ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24 (234.9)
DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26785

О специфике газогляциодинамических явлений

М. Г. Бергер, д. г.-м. н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler. ru

Аннотация: Известно уже довольно большое число пароксизмальных катастрофических ледниковых пульсаций гигантского масштаба и направленного взрывоподобного характера в их эпицентральных зонах. Такие пульсации при любых предположениях и допущениях никак не укладываются в рамки традиционных представлений динамической гляциологии (и, в целом, классической географии) и не могут быть ни объяснены, ни предсказаны в рамках этих представлений, на их основе. Эти явления, с учетом ярко выраженных их особенностей (огромная по интенсивности ударная воздушная волна, исключительно большие скорости субгоризонтального перемещения ледниково-каменного материала, молниеносность проявления, весьма различная, в том числе исключительно высокая степень измельчения выброшенного материала, образование гигантских навалов ледово-каменного материала на многокилометровом удалении от первичного его местонахождения и пр.), наиболее точно идентифицируются как внезапные газодинамические выбросы ледников. Согласно историческим данным катастрофических обвалов ледника Колка с 1752 г. зафиксировано по 5 случаев разномасштабных выбросов, природа которых считалась гляциодинамической на основе удара по основному леднику обрушившихся сверху ледовых масс и резкое изменение его массобаланса. Анализ процесса подготовки, протекания катастрофических выбросов и продолжающихся посткатастрофических явлений на месте бывшего ледника (фумаролы, «муравьиные кучи», газовыделения) дает основание полагать, что гляциодинамика сама по себе за счет изменения массобаланса или механического воздействия обрушающихся ледовых масс в условиях группы ледников Казбекского вулканического центра не определяет критические условия для катастрофического выброса ледника. Такие условия могут возникнуть при определенных геодинамических условиях, включающих сейсмический, тектонический, геотермальный (за счет поствулканических процессов или магматических внедрений) факторы.

Ключевые слова: газогляциодинамические явления, газогляциодинамика, пароксизмальные катастрофические пульсации ледников, внезапные взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников, особенности (признаки), причины, примеры, ледник Колка, Колкинская (Кармадонская) катастрофа, Уаскаран.

Для цитирования: Бергер М. Г. О специфике газогляциодинамических явлений //*Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 17-28. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26785.

На каждом шагу, во всех, окружающих нас явлениях на земной поверхности мы сталкиваемся с исключительной важностью природных газов, обусловливающих и химические, и физические процессы земной коры.

В. И. Вернадский

Наука непрерывно кует новое материальное и духовное оружие, позволяющее ей преодолевать встающие на пути ее развития трудности, открывать для исследования неразведанные области.

Л. де Бройль

Выражение «новое явление» я прилагаю к такому физическому явлению, которое нельзя ни полностью предсказать, ни объяснить на основе уже имеющихся теоретических концепций, и поэтому они открывают новые области исследований.

П.Л. Капица

…Мы спустились в Колку и достигли верхней, пологой части Майлийского ледника, пересеченной трещинами, и перешли через нее вплоть до правой, боковой морены. Везде видны были массы лавинного снега, а морены и склоны гор казались точно отполированными пронесшимся ураганом.

Н.В. Поггенполь – о Колкинской (Геналдонской) катастрофе 1902 г.

Ввведение

В плане раскрытия специфики газогляциодинамических явлений отметим, прежде всего, что при подготовке, проявлении и завершении во многих отношениях эталонного взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка в 2002 г. исключительно ярко и мощно проявились многочисленные весьма специфические природные явления, глубоко отличающиеся от гляциодинамических. Все они так или иначе генетически связаны с концентрированным пульсационным прорывом в данном районе огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических газов к земной поверхности и пароксизмальным взрывоподобным направленным газодинамическим выбросом ледника и, соответственно, имеют эндогенную газодинамическую исходную природу.

Фактический материал

Основными, наиболее характерными газогеодинамическими эффектами при подготовке, проявлении и завершении внезапного газодинамического выброса ледника Колка были:

1. Трещинно-обвальный, денудационно-аккумуляционный (эффект резкого снижения прочностных свойств горных пород в области питания ледника и связанное с этим резкое и продолжительное усиление интенсивности обвалов с г. Джимарайхох и ее восточных отрогов на ледник Колка).

2. Трещинно-инфильтрационный (эффект резкого возрастания проницаемости и, соответственно, значительного улучшения фильтрационных свойств горных пород в литосферном субстрате ледника и в сопредельной перигляциальной области).

3. Эффект интенсивного концентрированного прорыва потока огромного количества высоконапорных глубинных природных (преимущественно поствулканических) газов непосредственно под ледник и связанного с этим постепенного отжатия

ледника от его ложа и длительного устойчивого и увеличивающегося куполообразования на леднике, особенно в левой (северной) части его тыльной зоны (эффект газового домкрата).

4. Предкатастрофический эффект поверхностных струйных газовыделений (фумарол) в приледниковой зоне обвалов.

5. Взрывоподобный внезапный направленный газодинамический выброс ледника, сопровождавшийся разрушением ледника от его внешней поверхности до основания, гигантской по силе ударной воздушной волной, газовым ускорением выброшенного ледово-каменного материала в ближней эпицентральной зоне выброса, инерциальным разлетом ледово-каменного материала продуктов разрушения ледника под действием запасенной этим материалом при выбросе кинетической энергии.

Это основное пароксизмальное катастрофическое событие в эпицентральной зоне катастрофы обобщенно может быть названо *газодинамической аннигиляцией ледника* (в зарубежных публикациях в данном случае часто говорят о коллапсе ледника, не указывая, однако, сколько-нибудь определенно и, главное, доказательно причину и механизм этого коллапса).

6. Посткатастрофический эффект поверхностных струйных газовыделений (фумарол) в эпицентральной зоне выброса и вблизи от нее.

Из числа признаков газодинамического выброса ледника, следы которых длительно сохраняются в геологической летописи, отметим, прежде всего, штриховку, шлифовку и полировку горных пород как признак газогляциодинамической и газолитодинамической обработки их обнаженных поверхностей в эпицентральных зонах. При этом следует учесть, прежде всего, крайнюю скоротечность, непродолжительность обработки, многократность ее повторения (пульсационный характер) и очевидное участие относительно твердого материала в качестве абразива, а также, безусловно, газовоздушный характер несущей среды.

Выдающийся исследователь ледника Колка и других ледников различных горных областей мира К. П. Рототаев, посвятивший многие годы детальному изучению этого ледника, еще в 1954-1955 гг. обратил внимание на «следы ледниковой обработки высоко на скалах в ущелье Колки» [Рототаев и др., 1983, с. 17]. Эти следы обусловлены, конечно, предшествующими взрывоподобными газодинамическими выбросами ледника Колка, а не «частыми и мощными селями», о которых К. П. Рототаев пишет на той же странице (и, разумеется, не подвижками этого ледника типа подвижки 1969-1970 гг. при всех ее аномально крупных параметрах).

По-видимому, о таких же следах ледниковой обработки (шлифовки) «серого гранита» в Девдоракском ущелье пишет Б. И. Статковский [1887, с. 31, подстрочное примечание], по заключению которого «эта шлифовка могла произойти от действия завалов (так Б. И. Статковский именует выбросы ледника. – *М. Б.*), так как они («толщи серого гранита, который отшлифован». – *М. Б.*) находятся на значительной высоте над дном оврага».

Подобная ледниковая обработка высоко расположенных над ледником скал также может служить одним из важных диагностических признаков современных и палеогазогляциодинамических явлений.

Аналогичные следы Колкинской (Геналдонской) катастрофы 1902 г., установленные Н. В. Поггенполем [1905],отмечены в его описании, приведенном выше в качестве одного из эпиграфов к данной работе.

Существуют, безусловно, и многие другие, в том числе длительно сохраняющиеся в геологической летописи, признаки гигантских газогляциодинамических катастроф.

Выявление, детальное описание, систематизация и объяснение таких признаков – исключительно важная задача газогляциодинамики – новой области исследований в науках о Земле.

Известно уже довольно большое число пароксизмальных катастрофических ледниковых пульсаций гигантского масштаба и непосредственно пространственно, хронологически (когерентно) и генетически (или парагенетически) связанных с ними природных явлений экстраординарного характера, происходящих в гляциальной и перигляциальной зонах, которые при любых предположениях и допущениях никак не укладываются в рамки традиционных представлений динамической гляциологии и не могут быть ни объяснены, ни предсказаны в рамках этих представлений, на их основе.

К числу подобных аномальных и «внеурочных» событий в горно-ледниковых областях относятся не только не имеющая гляциологического объяснения совершенно неожиданная катастрофическая пульсация ледника Колка 20 сентября 2002 года, приведшая к гигантской катастрофе в Геналдонском ущелье, но и так и не получившие гляциологического объяснения принципиально аналогичные катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 3 и 6 июля 1902 года и в1752 году, по крайней мере, некоторые катастрофические пульсации («обвалы», «завалы», «выносы») Девдоракского и других ледников Казбекской группы (прежде всего, ледника Абано в 1909 и 1910 гг.), г. Арарат 20 и 24 июня 1840 г., г. Уаскаран (Перу) 10 января 1962 г. и 31 мая 1970 г., г. Рейнир (ледник Эммонс) на северо-западе США (Каскадные горы, штат Висконсин) 14 декабря 1963 г., катастрофа на леднике Шерман (Чугачские горы, Аляска, США) в 1964 г., и некоторые другие [Evans, 2009; Klimes et al., 2009; Mark et al., 2017; Zaalishvili et al., 2014a,b, 2015, 2018].

Подобные явления, с учетом установленной (с различной степенью доказательности в каждом конкретном случае) их природы, особенностей, причин и условий их проявления, автор [Бергер, 2006б] назвал *газогляциодинамическими*.

Основными движущими силами этих явлений, определяющими их наиболее характерные особенности, являются испытываемые ледниками механические воздействия, вызываемые восходящей струйной миграцией и накоплением под ледниками огромных количеств высоконапорных глубинных природных газов и их пульсационно возрастающим давлением в подледниковом пространстве, вплоть до превышения давлением газа геостатического давления ледника и сил сцепления ледника с вмещающими породами (в том числе сил смерзания с боковыми ледниками-притоками).

Открытие такого, нового типа природных явлений, их гигантский катастрофический уровень, вполне соизмеримый по некоторым важнейшим параметрам (величине выделившейся энергии, количеству перемещенного материала и скорости его перемещения) с катастрофическим уровнем крупнейших природных катаклизмов (в частности, вулканических извержений), исключительная специфичность особенностей протекания, безусловная несводимость природы этих явлений к собственно гляциальной (фактическая антиподальность этих явленийпо их особенностям и результатам, механизму протекания и вызывающим их причинам гляциодинамиче-

ским подвижкам) – важнейшие и достаточные основания для выделения таких явлений в качестве объектов новой области исследований в науках о Земле, названной автором [Бергер, 2006б, 2007а, б] *газогляциодинамикой*.

Причинно-следственные связи газовыбросоопасной ситуации

Катастрофические пульсации горных ледников типа Колкинской катастрофы 2002 года, по диагностическому определению (идентификации) автора, представляют собой огромные по силе (величине выделившейся энергии) взрывоподобные внезапные газодинамические выбросы ледников, всегда имеющие направленный характер в силу склонового, наклонного залегания ледников. При этом имеется в виду *преобладающее* направление движения *основного количества* выбрасываемого ледникового материала. Что же касается нередких настойчивых утверждений Н.И. Осокина и других гляциологов об *однонаправленном* движении *всей выброшенной массы* ледника Колка вниз по уклону долины, то они не соответствуют действительности и являются грубым искажением имеющихся в данной области фактов с целью отрицания доказательств газодинамической природы Колкинской катастрофы и доказательства основной роли воды в этой катастрофе в ее эпицентре. Однако доказательства газодинамической природы Колкинской катастрофы слишком многочисленны, однозначны и неоспоримы.

Весьма специфичны и причины, совокупность которых может привести к возникновению газовыбросоопасной ситуации на леднике. По данному поводу высказано немало необоснованных утверждений, требующих прояснения.

После предыдущей пароксизмальной газогляциодинамической катастрофы (двукратного частичного газодинамического выброса ледника Колка) 3 и 6 июля 1902 года и последующего восстановления, продолжавшегося в течение примерно 25 лет [Рототаев и др., 1983; Бергер, 2007а, с. 73] (или, скорее, несколько более), и обретения ледником свойств непроницаемого (газоупорного) барьера (на что предположительно потребовалось еще около 25 лет [Бергер, 2007а, с. 82]) ледник Колка просуществовал в качестве закрытой (или, по определению автора [Бергер, 2007б, с. 196], полуоткрытой) природной системы до следующего катастрофического внезапного газодинамического выброса ледника в 2002 г. всего около 50 лет. (В течение этого промежутка времени в 1969-1970 гг. произошла аномально крупная по масштабам быстрая подвижка ледника Колка, которая, однако, как показал К.П. Рототаев [Рототаев и др., 1983, с. 39-42] (см. также [Бергер, 2008, с. 58-65]), не сопровождалась нарушением высокой степени сплошности вязкопластичного «ядра» ледника Колка, его основной нижней (несущей) части и, таким образом, не привела даже к временному превращению этой природной системы в открытую.)

В течение всего этого времени природные газы, естественно, могли диффундировать, а также мигрировать фильтрационным путем и накапливаться под газонепроницаемым барьером ледника Колка. Одновременно возрастала и величина газового давления в подледниковом пространстве. Некоторые доказательства и возможные следствия проявления этих процессов, выразившиеся в трансформации динамического состояния ледника в это время, рассмотрены в работе [Бергер, 2007б, с. 44-46 и с. 73-75]. Возможность длительного (в течение нескольких десятков и даже гораздо большего количества лет) существования подобной «закрытой» природной системы не может вызывать никаких сомнений.

Однако ни количество природных газов в этой системе, ни интенсивность их поступления, ни величина газового давления, ни скорость ее возрастания до сентября 2002 г. не были столь значительными, чтобы вызвать внезапный газодинамический выброс ледника.

И лишь в сентябре 2002 г., в результате продолжавшегося в течение нескольких недель пароксизмального исключительно мощного и интенсивного концентрированного струйного прорыва потоков высоконапорных глубинных, преимущественно поствулканических, природных газов в подледниковое пространство ледника Колка, отмеченные параметры достигли критических для данной геодинамической системы значений и, по-видимому, существенно превысили их, что, естественно, и привело к огромному по интенсивности взрывоподобному внезапному газодинамическому выбросу ледника Колка со всеми сопровождающими такой выброс катастрофическими природными явлениями.

Разумеется, далеко не любые природные условия благоприятны для миграции и аккумуляции природных газов и возникновения аномально высоких пластовых давлений (АВПД) газов в их скоплениях. Однако наличие разломных трещинно-разрывных зон и других участков повышенной проницаемости земной коры, наличие узлов их пересечения, являющихся каналами наиболее интенсивной восходящей миграции высоконапорных глубинных природных газов, наличие мощных глубинных источников поступления природных газов по этим каналам, наличие трещинных и других коллекторов и перекрытие (экранирование) их газоупорной ледниковой покрышкой, препятствующей вертикальной разгрузке газоподводящих каналов непосредственно в атмосферу, – наличие всех этих условийв геодинамической системе ледника Колка и его литосферного субстрата представляет собой практически полную совокупность исключительно благоприятных условий, необходимых и достаточных для интенсивного газонакопления и возникновения АВПД природных газов в подледниковом пространстве ледника Колка, что требуется для подготовки, запуска и проявления взрывоподобного газодинамического выброса ледника (см. также [Бергер, 2007б, с. 191 и далее; Бергер, 2008, с. 36-37].

Что касается коллекторов и резервуаров для подледникового накопления глубинных природных газов, то, как известно в нефтегазовой геологии, ими в значительной мере могут служить сами трещиноватые породы зон повышенной проницаемости земной коры в пределах газоподводящих каналов, обладающие значительным по объему пустотным (емкостным) пространством, перекрытые газоупорной покрышкой и располагающиеся в пределах низкопроницаемых толщ (ограниченные низкопроницаемыми породами по латерали). Совместное выполнение этих условий, отвечающее геологическому строению и литологии района ледника Колка, препятствует не только вертикальной, но и латеральной разгрузке газовых скоплений в этих коллекторах и, соответственно, благоприятствует возникновению и возрастанию АВПД природных газов в их скоплениях. На завершающем этапе подготовительной стадии газодинамического выброса ледника это сопровождалось отрывом и отжатием ледника от его ложа, проявлением эффекта газового домкрата [Бергер, 2007б], куполообразованием в северной части тыльной зоны ледника, сохранявшимся без признаков оттока льда до момента выброса [Тутубалина и др., 2005], и предполагаемым [Бергер, 2007б, с 54, Бергер, 2008, с. 37 и 45.] достаточно вероятным образованием непосредственно под ледником силлоподобной (пласто-

вой) газовой залежи с аномально высоким и пульсационно возраставшим пластовым давлением природных газов.

С учетом изложенного, совершенно очевидно, что в сентябре 2002 г. существовали все необходимые условия для подготовки и проявления взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка.

Важнейшее из этих условий – непроницаемый (газоупорный) ледниковый барьер и, соответственно, возможность образования под ним скопления природных газов с аномально высоким и пульсационно быстро возрастающим пластовым давлением – в настоящее время отсутствует. Это, естественно, делает невозможным повторение подобной катастрофы на леднике Колка в настоящее время и в ближайшие несколько десятилетий.

Существенной является роль высоконапорных глубинных природных газов и при запуске катастрофического газодинамического выброса ледника, когда особое значение приобретают условия, определяющие скорость прорастания трещин в экранирующем газовое скопление с АВПД газоупорном материале со свободной поверхностью [Петухов, Линьков, 1983; Хеллан, 1988; Коваленко, 1988; и др.].

Как показал, в частности, К. Хеллан [1988, с. 158], *присутствие газа под большим давлением в замкнутом объеме при наличии начальных трещин может привести к совершенно другим последствиям, нежели присутствие воды* (курсив мой. – *М. Б.*). Именно в присутствии сжатого высоконапорного газа скорость движения трещины может оказаться больше скорости звука (и, соответственно, разрушение – практически мгновенным). «Это означает, – пишет К. Хеллан, – что давление у вершин трещины будет поддерживаться постоянным. Вследствие этого разрушение будет быстрым или даже катастрофическим».

Роль газа в проявлении газодинамических выбросов

Постоянно подчеркивая исключительно большую роль газа в проявлении газодинамических выбросов, И. М. Петухов и А. М. Линьков [1983, с. 246], в частности, пишут: «Наличие и участие газа определяет особенности в их протекании. Для механизма выброса весьма существенна роль газа в процессе отделения и выноса частиц, обусловливающая в значительной степени специфические черты выбросов…». Для газодинамических выбросов именно «газ представляет источник силы и энергии»[Петухов, Линьков, 1983, с. 268, подстрочное примечание]. В этой же работе отмечается, что при развитии газодинамического выброса «газ теряет на отрыв (т. е. на отделение частиц выбрасываемого материала от свободной поверхности массива. – *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»[Петухов, Линьков, 1983, с. 147].

Одним из основных условий, необходимых для стихийного поверхностного проявления газодинамического выброса, реализовавшимся, совместно с другими необходимыми для этого природными условиями, 20 сентября 2002 г. на леднике Колка, является наличие и поверхностное залегание в пределах локального участка земной коры практически газонепроницаемой достаточно прочной ледниковой покрышки (перекрытой разве что небольшой по толщине поверхностной мореной), когда необходимое для разрушения ледника по механизму гидроразрыва эффектив-

ное газовое давление l_eсущественно больше по величине эффективного газового давления l_G (в обозначениях У. Файфа и др. [1981, с. 281]), необходимого для преодоления локального геостатического давления ледниковой толщи и сил ее сцепления с вмещающими породами.

В подавляющем же большинстве случаев в природе реально достигаемая величина пластового газового давления в подледниковом пространстве существенно меньше, чем это необходимо как для разрыва, так и для выброса ледника.

Однако в результате периодически происходящей значительной интенсификации пульсационной газовой поствулканической деятельности в районе ледника Колка в некоторых случаях такое положение нарушается, и тогда происходит катастрофический взрывоподобный газодинамический выброс ледника.

В геодинамической системе ледника Колка и, конечно, не только этого ледника, на некоторых этапах развития реализуется также случай, когда давление глубинных флюидов, в том числе газовое давление, в подледниковом пространстве является недостаточным для гидроразрыва или газодинамического выброса ледника, но достаточным для существенного изменения его напряженно-деформированного состояния и нарушения его реологической и, в целом, механической устойчивости (с учетом величины набранной ледником массы и уклона ледника).

Это приводит к *быстрой подвижке* ледника, которая, в зависимости от перечисленных и, возможно, некоторых других факторов, может характеризоваться различными параметрами, прежде всего, различными величинами скорости, дальности и продолжительности движения льда.

Заключение

С открытием газогляциодинамических явлений – внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников [Бергер, 2003, 2004а, б, 2006а, б, 2007а, б и др.], установлением их специфики, расшифровкой механизма их протекания, вызывающих их причин, важнейших особенностей их подготовки, проявления и завершения (диагностических признаков) теория развития пульсирующих ледников приобретает существенно большую завершенность и полноту, распространяясь на еще один очень важный класс явлений динамической нестабильности ледников.

Одновременно становится ясным, что теория, охватывающая все типы явлений динамической нестабильности ледников, не может ограничиваться традиционными рамками динамической гляциологии и, в целом, классической географии.

Помимо этого, достаточно очевидной становится возможность и реальность существенного эндогенного газодинамического и, в целом, флюидодинамического воздействия на ледники в ходе подготовки и проявления не только пароксизмальных взрывоподобных ледниковых катастроф, но и значительно более распространенных ледниковых пульсаций классического типа. Это также должно найти отражение в теории развития пульсирующих ледников.

Что же касается исследований газогляциодинамических явлений, то они на современном этапе ограничиваются, в основном, изучением, расшифровкой и объяснением особенностей (во многом уникальных, совершенно экстраординарных) и диагностикой (идентификацией) этих явлений.

И лишь со временем, по мере накопления достаточного количества эмпирических данных в этой области и привлечения к исследованиям широкого круга спе-

циалистов, возникнет возможность решения многих исключительно важных вопросов газогляциодинамики. Имеются основания думать, что в этой области наука, наконец-то, выходит на правильный путь.

С учетом грандиозных масштабов и катастрофических последствий газогляциодинамических явлений, при всей сравнительно редкой их повторяемости, исследования в этой области имеют исключительно большое научное и прикладное значение и должны занять достойное место среди исследований наиболее крупных опасных эндогенных природных явлений, наряду с изучением, в частности, сейсмических и вулканических явлений катастрофического уровня.

Литература

1. Бергер М. Г. О характере природной катастрофы 20 сентября 2002 г. на леднике Колка // Сборник научных трудов Северо-Осетинского отделения АН ВШ РФ. № 1 (I). Владикавказ: Терек, 2003. С. 16-17.

2. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – новое катастрофическое природное явление // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Изд-во «РЕМАРКО», 2004а. С. 4-5.

3. Бергер М. Г. Природа процессов автоколебательного развития пульсирующего ледника Колка // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы и перспективы интеграции науки и образования: Материалы VМеждународной конференции 21-23 сентября 2004 г. – Владикавказ: Терек, 2004б. – С. 248-251.

4. Бергер М. Г. Природная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ – Москва, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Изд-во Олимп, 2006а. – С. 41-49.

5. Бергер М. Г. Газогляциодинамические явления – новый тип катастрофических природных явлений // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Юбилейный выпуск. – Владикавказ: Терек, 2006б. – С. 260-266.

6. Бергер М. Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. – М.: КомКнига, 2007а. – 120 с.

7. Бергер М. Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007б. – 248 с.

8. Бергер М. Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 264 с.

9. Коваленко Ю. Ф. Механическое поведение тел с газонаполненными трещиновидными неоднородностями // Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Наука, 1988. – С. 101-117.

10. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.

11. Поггенполь Н. В. По северным долинам Казбекского массива и первое восхождение на Майли-хох // Ежегодник Русского горного общества. 1903. – М. – 1905. – Вып. III. – С. 1-37.

12. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. – 169 с.

13. Статковский Б. И. О причинах происхождения Казбекского завала. – Тифлис. – 1887. – 64 с.

14. Тутубалина О. В., Черноморец С. С., Петраков Д. А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. – 2005. – Т. IX. № 4. – С. 62-71.

15. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. – М.: Мир, 1981. – 436 с.

16. Хеллан К. Введение в механику разрушения. – М.: Мир, 1988. – 364 с.

17. 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 Huascaran, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970 // Engineering Geology. – 2009. – Sep. – Vol. 108, No. 1-2. – Pp. 96-118.

18. Klimes J., Vilimek V., Omelka M. Implications of geomorphological research for recent and prehistoric avalanches and related hazards at Huascaran, Peru // Natural Hazards. – 2009. – Jul. – T. 50, № 1. – C. 193-209.

19. 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 hydro-social risks in the Peruvian Andes // Global and Planetary Change. – 2017. Dec. – Vol. 159. – Pp. 61-76.

20. 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. – 2014a. – Vol. 50, № 2. – Pp. 263-272.

21. Zaalishvili V. B., Mel'kov D. A. Reconstructing the Kolka surge on September 20, 2002 from the instrumental seismic data // Izvestiya-Physics of the Solid Earth. – 2014b. – Vol. 50, No. 5. – Pp. 707-718.

22. Zaalishvili V., Nevskaya N., Nevskii L., Shempelev A. Geophysical fields above volcanic edifices in the North Caucasus // Journal of Volcanology and Seismology. – 2015. – Vol. 9, No. 5. – Pp. 333-338.

23. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Dzeranov B. V., Morozov F. S., Tuaev G. E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center // International Journal of GEOMATE. – 2018. – Vol. 15, No. 47. – Pp. 158-163.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26785

About the specifics of gasglaciodynamics phenomena

M. G. Berger, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.

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

Abstract: A large number of paroxysmal catastrophic glacial pulsations of a huge scale and directional explosion-like nature in their epicentral zones are already known. Such pulsations under any suppositions and assumptions do not fit into the framework of traditional concepts of dynamic glaciology (and, in general, classical geography) and can neither be explained nor predicted within the framework of these ideas, on their basis. These phenomena, taking into account their pronounced features (a huge intensity air-blast, extremely high speeds of subhorizontal movement of the glacial-stone material, lightning speed of manifestation, quite different, including an exceptionally high degree of crushing of material, the formation of giant piles of ice-rock material at a multi-kilometer distance from its primary location, etc.) are most accurately identified as sudden gas-dynamic surge of glaciers.

According to the historical data of the Kolka glacier catastrophic collapses since 1752 five cases of multi-scale surges were recorded, the nature of which was considered to be glaciodynamic on the basis of the impact on the main glacier of ice masses breaking from above and a sharp change in its mass balance. Analysis of the preparation process, the behaviour of catastrophic surges and continuing post-catastrophic phenomena at the site of the former glacier (fumaroles, "sand cone", gas release) suggests that glaciodynamics itself, due to changes in mass balance or mechanical effects of breaking ice masses under the conditions of the Kazbek volcanic center, does not define critical conditions for a catastrophic glacier surge. Such situations can occur under certain geodynamic conditions, including seismic, tectonic, geothermal (due to postvolcanic processes or magmatic intrusions) factors.

Keywords: gasglaciodynamics phenomena, gasglaciodynamics, paroxysmal catastrophic pulsations of glaciers, sudden explosion-like directional gas-dynamic surge of glacier, features, reasons, examples, the Kolka glacier, the Kolka (Karmadon) disaster, Huascaran.

For citation: Berger M. G. About the specifics of gasglaciodynamics phenomena. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1):17-28. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26785.

References

1. Berger M. G. On the nature of the natural disaster on September 20, 2002 on the Kolka Glacier. Sbornik nauchnykh trudov Severo-Osetinskogo otdeleniya AN VSh RF. No. 1 (I). Vladikavkaz, Terek, 2003. pp. 16-17. (in Russ.)
2. Berger M. G. The gas dynamic surge of the Kolka glacier on September 20, 2002 – a new catastrophic natural phenomenon. Prevention of hazardous situations in highland areas: Abstracts of the International Conference. On 23-26 June 2004, Vladikavkaz, REMARKO, 2004. pp. 4-5. (in Russ.)
3. Berger M. G. The nature of the processes of self-vibration development of the pulsating glacier Kolka. Sustainable development of mountain territories: problems and prospects for the integration of science and education. Materials of the V International Conference on 21-23 September 2004. Vladikavkaz, Terek, 2004b. pp. 248-251. (in Russ.)
4. Berger M. G. The natural catastrophe on the Kolka Glacier on September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic discharge of the glacier. Prevention of hazardous situations in highland areas: Reports of the International Conference. On 23-26 June 2004, Vladikavkaz, Olimp, 2006a, pp. 41-49. (in Russ.)
5. Berger M. G. Gas-glacial dynamic phenomena – a new type of catastrophic natural phenomena. Proceedingsof the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University). Anniversary Issue. Vladikavkaz, Terek, 2006b. pp. 260-266. (in Russ.)
6. Berger M. G. Three glaciodynamic movements and four gas-dynamic outbursts of the Kolka glacier. Little-known pages and discussion questions of the history of development of the pulsating glacier. M. KomKniga, 2007a. 120 p. (in Russ.)
7. BergerM. G. Catastrophe of September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic outburst of the glacier. M.: Izd-vo LKI, 2007b. 248 p. (in Russ.)
8. Berger M. G. The geodynamic system of the Kolka glacier and the problems of prognosis and its regulating development. M. Izd-vo LKI, 2008. 264 p. (in Russ.)

9. Kovalenko Yu. F. Mechanical behavior of bodies with gas-filled crack-like inhomogeneities. Plasticity and destruction of solids. M. Nauka, 1988. pp. 101-117. (in Russ.)

10. Petukhov I. M., Lin'kov A. M. The mechanics of rock bursts and releases. M. Nedra, 1983. 280 p. (in Russ.)

11. Poggenpol' N. V. In the northern valleys of the Kazbek massif and the first ascent of Maili-Khokh. Yearbook of the Russian Mining Society. 1903. M. 1905. Issue III. pp. 1-37. (in Russ.)

12. Rototaev K. P., Khodakov V. G., Krenke A. N. Study of the pulsating glacier Kolka. M. Nauka, 1983. 169 p. (in Russ.)

13. Statkovskii B. I. About the reasons for the origin of the Kazbek dam. Tiflis. 1887. 64 p. (in Russ.)

14. Tutubalina O. V., Chernomorets S. S., Petrakov D. A. Glacier Kolka before the 2002 catastrophe: new data. Earth's Cryosphere, 2005. Vol. IX, No. 4. pp. 62-71. (in Russ.)

15. Faif U., Prais N., Tompson A. Fluids in the Earth's crust. – M.: Mir, 1981. 436 p. (in Russ.)

16. Khellan K. Introduction to fracture mechanics. M. Mir, 1988. 364 p. (in Russ.)

17. 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 Huascaran, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. Engineering Geology. – 2009. – Sep. – Vol. 108, No. 1-2. – Pp. 96-118.

18. Klimes J., Vilimek V., Omelka M. Implications of geomorphological research for recent and prehistoric avalanches and related hazards at Huascaran, Peru. Natural Hazards. – 2009. – Jul. – T. 50, № 1. – C. 193-209.

19. 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 hydro-social risks in the Peruvian Andes. Global and Planetary Change. – 2017. Dec. – Vol. 159. – Pp. 61-76.

20. 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. – 2014a. – Vol. 50, No 2. – Pp. 263-272.

21. Zaalishvili V. B., Mel'kov D. A. Reconstructing the Kolka surge on September 20, 2002 from the instrumental seismic data. Izvestiya-Physics of the Solid Earth. – 2014b. – Vol. 50, No. 5. – Pp. 707-718.

22. Zaalishvili V., Nevskaya N., Nevskii L., Shempelev A. Geophysical fields above volcanic edifices in the North Caucasus. Journal of Volcanology and Seismology. – 2015. – Vol. 9, No. 5. – Pp. 333-338.

23. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Dzeranov B. V., Morozov F. S., Tuaev G. E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. International Journal of GEOMATE. – 2018. – Vol. 15, No. 47. – Pp. 158-163.