

УДК 551.24(234.9)

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44489](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44489)

Оригинальная статья

О причинах и механизме катастрофического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка

М.Г. Бергер , д.г.-м.н., проф.

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а,
e-mail: berger7@rambler.ru

Статья поступила: 13.09.2019, после рецензирования: 05.10.2019, принята к публикации: 21.10.2019

Аннотация: **Актуальность работы.** Определить причину того или иного явления - значит указать фактор, действие которого позволяет объяснить все особенности этого явления. При всей несомненной доказанности взрывоподобного газодинамического характера катастрофического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 г., некоторые важнейшие вопросы, касающиеся причин и механизма этого выброса, требуют прояснения. Их рассмотрению посвящена данная статья. Объект исследования – взрывоподобные газодинамические выбросы. **Цель работы** – установление механизма катастрофического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка. **Результаты работы.** На основе данных полученных в области изучения взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов в подземных горных выработках, история исследования которых начинается с 1834 года, установлено, что в газодинамическом выбросе (вынос, отбросе, инерциальном разлете, направленном метании) материала, независимо от его состава, во всех случаях первостепенная (решающая) роль принадлежит находящимся в свободной фазе высоконапорным природным газам различного состава, физико-химических свойств и происхождения. Соответственно, причиной, вызывающей внезапные взрывоподобные газодинамические выбросы, главным действующим фактором, определяющим и объясняющим их основные характерные особенности, являются расширяющиеся сжатые высоконапорные (обладающие высоким или даже сверхвысоким пластовым давлением) природные газы. Основным источником высоконапорных природных газов, вызвавших взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 года, очевиден - им были глубинные поствулканические газы, постоянно генерирующиеся в глубинных зонах Казбекско-Джигарайского района и всей Казбекской неовулканической области. Таким образом, взрывоподобный внезапный газодинамический (газоледокаменный) выброс ледника Колка имел эндогенный поствулканический характер. Взрывоподобный внезапный газодинамический выброс ледника Колка со всей очевидностью показал, что именно аномально высокое (сверхвысокое) пластовое давление свободных газов, скопившихся в подледниковом пространстве, является основной причиной этого выброса - его подготовки, запуска, проявления и постпароксизмального завершения. Основным источником этих газов были глубинные процессы постоянно протекающей в данном районе поствулканической деятельности, сопровождающиеся генерацией, выделением в свободную фазу, концентрацией и восходящей миграцией высоконапорных глубинных природных газов.

Для цитирования: Бергер М.Г. О причинах и механизме катастрофического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 63-71. DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44489](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44489).

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44489](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44489)

Original paper

About the causes and mechanism of the catastrophic explosion-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier

M.G. Berger 

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: berger7@rambler.ru

Received: 13.09.2019, revised: 05.10.2019, accepted: 21.10.2019

Abstract: Relevance. To determine the cause of a phenomenon means to indicate a factor the action (influence) of which allows explaining all the features of this phenomenon. With all the undeniable evidence of the explosion-like gas-dynamic nature of the catastrophic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002, some of the most important questions regarding the causes and mechanism of this outburst require clarification. This article is devoted to consideration of these causes. The study object is explosive gas-dynamic ejection. **Aim.** To establish a mechanism for a catastrophic explosive sudden gas-dynamic ejection of the Kolka glacier. **Results.** Based on the data obtained in the field of exploration explosive sudden gas-dynamic ejections in underground mine workings, the history of which began in 1834, it was found that in the gas-dynamic ejection (removal, rejection, inertial expansion, directional throwing) of the material, regardless of its composition, in all cases the primary (critical) role belongs to the high-pressure natural gases of different composition, physicochemical properties and origin that are in the free phase. Thus, the cause of sudden explosion-like gas-dynamic emissions, the main acting factor determining and explaining their main characteristic features are expanding compressed high-pressure (having high or even ultra-high reservoir pressure) natural gases. The main source of high-pressure natural gases that caused the explosion-like directional gas-dynamic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002, is obvious - they were deep post-volcanic gases, which are constantly generated in the deep zones of the Kazbek-Dzhimara region and the whole Kazbek neovolcanic region. Thus, the explosion-like sudden gas-dynamic (gas-ice-stone) outburst of the Kolka glacier had an endogenous postvolcanic character. The explosion-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier has clearly shown that it is the abnormally high (ultrahigh) layer pressure of the free gases accumulated in the subglacial space that is the main cause of this outburst - its preparation, launch, development and post-paroxysmal completion. The main source of these gases were the deep processes of ongoing post-volcanic activity in the area, accompanied by the generation, release into the free phase, concentration and upward migration of high-pressure deep natural gases.

Keywords: Kolka glacier, gas-dynamic outburst of the glacier, post-volcanic processes, gas-dynamic phenomena.

For citation: Berger M.G. About the causes and mechanism of the catastrophic explosion-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. 9(4): 63-71. (In Russ.) DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44489](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44489).

Динамические явления, мощность которых существенным образом зависит от работы газа, – газодинамические явления.

В.В. Ходот

Газ, расширяясь при развитии выброса, способен совершить громадную работу.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

...Сведения, касающиеся особенностей выбросов, ... являются наглядным свидетельством участия газа не только в выносе материала, но и в процессе его дробления.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Работу в процессе выброса может совершать только свободный газ... Даже минимальная энергия свободного газа ... является очень большой. Как показывают выбросы пород, обладающих малой сорбционной способностью (песчаников, солей), ... ее вполне достаточно не только для сильного дробления материала, но и для его разлета с большой скоростью.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Внезапный выброс – динамическое явление, развивающееся главным образом путем последовательных отрывов газом частиц с обнаженных поверхностей ... под действием силы, возникающей из-за перепада в давлении газа.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Для механизма выброса весьма существенна роль газа в процессе отделения и выноса частиц, обуславливающая в значительной степени специфические черты выбросов...

Газ теряет на отрыв (т.е. на отделение частиц выбрасываемого материала – М.Б.) лишь часть своей энергии, а остающаяся часть участвует в придании частицам скорости... Тем самым создаются условия для отделения следующих частиц на новой свободной поверхности, и процесс имеет возможность многократно повторяться – происходит выброс.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

...Решающая роль в отделении частиц принадлежит газу... Волны разрушения при динамических явлениях в шахтах (в отличие, например, от волн, образующихся при взрыве) имеют ту особенность, что вектор скорости (движения выбрасываемого материала – М.Б.) за фронтом всегда образует тупой угол с направлением распространения волны (разрушения – М.Б.) (обычно они противоположны друг другу). Это связано с тем, что динамическое явление обязательно включает разлет частиц, который может осуществляться только в сторону свободного пространства, в то время как волна (разрушения – М.Б.) движется в сторону еще не потерявшего связности массива. Среда по сравнению с исходной разрыхлена и не способна выдерживать растягивающие напряжения. Эти очевидные, но важные факты служат дополнительными условиями при рассмотрении следствий законов сохранения массы, импульса и энергии на фронте волны.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Особенности процесса (степень диспергирования материала, форма полости, своеобразие акустических импульсов, возникновение или отсутствие ударной воздушной волны и др.) позволяют не только определить тип явления, но и выявить степень участия в нем различных факторов.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Введение

При всей несомненной доказанности взрывоподобного газодинамического характера катастрофического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 г., некоторые важнейшие вопросы, касающиеся причин и механизма этого выброса, требуют прояснения. Их рассмотрению посвящена данная статья. При этом автор во многом опирается на результаты, полученные в области изучения считающихся техногенными взрывоподобных газодинамических выбросов в подземных горных выработках, история исследования которых начинается с 1834 года [Иванов, 2005; и др.].

Ранее автором было показано [Бергер, 2015б, 2016], что изучение взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов ледников представляет собой новую область исследований в науках о

Земле, которая имеет много общего с насчитывающей уже около двухсот лет областью горной науки, исследующей внезапные газодинамические явления в подземных горных выработках, а также некоторыми другими направлениями наук о Земле (геомеханики, газогеодинимики, вулканологии и др.).

Основные результаты исследований в области механики подземных внезапных выбросов приведены в работах И.М. Петухова и А.М. Линькова [1976, 1978, 1983 и др.], а также А.Э. Петросяна и др. [1978, 1983], В.И. Николина и др. [1967], Ю.М. Бирюкова [2011] и многих других авторов.

Все приведенные выше в качестве эпиграфов высказывания И.М. Петухова и А.М. Линькова [1976, 1983] (см. также [Петухов, Линьков, 1978, с. 74 и др.]) полностью справедливы и в отношении ледникового льда, также обладающего малой сорбционной способностью, как и соли, песчаники и многие другие подвергающиеся выбросам неугольные породы.

Вопросы методологии

Определить причину того или иного явления – значит указать фактор, действие которого позволяет объяснить все особенности этого явления.

В газодинамическом выбросе, независимо от состава выбрасываемого материала (его выносе, отбросе, инерциальном разлете, направленном метании) во всех случаях первостепенная (решающая) роль принадлежит находящимся в свободной фазе высоконапорным природным газам различного состава, физико-химических свойств и происхождения.

Соответственно, причиной, вызывающей взрывоподобные внезапные газодинамические выбросы, главным действующим фактором, определяющим и объясняющим их основные характерные особенности, являются расширяющиеся сжатые высоконапорные (обладающие высоким или даже сверхвысоким пластовым давлением) природные газы.

Все другие факторы (горное давление, напряженно-деформированное состояние пород, их физико-механические (литофизические) свойства, в том числе прочностные, и пр.), часто привлекаемые для объяснения причин газодинамических выбросов, могут лишь содействовать, благоприятствовать проявлению выбросов, но не являются их причиной в отмеченном обычном смысле этого слова.

Для газогляциодинамических явлений (газодинамических выбросов ледников), непосредственная подготовка которых протекает в подледниковых условиях вблизи земной поверхности, это особенно очевидно.

Необходимо отметить, что взрывоподобные внезапные газодинамические выбросы установлены в горных породах различного состава и происхождения (углях, солях, песчаниках и др.) при наличии в массиве газового скопления с аномально высоким пластовым давлением, экранированного непроницаемым (газопорным) барьером со свободной поверхностью (исходной, существующей изначально, или же создаваемой в ходе техногенного, сейсмического или иного воздействия на горный массив).

Это опровергает распространенные представления об обусловленности таких выбросов непременно метановым составом газа, присутствием газа именно в виде твердого углеметанового раствора, сорбционными (или некими «суперсорбционными») свойствами углей, наличием в углях клатратных соединений (газогидратов) и т.п. (прежде всего, хотя бы потому, что в подвергшихся многочисленным газодинамическим выбросам соляных и других горных породах не угольного состава ничего этого заведомо нет).

К газосоляным, газопесчаным и, разумеется, газоледокаменным газодинамическим выбросам все это никакого отношения не имеет.

Вместе с тем, сказанное полностью согласуется с отмеченным во многих публикациях, но так и не получившим удовлетворительного объяснения известным фактом значительного (на порядки) превышения количества газа, выбрасываемого при внезапных газозольных выбросах, над количеством газа, содержавшегося в выброшенном угле, и полностью объясняет этот факт: выбрасываемый при внезапных газодинамических газозольных выбросах уголь в своей значительной части слагает газопорный (газонепроницаемый) барьер со свободной поверхностью и обладает практически нулевой или близкой к нулевой пористостью и, в целом, пустотностью, что исключает возможность нахождения непосредственно в нем сколько-нибудь значительного количества свободного газа (энергетически-силовое воздействие которого необходимо для проявления газодинамического выброса), но зато делает возможным нахождение значительного скопления высоконапорных свободных газов

за ним, экранированного им. Этот барьер представляет собой так называемую перемычку между свободным (в частности, выработанным) пространством и существующим до выброса скоплением природного газа с аномально высоким (сверхвысоким) пластовым давлением. Все это вполне очевидно в случаях проявления внезапных газопесчаных, газосоляных и других газопородных выбросов, в том числе, естественно, газоледокаменных, в частности, выброса ледника Колка.

С учетом изложенного, не только изучение подземных внезапных выбросов проливает свет на некоторые особенности внезапного выброса ледника Колка, но и последние, в свою очередь, содействуют лучшему пониманию причин и механизма подземных газодинамических явлений.

Основной источник высоконапорных природных газов, вызвавших взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г., очевиден – им были глубинные поствулканические газы, постоянно генерирующиеся в глубинных зонах Казбекско-Джимарайского района и всей Казбекской неовулканической области.

О моделировании внезапных выбросов

Существующие в горной геомеханике (или, как определил недавно эту область горной науки Ю.М. Бирюков [2011], техногенной газодинамике), особенно — отечественной, представления о причинах (действующих факторах) и механизме подготовки и протекания внезапных газодинамических выбросов все еще предположительны и неоднозначны. Одна из причин такого положения состоит в трудности постановки модельных экспериментов, которые позволили бы осуществить проверку различных представлений в этой области.

Между тем, природа продемонстрировала недавно спонтанный (самопроизвольный) взрывоподобный направленный преимущественно поверхностный и близповерхностный внезапный газопородный (газоледокаменный) газодинамический выброс огромной силы (величины выделившейся энергии), не оставляющий никаких сомнений в характере вызвавших его причин и дающий некоторые основания для расшифровки особенностей механизма его протекания.

Происшедший 20 сентября 2002 г. взрывоподобный внезапный газодинамический выброс ледника Колка со всей очевидностью показал, что именно аномально высокое (сверхвысокое) пластовое давление свободных газов, скопившихся за газоупорным барьером (в подледниковом пространстве), значительное превышение газовым давлением величины локального геостатического давления, создаваемого этим барьером (ледником) и сил сцепления ледника с вмещающими породами (в том числе сил сmerzания ледника с боковыми ледниками-притоками), а не «разрушающее» горное давление и не сорбированный газ и другие формы его связанного состояния (как нередко полагают в горной механике) и, конечно, не вода в любом ее количестве (как обычно утверждают отечественные гляциологи) является основной причиной подготовки, запуска, проявления и постпароксизмального завершения внезапных газодинамических выбросов.

В наиболее явном виде проявившееся при поверхностном газодинамическом выбросе ледника Колка это заключение в полной мере справедливо как для поверхностных, так и для подземных внезапных газодинамических выбросов, как для газоледокаменных, так и для газугольных, газосоляных, газопесчаных и любых иных взрывоподобных внезапных газопородных выбросов, независимо от литологического типа (состава, структуры) и генезиса выбрасываемых пород.

Некоторая генетическая специфика установленных автором различных типов таких выбросов, в том числе газодинамических выбросов ледников, рассмотрена ранее [Бергер, 2008, с. 134-136].

Взрывоподобный внезапный газодинамический (газоледокаменный) выброс ледника Колка 20 сентября 2002 года имел эндогенный поствулканический характер.

Он произошел за счет энергии (энергетически-силового воздействия на ледник) огромного количества высоконапорных расширяющихся сжатых глубинных поствулканических природных газов, скопившихся непосредственно под ледником и продолжавших интенсивно поступать в экранированное ледником и боковыми породами ограниченное по объему подледниковое пространство вплоть до огромного по мощности газодинамического выброса ледника (а после выброса – непосредственно в атмосферу).

Такова причина катастрофического пароксизмального взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка и вызванной этим выбросом гигантской Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы.

Как и обычно при внезапных газодинамических выбросах особенно большой мощности, после удаления газопорного барьера со свободной (открытой) поверхностью интенсивное поступление высоконапорных глубинных природных газов, сопровождавшееся их поверхностным выделением в атмосферу, продолжалось в эпицентре катастрофы (в тыльной зоне открывшегося ложа ледника Колка) и вблизи от него в течение длительного времени и на постпароксизмальном этапе завершения газодинамического выброса, со всей очевидностью указывая на основной действующий природный фактор, «рабочее тело», энергетически-силовое воздействие которого на ледник Колка обусловило и вызвало выброс ледника и всю связанную с этим природную катастрофу. И лишь в последующем, по мере истощения и исчерпания запасов глубинных газов в данном районе, а также уменьшения величины их пластового давления, концентрированные (струйные) поверхностные газовыделения в эпицентральной зоне катастрофы постепенно приобрели затухающий характер, а затем прекратились.

Заклучение о газодинамическом характере внезапного выброса ледника Колка и соответствующих причинах и механизме его протекания подтверждается всеми фактами, характеризующими особенности его проявления и оставленные им следы, частично рассмотренные в предшествующих работах автора [Бергер, 2012а, б, 2015а и др.]. Именно весьма различная, в том числе исключительно высокая степень диспергирования выброшенного материала, особенности формы полости выброса, в частности, ее плоскодонный характер, своеобразие акустического, сейсмического и светового сопровождения выброса, проявление огромной по интенсивности ударной воздушной волны, заброс значительного количества ледово-каменного материала высоко на скалы и другие признаки однозначно свидетельствуют об огромном по мощности (величине выделившейся энергии) взрывоподобном газодинамическом характере этого выброса.

С другой стороны, нет ни одного относящегося к этому событию факта, который противоречил бы такому заключению или не мог быть объяснен в рамках такого заключения.

Таким образом, идентификация геодинамического типа Колкинской катастрофы в эпицентральной зоне ее проявления в качестве пароксизмального взрывоподобного направленного поствулканического внезапного газодинамического выброса ледника Колка подтверждается всеми весьма многочисленными ее особенностями, является вполне доказанной и вообще единственно возможной.

В соответствии с таким определением, Колкинская катастрофа 2002 г. и подобные ей в генетическом плане и по особенностям проявления ледниковые катастрофы представляют собой новый, ранее (до 2002 г.) неизвестный геодинамический тип чрезвычайно опасных пароксизмальных эндогенных природных катастроф поствулканического (или постмагматического) газодинамического генезиса.

Что касается конкретных деталей механизма этого выброса, то их невозможно наблюдать или реконструировать по оставленным следам, и естественно принять теоретические, основанные на многочисленных фактах представления И.М. Петухова, А.М. Линькова (частично приведенные в качестве эпиграфов в этой работе), а также В.И. Николина, Ю.М. Бирюкова, А.Э. Петросяна и некоторых других авторов в данной области как наиболее разработанные и обоснованные для внезапных газодинамических выбросов в целом.

Пароксизмальные взрывоподобные газодинамические выбросы ледников, судя по оставленным ими следам, неоднократно происходили на Земле, в том числе на Кавказе, и ранее, но установить, правильно диагностировать их, определить их газодинамическую природу, выявить их механизм и причины, обнаружить, идентифицировать их геодинамические аналоги удалось лишь после гигантской катастрофы 2002 г. с эпицентром на леднике Колка, следы которой проявились на огромной территории и лишь немного не дошли до пригородов Владикавказа.

Неоднократно происходили в прошлом, безусловно, и газодинамические выбросы ледника Колка, история развития которого относительно известна лишь с 1752 г. [Рототаев и др., 1983; Панов, 1993; Бергер, 2007, 2008; и др.], а в гораздо большей части остается неизвестной, а, несомненно, происходившие в ранней истории ледника события не имеют хотя бы приблизительной датировки. Об этом свидетельствуют, в частности, «следы ледниковой обработки высоко на скалах в ущелье Колки» [Рототаев и др., 1983, с. 17], на которые обратил внимание К.П. Рототаев во время его рекогносцировочных исследований еще в 1954-1955 гг. и которые в течение полувека не имели объяснения. (Само собой разумеется, что эти следы не являются следами водных потоков, всюду усматриваемых гляциологами.)

Заключение

Изучение природных газодинамических явлений (одно из очевидных проявлений которых представляют собой взрывоподобные направленные выбросы ледников), диагностике (идентификации) их геодинамического типа, установлению их причин, расшифровке механизма их подготовки, запуска, протекания и завершения уделяется пока явно недостаточное внимание. В некоторых случаях в течение весьма длительного времени остается не выявленной даже сама газодинамическая (и эндогенная) их природа, а все весьма специфические характерные признаки этих явлений необоснованно и ошибочно приписываются действию («объясняются» действием) воды, а также гравитационного, обвально-ударного, сейсмотектонического или иных факторов.

Именно так в течение уже более ста лет было (и в значительной мере продолжает оставаться) с изучением взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледника Колка 3 и 6 июля 1902 г., Девдоракских (Казбекских) катастроф 1776 и 1832 гг., на Кавказе, в Закавказье, в Южно-Американских Андах, Северо-Американских Кордильерах и, безусловно, во многих других случаях.

Именно так происходит и с настойчиво предлагаемыми гляциологическими (гляциодинамическими, гидрогляциодинамическими, гидравлическими, селевыми и др.) объяснениями Колкинской катастрофы 2002 г.

Согласно теории внезапных газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1976, 1978, 1983; Петросян и др., 1978, 1983; Бирюков, 2011; и др.; Evans et al., 2009; Klimes et al., 2009; Mark et al., 2017; Sibson et al., 2015; Zaalishvili et al., 2014], важнейшим условием возникновения таких выбросов является «наличие достаточной потенциальной энергии (в первую очередь газа), чтобы не только совершать работу разрушения, но и придать смеси скорость, обеспечивающую движение потока [Петухов, Линьков, 1983, с. 267].

На всех этапах подготовки гигантской природной Колкинской катастрофы, пароксизмального взрывоподобного ее протекания и постпароксизмального завершения очень мощно проявилось определяющее, управляющее действие именно газового фактора (огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических газов), вызвавших эту катастрофу и обусловивших, определивших многочисленные совершенно уникальные ее особенности (впрочем, при всех гигантских масштабах их проявления, весьма характерные, типичные именно для газодинамических явлений).

Вышеизложенное позволяет лишь отчасти очертить круг вопросов, с которыми неизбежно соприкасается теория развития пульсирующих ледников в той ее части, в которой она затрагивает выбросоопасные (газовыбросоопасные) ледники и проявляющиеся в ходе их развития грандиозные пароксизмальные ледниковые катастрофы – взрывоподобные направленные газодинамические внезапные выбросы ледников, одним из которых был катастрофический внезапный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. Многие из этих выбросов, как видим, далеко выходят за рамки традиционной динамической гляциологии и, в целом, классической географии.

Газодинамическая природа, мощное энергетически-соловое воздействие огромного количества высоконапорных глубинных природных газов – основное, что сближает взрывоподобный направленный поствулканический выброс ледника Колка с направленными вулканическими взрывами при всех весьма значительных различиях между ними, подчеркивая, безусловно, эндогенный характер, газодинамическую причину Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы.

В геодинамической системе (мега-системе) ледника Колка, включающей, помимо ледника и области его питания, его корово-мантийный флюидосодержащий литосферный субстрат, на некоторых этапах развития, очевидно, реализуется также случай, когда давление глубинных флюидов, в том числе газовое давление, в подледниковом пространстве является недостаточным для газодинамического выброса ледника, но достаточным для существенного изменения его напряженно-деформированного состояния и нарушения его механической устойчивости (с учетом величины набранной ледником массы и уклона ледника). Это приводит к быстрой подвижке ледника, которая, в зависимости от указанных и, возможно, некоторых других факторов, может характеризоваться различными параметрами, прежде всего, различными величинами скорости, дальности и продолжительности движения льда.

Этот круг вопросов, очень важный и принципиально новый в изучении, безусловно, не только ледника Колка, но и других пульсирующих ледников, заслуживает отдельного рассмотрения.

Литература

1. Бергер М.Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. – М.: КомКнига, 2007. – 120 с.
2. Бергер М.Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 264 с.
3. Бергер М.Г. О воронке выброса ледника Колка. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2012а. – №2. – С. 55–64.
4. Бергер М.Г. О некоторых следах, оставшихся на месте ледника Колка, как показателях характера Колкинской катастрофы 2002 года. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2012б. – №4. – С. 75–85.
5. Бергер М.Г. О проявлении ударной воздушной волны при взрывоподобном внезапном газодинамическом выбросе ледника Колка 20 сентября 2002 г. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2015а. – №2. – С. 76–85.
6. Бергер М.Г. Газогляциодинамика – новая область исследований ледников и связанных с ними эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2015б. – №4. – С. 18–46.
7. Бергер М.Г. Некоторые общие вопросы изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2016. – №1. – С. 5–37.
8. Бирюков Ю.М. Техногенная газодинамика. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. – 159 с.
9. Иванов Б.М. Современные представления о классификации газодинамических явлений в угольных шахтах. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – С. 153–167.
10. Николин В.И., Меликсетов С.С., Беркович И.М. Выбросы породы и газа. – М.: Недра, 1967. – 81 с.
11. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 432 с.
12. Петросян А.Э., Яновская М.Ф., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Исследование процессов возникновения внезапных выбросов угля и газа. – М.: Наука, 1978. – 112 с.
13. Петросян А.Э., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Теория внезапных выбросов. – М.: Наука, 1983. – 152 с.
14. Петухов И.М., Линьков А.М. Теоретические предпосылки предупреждения внезапных выбросов и мер борьбы с их вредными последствиями. // *Выбросы угля, породы и газа*. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 3–18.
15. Петухов И.М., Линьков А.М. Механизм развязывания и протекания выбросов угля (породы) и газа. // *Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа*. – М.: Недра, 1978. – С. 62–91.
16. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
17. Роготаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. – 169 с.
18. Evans S.G., Bishop N.F., Smoll L.F., Murillo P.V., Delaney K.B., Oliver-Smith A. A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970 // *Engineering Geology*. – 2009. – Sep. – Vol. 108. No.1-2. – Pp. 96-118.
19. Klimes J., Vilimek V., Omelka M. Implications of geomorphological research for recent and prehistoric avalanches and related hazards at Huascarán, Peru // *Natural Hazards*. – 2009. – Jul. – T. 50. No.1. – Pp. 193-209.
20. Mark B. G., French A., Baraer M., Carey M., Bury J., Young K.R., Polk M.H., Wigmore O., Lagos P., Crumley R., McKenzie J. M., Lautz L. Glacier loss and hydrosocial risks in the Peruvian Andes // *Global and Planetary Change*. – 2017. Dec. – Vol. 159. – Pp. 61-76.
21. Sibson R.H., McMoore J., Rankin R.H. Seismic pumping – a hydrothermal fluid transport mechanism // *Journ. Geol. Soc. London*. – 1975. – Vol. 131. – Pp. 653–659.
22. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Mel'kov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of Northern Caucasus // *Izvestiya-Physics of the Solid Earth*. – 2014. – Vol. 50. No.2. – Pp. 263-272.

References

1. Berger M.G. Three glaciodynamic movements and four gas-dynamic outbursts of the Kolka glacier. Little-known pages and discussion questions of the development history of a surging glacier. Moscow. KomKniga, 2007. 120 p. (In Russ.)
2. Berger M.G. The geodynamic system of the Kolka glacier and questions of prognosis and regulation of its development. Moscow. Publishing House LKI, 2008. 264 p. (In Russ.)
3. Berger M.G. About the Kolka glacier outburst funnel. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2012a. No. 2. pp. 55–64. (In Russ.)
4. Berger M.G. About some traces left on the site of the Kolka glacier, as indicators of the nature of the 2002 Kolka catastrophe. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2012b. No. 4. pp. 75–85. (In Russ.)
5. Berger M.G. On the manifestation of a shock air wave during an explosion-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2015a. No. 2. pp. 76–85. (In Russ.)
6. Berger M.G. Gas-glaciodynamics is a new research field of glaciers and associated endogenous natural processes of catastrophic level. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2015b. No. 4. pp. 18–46. (In Russ.)
7. Berger M.G. Some general questions of studying gas-dynamic and gas-glaciodynamic phenomena. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2016. No. 1. pp. 5–37. (In Russ.)
8. Biryukov Yu.M. Anthropogenic gas dynamics. Kaliningrad. Publishing House of FSBEI HPE “KSTU”, 2011. 159 p. (In Russ.)
9. Ivanov B.M. Modern views on the classification of gas-dynamic phenomena in coal mines. Mining informational and analytical bulletin. Thematic application “Security”. M. Publishing House of Moscow State University, 2005. pp. 153–167. (In Russ.)
10. Nikolin V.I., Meliksetov S.S., Berkovich I.M. Rock and gas outbursts. M. Nedra, 1967. 81 p. (In Russ.)
11. Panov V.D. The evolution of the modern glaciation in Caucasus. SPb. Gidrometeoizdat, 1993. 432 p. (In Russ.)
12. Petrosyan A.E., Yanovskaya M.F., Ivanov B.M., Krupenya V.G. Research of the occurrence processes of sudden emissions of coal and gas. M. Nauka, 1978. 112 p. (In Russ.)
13. Petrosyan A.E., Ivanov B.M., Krupenya V.G. Theory of sudden emissions. M. Nauka, 1983. 152 p. (In Russ.)
14. Petukhov I.M., Lin'kov A.M. Theoretical background for the prevention of sudden outbursts and measures to eliminate their harmful effects. Outbursts of coal, rock and gas. Kiev. Naukova Dumka, 1976. pp. 3–18. (In Russ.)
15. Petukhov I.M., Lin'kov A.M. The mechanism of unleashing and the outburst flow of coal (rock) and gas. Fundamentals of the sudden outburst theory of coal, rock and gas. M. Nedra, 1978. pp. 62–91. (In Russ.)
16. Petukhov I.M., Lin'kov A.M. Mechanics of rock bumps and outbursts. Moscow. Nedra, 1983. 280 p. (In Russ.)
17. Rototaev K.P., Khodakov V.G., Krenke A.N. Exploration of the surging Kolka glacier. Moscow. Nauka, 1983. 169 p. (In Russ.)
18. Evans S.G., Bishop N.F., Smoll L.F., Murillo P.V., Delaney K.B., Oliver-Smith A. A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. *Engineering Geology*. 2009. Sep. Vol. 108. No.1-2. pp. 96-118.
19. Klimes J., Vilimek V., Omelka M. Implications of geomorphological research for recent and prehistoric avalanches and related hazards at Huascarán, Peru. *Natural Hazards*. 2009. Jul. Vol. 50. No.1. pp. 193-209.
20. Mark B. G., French A., Baraer M., Carey M., Bury J., Young K.R., Polk M.H., Wigmore O., Lagos P., Crumley R., McKenzie J. M., Lutz L. Glacier loss and hydrosocial risks in the Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*. 2017. Dec. Vol. 159. pp. 61-76.
21. Sibson R.H., McMoore J., Rankin R.H. Seismic pumping – a hydrothermal fluid transport mechanism. *Journ. Geol. Soc. London*. 1975. Vol. 131. pp. 653–659.
22. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Mel'kov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of Northern Caucasus. *Izvestiya-Physics of the Solid Earth*. 2014. Vol. 50. No.2. pp. 263-272.