchilos i chego zhdet dalshe*. Karmadon disaster: what happened and what to expect further. Moscow: “Kodeks” Publishing House, 2014: 184 p. [In Russian].
- Muraviev Ya.D. Gas eruption in the circus is a possible cause of development of the Kolka glacier movements by the catastrophic scenario. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 2005, 98: 44–55 [In Russian].
- Nosenko G.A., Rototaeva O.V., Nikitin N.A. Features of changes in the Kolka glacier from 2002 to 2016. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2017, 57 (4): 468–482 [In Russian].
- Poznanin V.L. *Mekhanizmy selevykh lednikovykh katastrof*. Mechanisms of mudflow glacial disasters. Moscow: Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, 2009: 182 p. [In Russian].
- Rototaev K.P., Khodakov V.G., Krenke A.N. *Issledovanie pulsiruyushego lednika Kolka*. Study of the pulsating Kolka Glacier. Moscow: Science, 1983: 169 p. [In Russian].
- Chernov R.A., Rototaeva O.V. On the development of post-catastrophic processes in the cirque of the Kolka glacier and the valley of the river Genaldon (the northern slope of the Kazbek massif). *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2010, 4: 25–29 [In Russian].
- glacru.ru: official site. Retrieved from: URL: <https://www.glacru.ru> (Last access: February 23, 2025).