ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24 (234.9)
DOI: 10.23671/VNC.2019.2.31973

К сопоставлению катастрофической пульсации (поствулканического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса) ледника Колка с субвулканическими процессами формирования и функционирования трубок взрыва (диатрем)

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: Существуют определенные аналогии в механизме проявления субвулканических, вулканических и поствулканических газодинамических процессов взрывного или взрывоподобного типа. По вполне достоверно зафиксированным многими исследователями особенностям их проявления, к последним из них относится взрывоподобный газодинамический выброс ледника Колка. Наиболее существенный элемент сходства между этими процессами состоит в их газодинамическом характере, участии в качестве основного рабочего тела в их проявлении природных газов, имеющих высокое, а на отдельных этапах сверхвысокое давление. Именно этот момент представляет наибольший интерес при изучении катастрофической пульсации ледника Колка, определении ее природы, идентификации ее геодинамического типа. Существование аналогий между пароксизмальным взрывоподобным выбросом ледника Колка и процессами формирования и функционирования субвулканических трубок взрыва проливает дополнительный свет на некоторые детали процессов подготовки и проявления этой пульсации. Диатремоподобная морфоструктура (крупная выемка, представляющая собой в ее верхней части устье газовыводящего канала) существует в тыльной части ложа ледника Колка в узле пересечения субширотного Сырху-Барзондского и субмеридионального Восточно-Джимарайского разломов. Происхождение данной выемки связано с концентрированным интенсивным прорывом огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических газов, их мощным воздействием на горные породы в зоне прорыва и последующим взрывоподобным газодинамическим выбросом ледника, а также некоторого количества материала его горнопородного субстрата из верхней части газовыводного канала, на месте которой возникла диатремоподобная выемка. Заполнение же этой выемки произошло, в основном, в результате обрушения ее стенок, обратного падения в нее части выброшенного материала и поступления материала последующих обвалов, а отчасти, возможно, за счет привноса материала продуктов разрушения нижележащих пород восходящим газовым потоком, продолжавшимся какое-то время после выброса ледника (до исчерпания основного количества прорвавшихся в эту зону высоконапорных глубинных газов).

Ключевые слова: ледник Колка, поствулканический взрывоподобный газодинамический выброс, субвулканические процессы формирования и функционирования трубок взрыва, диатремы.

Для цитирования: Бергер М. Г. К сопоставлению катастрофической пульсации (поствулканического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса) ледника Колка с субвулканическими процессами формирования и функционирования трубок взрыва (диатрем). *Геология и Геофизика Юга России*. 2019; 9 (2): 6-21. DOI: 10.23671/VNC.2019.2.31973.

Своеобразие проявления вулканической деятельности трубок взрыва в сравнении с действующими вулканами заключается в их сравнительно короткой жизни, низкотемпературном характере транспортируемого материала и других особенностях.

С. И. Костровицкий

Имеющиеся материалы по геологии, текстурно-структурным особенностям и вещественному составу заполняющих трубки пород позволяют с уверенностью говорить о выходе практически всех, даже кимберлитовых, диатрем на земную поверхность и о формировании их полостей путем выноса (выброса) вмещающих пород.

В. А. Милашев

Возможно, что трубообразные жерла образовались под воздействием струй несущихся вверх газов там, где они выходили на поверхность вдоль трещины, или в месте пересечения двух трещин.

Г. Макдоналд

Мощные восходящие потоки газов имеют решающее значение… для формирования диатрем.

В. А. Милашев

Введение

В ряде предшествующих публикаций [Бергер, 2006, с. 34; 2007, с. 182 и др.] автор уже отмечал наличие в тыльной части ложа ледника Колка (в эпицентре пароксизмального взрывоподобного газодинамического выброса ледника) крупной отрицательной диатремоподобной морфоструктуры, расположенной в узле пересечения двух глубинных разломов – субширотного Сырху-Барзондского и субмеридионального, названного автором в этой его части Восточно-Джимарайским.

Краткая морфологическая характеристика этой морфоструктуры («выемки», «углубления», «мульды» и т. п.) дана в работах [Васьков, 2011, с. 79; Петраков и др., 2004, 2006; и др.] и будет приведена ниже.

Эта морфоструктура, существовавшая в первое время после выброса, а затем заполненная и погребенная материалом свежих обвалов, была принята рядом исследователей за яму выбивания или подобную ей структуру экзогенного (обвально-ударного) происхождения. Гляциологи же в большинстве своем игнорировали сам факт ее существования, не давая этому факту никакого объяснения и не предполагая никакой функциональной роли этой морфоструктуры в Колкинской катастрофе.

Эта весьма интересная морфоструктура, оставшаяся, к сожалению, не изученной сколько-нибудь детально, конечно, не может считаться ни вулканической, ни даже скрытовулканической (криптовулканической), но, вполне вероятно, что именно она играла роль основного выводного канала при концентрированном струйном прорыве огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических газов в подледниковое пространство ледника Колка на завершающем предпароксизмальном этапе подготовки газодинамического выброса ледника и в последующем,

вплоть до исчерпания основного количества поступивших в район ледника Колка глубинных поствулканических газов и прекращения интенсивной фумарольной деятельности в данном районе.

Вполне возможно также, что в ходе предпароксизмального прорыва глубинных поствулканических газов под ледник Колка, а затем и в ходе самого газодинамического выброса ледника, а также последующего многодневного посткатастрофического интенсивного поверхностного струйного газовыделения эта морфоструктура была существенно проработана высоконапорными и в какой-то мере нагретыми газами и содержавшимся в высокоскоростном газовом потоке обломочным материалом.

Взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 2002 года – результат проявления не вулканической или субвулканической, а поствулканической деятельности на Центральном Кавказе. Он не имеет прямого отношения к вулканическим извержениям, в том числе взрывным, эксплозивным, газовым, фреатическим, полувулканским, «ультравулканским» и т. п. Тем не менее, целый ряд весьма существенных обстоятельств делает правомерным и желательным сопоставление Колкинской катастрофы с процессами формирования и функционирования трубок взрыва (диатрем): по имеющимся многочисленным фактическим данным и широко распространенным (хотя и не общепринятым) представлениям, диатремы при их формировании и последующем функционировании имели выход на земную поверхность; основным действующим фактором их формирования были высоконапорные глубинные газы; процессы формирования или же функционирования диатрем, по крайней мере, в некоторых случаях носили взрывной или взрывоподобный характер (особенно с учетом того, что одним из источников исходной энергии взрывов может быть внутренняя энергия сильно сжатых газов [Покровский, 1980, с. 13; Белопухов, 2010, с. 32; и др.]), чему могло способствовать, прежде всего, наличие взрывоспособных газов в составе газовой смеси и непроницаемых (газоупорных) барьеров на пути движения высоконапорных глубинных газов к земной поверхности (в область пониженных давлений); в составе заполняющего диатремы материала, как в случае ледника Колка, нередко отсутствует ювенильный материал; эндогенные причины формирования и функционирования диатрем и генезиса значительной части связанных с диатремами обломочных продуктов газодинамического выноса (выброса) устанавливаются вполне однозначно и неоспоримо.

К сожалению, как отмечают И. М. Петухов и А. М. Линьков [1978, с. 72], «теория газодинамического выброса как источника сейсмического излучения крайне слабо разработана, что препятствует уверенной диагностике этих явлений, особенно в сложных и дискуссионных случаях».

В этом плане необходимо обратить внимание на результаты, полученные при изучении взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка [Заалишвили и др., 2004, 2005а, 2005б, 2007 и др., Заалишвили, Харебов, 2008], которые положили начало поствулканической газогеодинамической сейсмологии, имеющей много общего с глубоко разработанной, интенсивно развивающейся вулканической сейсмологией.

Вопросы терминологии

Как отмечают Л. А. Новиков и Р. М. Слободской [1978, с. 6], «в настоящее время широко распространены представления о том, что диатремы возникают в связи с деятельностью газовой фазы». Авторы [там же] приводят и факты, свидетельству-

ющие о таком образовании диатрем (см. ниже). Таким же – в качестве газопроводящих каналов – нередко является и последующее функционирование диатрем. С учетом этого, в тех случаях, когда магматическое или гидротермальное (гидротермально-метасоматическое) заполнение трубок отсутствует, эти трубки могут быть названы *газовыми*.

Широко используемый в отечественной геологии термин «трубки взрыва» имеет совершенно очевидную генетическую ориентировку. Возможно, эта ориентировка не всегда является правильной. Во всяком случае, представления об участии взрывов в процессах формирования этих трубок не являются общепринятыми и в некоторых работах отвергаются. Таким образом, имеется противоречие между принимаемым в этих работах действительным (актуальным) значением термина «трубки взрыва» и его буквальным значением.

Поэтому, может быть, более целесообразно при наименовании этих трубчатых образований использовать не столь очевидное в генетическом смысле, менее прозрачное по своему буквальному значению (хотя и аналогичное по его действительному значению, зафиксированному в словарях, – см., например, [Томкеев, 1986, с. 134]) наименование, как это делают, в частности, А. Л. Новиков и Р. М. Слободской [1978], согласно которым диатремы представляют собой «вертикальные каналы трубчатой формы, заполненные породами различного состава и происхождения» [Новиков, Слободской, 1978, с. 3].

Автор нисколько не настаивает на образовании этих трубок (диатрем) в результате взрывов. Однако участие в их возникновении, в разработке трубчатых полостей, в разрушении и выносе (выбросе) вмещающих пород значительных количеств высоконапорных глубинных магматических или вулканических газов, основная, ведущая роль этих газов в субвулканических процессах формирования морфоструктур, обычно именуемых трубками взрыва, не могут вызывать никаких сомнений.

Судя по взрывоподобному газодинамическому выбросу ледника Колка и оставленной этим выбросом в его эпицентре диатремоподобной морфоструктуре, принципиально подобные трубчатые образования в некоторых случаях могут возникать и в результате деятельности значительных количеств высоконапорных глубинных *поствулканических* газов.

И хотя, в отличие от катастрофических событий на леднике Колка в сентябре 2002 года, эти газы никто непосредственно не наблюдал, их весьма существенная роль в субвулканических процессах формирования и функционирования трубок взрыва (диатрем) признается всеми исследователями, тогда как исследователи событий 2002 г. на леднике Колка в большинстве своем вот уже более десяти лет пытаются усмотреть следы действия обвалов с г. Джимарайхох под ледником (в его литосферном субстрате) на глубине в многие десятки метров в ложе ледника и следы потоков воды на высоте в сотни метров на скалах, придавая главное, решающее значение в Колкинской катастрофе этим обвалам и воде, и, в то же время, полностью игнорируя, совершенно не учитывая и даже отрицая [Познанин, Геворкян, 2008; Васьков, 2011] участие в событиях на леднике Колка явно проявившихся на земной поверхности, всеми наблюдавшихся в течение продолжительного времени (а некоторыми из наблюдателей не без последствий для себя непосредственно ощущавшихся), многократно документально (в том числе химико-аналитически) зафиксированных мощных концентрированных (струйных) выделений высоконапорных поствулканических газов (фумарол).

Вполне возможно, впрочем, и проявление собственно взрывных или взрывоподобных газодинамических явлений в ходе формирования и функционирования диатрем [Костровицкий, 1976; Страхов, 1978; и др.].

При всех вполне естественных хорошо известных различиях между субвулканическими, вулканическими и поствулканическими процессами взрывного или взрывоподобного типа имеются и весьма существенные элементы сходства в вызывающих их причинах (действующих факторах) и механизме их проявления, столь же естественные и закономерные, являющиеся важными аргументами при расшифровке природы катастрофической пульсации ледника Колка, дающие дополнительные основания, подтверждающие ее взрывоподобный газодинамический характер.

По-видимому, наиболее существенные *различия* между этими процессами состоят в температурных условиях их протекания, особенно – в достигаемых максимальных температурах, а также, разумеется, в отсутствии каких-либо расплавных магмопроявлений и их продуктов в случае поствулканической деятельности – при заполнении приповерхностных подводящих каналов (трещин и других полостей) и поверхностном проявлении поствулканических процессов.

Что касается, в частности, формирования трубок взрыва, то, по В. А. Милашеву [1984, с. 212], «вулканические процессы, в ходе которых происходили разработка и заполнение полостей рассматриваемых трубчатых тел, протекали в условиях достаточно высоких, но далеко не постоянных температур». (В приведенном в указанной работе анализе температурного режима формирования диатрем В. А. Милашев ограничивается оценками именно максимальных температур вулканических процессов. Основное внимание при этом уделяется этапу заполнения трубчатых полостей и возникшим на этом этапе вещественным образованиям магматического, пирометаморфического и метасоматического генезиса.)

Наиболее же существенный элемент *сходства* между субвулканическими, вулканическими и поствулканическими процессами взрывного или взрывоподобного типа состоит в их *газодинамическом* характере, участии в качестве основного рабочего тела в их проявлении природных газов, имеющих высокое, а на отдельных этапах – сверхвысокое давление. Именно этот момент представляет наибольший интерес при изучении катастрофической пульсации ледника Колка, определении ее природы, идентификации ее геодинамического типа.

О формировании диатрем

Согласно В. А. Милашеву [1984, с. 211-212], «в сложном процессе формирования диатрем следует различать два главнейших этапа: этап разработки полости и этап ее заполнения. При неразрывной взаимосвязанности этих этапов и частичном их перекрытии во времени вулканические процессы на каждом из них различались по температурному режиму, давлению, составу и свойствам «рабочего тела», динамике и многим другим параметрам. В связи с этим анализ физического состояния формировавших диатремы веществ, динамики и механизма образования трубчатых тел при наличии достаточно представительных материалов следует проводить применительно к каждому из главнейших этапов в отдельности».

С учетом изложенного, в дальнейшем нас будет интересовать, главным образом, первый из этих этапов (этап разработки полости трубок взрыва) и его результаты – именно на этом этапе наиболее явно, в наиболее чистом виде прояв-

ляются газодинамические процессы, характер которых в наибольшей мере сходен с процессами, происходившими в сентябре 2002 г. в эпицентре Колкинской катастрофы.

По современным представлениям, «диатремы возникают в связи с деятельностью газовой фазы. Об этом свидетельствуют: 1) чрезвычайно высокая подвижность обломочного материала…; 2) отсутствие или незначительность термального контактового метаморфизма во вмещающих породах; 3) полное отсутствие в некоторых диатремах какого-либо материала магматического происхождения» [Новиков, Слободской, 1978, с. 6].

Перечисленные признаки, безусловно, далеко не исчерпывают свидетельств участия (более того, основной роли) высоконапорных глубинных газов в формировании диатрем. Об этом свидетельствуют и наличие раструбообразных расширений в устье не подвергшихся глубокой эрозии диатрем, и радиально-концентрическая трещиноватость вмещающих пород, и чешуеобразная пластинчатая отдельность вмещающих пород в приконтурной зоне, и некоторые другие характерные признаки этих образований [Костровицкий, 1976; Новиков, Слободской, 1978; Милашев, 1984; и др.]. Все эти признаки в полной мере проявились и вблизи отмеченной выше диатремоподобной морфоструктуры в тыльной части ложа ледника Колка. Это, соответственно, подтверждает именно диатремоподобный характер этой морфоструктуры и одновременно свидетельствует в пользу представлений о газодинамической природе Колкинской катастрофы, раскрывая некоторые весьма существенные особенности ее подготовки и проявления, протекавших при безусловном участии (точнее, основной роли) высоконапорных глубинных поствулканических газов в качестве основного фактора, вызвавшего эту катастрофу, и отмеченной диатремоподобной морфоструктуры в качестве основного выводного канала при продвижении этих газов в подледниковое пространство ледника Колка (см. ниже) [Evans et al., 2009; Klimes et al., 2009; Mark et al., 2012; Zaalishvili et al., 2014; Zaalishvili, Mel'kov, 2014].

Существуют во многом различные представления о конкретном механизме возникновения трубок взрыва (диатрем). Различие этих представлений в какой-то мере может быть связано с действительно имеющим место различным генезисом этих трубок и, в частности, с различным происхождением природных газов, играющих основную роль в их формировании.

Согласно А. Ритману [1964, с. 352-353], трубки взрыва в верхнетретичных отложениях Египта вблизи Каира возникли при фреатических эксплозивных извержениях, связанных с внедрением мощного базальтового силла в водоносные песчаники, перекрытые непроницаемыми глинистыми породами. В результате этого «здесь, как в паровом котле, развивалось очень высокое давление, которое смогло преодолеть сопротивление кровли».

Эти события во многом (прежде всего, по их исходным причинам и особенностям протекания), конечно, существенно отличаются от того, что произошло на леднике Колка в сентябре 2002 г. Но, при всех весьма значительных отличиях, нельзя не заметить и некоторое сходство между этими событиями и событиями на леднике Колка (в геодинамической системе этого ледника), где роль непроницаемого барьера, обеспечивавшего возникновение очень высокого газового давления под ним, выполнял ледник. В конечном итоге сопротивление ледника (точнее, его геостатическое давление и силы его сцепления с вмещающими породами) было пре-

одолено интенсивно пульсационно возраставшим газовым давлением, в результате чего произошел взрывоподобный газодинамический выброс ледника.

Вообще же, объяснение факта существования в Казбекской неовулканической области глубинных источников высоконапорных поствулканических газов и пароксизмально проявляющихся восходящих концентрированных потоков этих газов не требует привлечения представлений о каких-либо дополнительных (в частности, фреатических) источниках природных газов и причинах возникновения аномально высоких пластовых давлений газа под непроницаемыми барьерами.

Что же касается характера прорыва газов на земную поверхность, то он во многом определяется наличием или отсутствием газоупорного (непроницаемого или слабо проницаемого) барьера со свободной (открытой) верхней поверхностью на пути восходящей миграции высоконапорных природных газов, а также его литологическим составом, мощностью, глубиной залегания и другими факторами, определяющими прочностные, плотностные, фильтрационные и другие литофизические свойства пород, слагающих этот барьер, величину его геостатического давления и силы его сцепления с вмещающими породами.

В этом отношении в области изучения трубок взрыва существуют различные представления [Страхов, 1978; Новиков, Слободской, 1978; Милашев, 1984; и др.], что также может быть связано с различием природных условий в различных случаях и действительно существующими различиями в характере прорыва газов – в одних случаях взрывоподобным, сопровождающимся дроблением стенок газоподводящего канала, разрушением перекрывающего этот канал газоупорного барьера и выбросом обломочного материала на поверхность [Страхов, 1978], в других же случаях сравнительно постепенным, когда «выход газов на поверхность планеты не является взрывообразным, но при значительных напряжениях, обусловленных высокими давлениями и скоростями истечения потока, носит характер достаточно продолжительного (несколько часов – суток – недель) процесса» [Милашев, 1984, с. 233].

В геодинамической системе ледника Колка в сентябре 2002 г. последовательно проявились оба отмеченных случая (механизма). Сначала, на предкатастрофическом этапе подготовки газодинамического выброса ледника, проявился второй механизм, сравнительно постепенный и достаточно продолжительный, длившийся в течение нескольких недель, когда газ пульсационно поступал в подледниковое пространство, накапливаясь там, повышая величину газового давления под ледником и отжимая ледник от его ложа (производя отмеченный в ряде работ автора [Бергер, 2007 и др.] эффект газового домкрата). Затем, на этапе протекания катастрофы, около 20 часов 20 сентября 2002 г., в течение немногих минут проявился пароксизмальный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника, т. е. первый механизм из числа отмеченных выше. И, наконец, на посткатастрофическом этапе (постпароксизмальном этапе завершения катастрофы) в течение многих дней вновь проявился второй механизм, выразившийся в продолжительном концентрированном (струйном) истечении высоконапорных глубинных поствулканических газов на земную поверхность в условиях отсутствия препятствовавшего этому непроницаемого барьера (ледника).

Все эти этапы, особенно последние два из них, и соответствующий им различный характер прорыва газов на земную поверхность (определяемый различием природных геодинамических условий на каждом из этих этапов) проявились в сентябре 2002 г. в геодинамической системе ледника Колка и на ее поверхности

с достаточной очевидностью и подтверждаются многочисленными документально зафиксированными фактами.

В свете изложенных выше положений получает решение являющийся в течение длительного времени спорным вопрос о газовзрывном (взрывообразном) либо газоэрозионном (постепенном и сравнительно продолжительном) способе разрушения вмещающих пород при разработке трубок взрыва: в природе могут иметь место оба отмеченных механизма, в том числе их последовательное проявление в одном и том же месте.

На начальном же, так сказать, подготовительном, этапе возникновения трубок взрыва, проявляющемся в трещинообразовании и брекчировании вмещающих пород и продвижении этих процессов к земной поверхности, преобладающим, наряду с механическим разрушением тектонической природы, является, очевидно, атектонический механизм гидроразрыва, получивший глубокое обоснование в работе У. Файфа и др. [1981].

Существуют и некоторые другие черты сходства между признаками подготовки и проявления взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка и признаками формирования трубок взрыва, содействующие расшифровке механизма протекания этих процессов.

В частности, в узкой экзоконтактовой зоне субвулканических кимберлитовых трубок установлены радиальные и концентрические системы трещин, считающиеся важным свидетельством газовзрывного характера образования полости канала этих трубок [Костровицкий, Владимиров, 1971; Костровицкий, 1976, с. 16, 21, 78]. Более того, по мнению С. И. Костровицкого [1976, с. 78], о взрывном характере газового прорыва при формировании полостей трубок взрыва «можно судить лишь по наличию радиальной и концентрической трещиноватости». Аналогичные системы трещин (получившие, однако, иное, безусловно, ошибочное объяснение) зафиксированы И. М. Васьковым [2011] и другими исследователями в породах, вмещающих крупную выемку в тыльной части ложа ледника Колка. Эндогенное газодинамическое происхождение этих систем трещин [Уиссер, 1964; Геологический словарь, 1978, с. 283; и др.] подтверждает высказанное ранее [Бергер, 2007, с. 51-52, 126-128, 182] мнение о диатремоподобном характере этой выемки и ее газоподводящей функциональной роли в процессе подготовки и проявления катастрофического взрывоподобного газодинамического выброса ледника.

Поскольку образование радиально-концентрических систем трещин в горных породах, как известно [Геологический словарь, 1978, с. 283], происходит в результате локального поднятия и растяжения горных пород, их возникновение в тыльной зоне ледника Колка вначале происходило, возможно, еще на подготовительной стадии Колкинской катастрофы (взрывоподобного поствулканического направленного газодинамического выброса ледника), предшествуя поверхностному проявлению эффекта газового домкрата, а затем сопровождало его и последующий выброс ледника.

В свете изложенного, существование радиально-концентрических трещин в тыльной зоне ложа ледника Колка является одним из важных признаков, безусловно, подтверждающих эндогенную газодинамическую природу Колкинской катастрофы, и исключает возможность какого-либо иного ее объяснения.

Одним из результатов взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка является вынос (выброс) крупных обломков ледово-каменного материала из

прорывающего литосферный (криолитосферный) субстрат ледника Колка основного (наиболее крупного) диатремоподобного газоподводящего канала в тыльной части ложа ледника.

Этот материал, основное количество которого после выброса оказалось сконцентрированным в непосредственной близости от устья этого канала (представленного диатремоподобной морфоструктурой) в осевой части ложа ледника (по вектору выброса), представлен после стаивания весной и летом 2003 г. содержавшегося в нем льда так называемыми «муравьиными кучами», описанными во многих публикациях. Более подробное рассмотрение генезиса этих «куч» предпринято в отдельной работе автора.

О газодинамических явлениях и диатремоподобных морфоструктурах в подземных горных выработках

Существуют некоторые аналогии между газодинамическим выбросом ледника Колка и внезапными газодинамическими выбросами в подземных горных выработках. В связи с этим представляет интерес рассмотрение геологических условий возникновения газодинамических явлений (ГДЯ) в калийных рудниках на Старобинском месторождении (северо-западная часть Припятского прогиба, Республика Беларусь).

Как отмечают В. Я. Щерба и др. [2004, с. 14], внезапные и искусственно инициированные выбросы соли и газа происходят только при вскрытии горными выработками локальных геологических нарушений, получивших на месторождении название мульд погружения (при этом авторы [там же] используют только термин «мульда», считая неудачным дополнительное уточнение «погружения»). Авторы указывают на однозначную связь выбросов соли и газа с этими мульдами и отмечают [Щерба и др., 2004, с. 15], что во всех случаях газодинамические явления (ГДЯ) этого вида протекают с характерным звуковым эффектом (типа сильного хлопка) и сопровождаются воздушной ударной волной. «Физико-геологический механизм образования очагов ГДЯ этого вида в настоящее время не разработан, и в литературных источниках отсутствуют даже гипотезы возможного механизма» [там же].

Как можно полагать из приведенных авторами [Щерба и др., 2004, с. 14-17 и др.] описаний этих мульд и характеристики их структурно-тектонической локализации (их приуроченности к зонам тектонических трещин, в том числе к узлам их пересечения), отмеченные мульды, – прежде всего, их крутопадающая, секущая напластование вмещающих пород, центральная часть («ядро»), сложенная перемятыми, раздробленными и перемешанными породами, представляющими собой типичную брекчию, состоящую из обломков соляных пород и галопелитового матрикса (заполняющего материала), – являются по их генезису (механизму возникновения) и функциональной роли своеобразными диатремоподобными структурами, эксплозивными газовыми трубками, а по структурным особенностям слагающих их пород – брекчиевыми трубками.

В функциональном отношении эти трубки представляют собой флюидопроводящие, в частности, газоподводящие (выводные) каналы, непосредственно связанные с литологически экранированными локальными («очаговыми») скоплениями высоконапорных природных газов, расположенными, по-видимому, в порово-трещинных коллекторах и особенно в кавернах выщелачивания. Возможно, что породы этих трубок на предшествующих газодинамическому выбросу этапах также яв-

ляются газонасыщенными коллекторами, экранированными газонепроницаемыми соляными и глинистыми породами.

Что же касается происхождения, источников высоконапорных газов в калийных соляных толщах и времени накопления газов в этих толщах, то эти вопросы во многом пока остаются открытыми. С этим связано и решение многих вопросов генезиса диатремоподобных газовых трубок в калийных соляных толщах.

Принципиально аналогичная по своей функциональной роли диатремоподобная морфоструктура (но значительно – более чем на порядок – большего размера в поперечном сечении), как было отмечено выше, существует и в тыльной части ложа ледника Колка.

Заключение

Существование определенных аналогий между пароксизмальным взрывоподобным выбросом ледника Колка, имеющим, несомненно, эндогенную поствулканическую газодинамическую природу, и процессами формирования субвулканических трубок взрыва, помимо важности учета этого при идентификации геодинамического типа катастрофической пульсации ледника Колка, важно еще и в том отношении, что оно проливает дополнительный свет на некоторые детали процессов подготовки и проявления этой пульсации с учетом имеющихся сведений о значительно более глубоко изученных процессах формирования трубок взрыва.

Например, в связи с имеющимися многочисленными сведениями о нисходящем перемещении обломочного материала в канале трубок взрыва «большинство геологов считает, что нисходящее движение обломков – результат падения их в открытый канал после газового взрыва, сформировавшего полость» [Костровицкий, 1976, с. 30].

Как было отмечено выше, диатремоподобная морфоструктура (крупная выемка, представляющая собой в ее верхней части устье газовыводящего канала) существует и в тыльной части ложа ледника Колка в узле пересечения субширотного Сырху-Барзондского и субмеридионального Восточно-Джимарайского разломов. Многие исследователи считают ее ямой выбивания обвальным ударом с г. Джимарайхох (или рядом обвальных ударов).

В связи с такой позицией необходимо заметить, в частности, что обвалы и обвальные удары в данном месте продолжались и после выброса ледника. Это, однако, привело не к углублению выемки, а к ее заполнению обломочным материалом.

Интенсивные обвалы с г. Джимарайхох и ее отрогов происходили, как известно, и на предкатастрофическом этапе, но они не могли пробить (и не пробивали) ледник и углубиться в его литосферный субстрат [Бергер, Чотчаев, 2013], образовав в нем выемку глубиной около 60 м [Петраков и др., 2004, 2006], если не более.

С учетом изложенного, происхождение данной выемки связано с концентрированным интенсивным прорывом огромного количества высоконапорных поствулканических газов, их мощным воздействием на горные породы в зоне прорыва и последующим взрывоподобным газодинамическим выбросом ледника, а также некоторого количества материала его горнопородного субстрата из верхней части газовыводного канала, на месте которой возникла диатремоподобная выемка. Заполнение же этой выемки произошло, в основном, в результате обрушения ее стенок, обратного падения в нее части выброшенного материала и поступления материала последующих обвалов, а отчасти, возможно, за счет привноса материала продуктов

разрушения нижележащих пород восходящим газовым потоком, продолжавшимся какое-то время после выброса ледника (до исчерпания основного количества прорвавшихся в эту зону высоконапорных глубинных газов).

Открывшееся после выброса ледника Колка ложе осталось, к сожалению, недостаточно изученным, и детали его строения слабо освещены в литературе. Недостаточно информативны и приведенные в различных источниках наземные и аэрофотоснимки этого ложа. Тем не менее, некоторые сведения имеются.

В частности, характеризуя обнажившуюся после выброса ледника Колка в тыльной части ложа ледника верхнюю, устьевую часть крупной отрицательной морфоструктуры, определенной автором [Бергер, 2007] в качестве диатремоподобной, И. М. Васьков [2011, с. 79] отмечает: «В верхней части выемки в днище четко просматривается асимметричное углубление протяженностью около 350 м, по азимуту 75°; правый (южный) склон – уступ (или сброс) высотой до 15-20 м, левый – пологий. Более мелкие субконцентрические сбросы как бы окружают верхнюю часть углубления».

Вполне возможно, что основной газовый поток в тыльной части ледника Колка при выходе из устья газоподводящего канала был распределен не равномерно по горизонтали, а ориентирован преимущественно в сторону левого (северного) склона устья этого канала. Это в какой-то мере могло содействовать выполаживанию левого склона канала в его верхней, приустьевой части.

Примерно (в общих чертах) такими, как известно, обычно являются верхние, приповерхностные части диатрем, не подвергшихся значительному эрозионному воздействию (а диатремоподобная морфоструктура в тыльной части ложа ледника Колка вообще практически не эродирована).

В частности, как пишут Л. А. Новиков и Р. М. Слободской [1978, с. 4], «в приповерхностной части слабо эродированные диатремы обычно имеют раструбообразное расширение, ниже которого наклон стенок увеличивается».

Возникшая в результате проявления газовой поствулканической деятельности, эта диатремоподобная полость, естественно, не имеет никакого магматического заполнения (как и многие типичные диатремы), однако эндогенное газодинамическое (а не обвально-ударное, «экзотектоническое» и т. п.) ее происхождение не может вызывать никаких сомнений.

Одновременно это проливает дополнительный свет на катастрофические события на леднике Колка и в Генералдонском ущелье 20 сентября 2002 г., как и многие другие факты, однозначно указывая на их эндогенную поствулканическую газодинамическую природу и давая важную информацию, касающуюся особенностей их протекания в эпицентре катастрофы.

Литература

1. Белопухов Л. К. Физика внезапного. – М.: Бюро Квантум, 2010. – 192 с. (Библиотечка «Квант». Вып. 116. Приложение к журналу «Квант» № 3/2010).

2. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2006. – Т. 6. № 2. – С. 33-37.

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

4. Бергер М. Г., Чотчаев Х. О. О некоторых физических и фактических основаниях предполагаемых механизмов селевых ледниковых катастроф: Колка, 2002 // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 1. – С. 63-69.

5. Васьков И. М. Ледово-каменные обвалы и их прогнозирование. На примере Центрального Кавказа. – Саарбрюкен, Германия: LambertAcademicPublishing, 2011. – 234 с.

6. Геологический словарь. – М.: Недра, 1978. – Т. 2. – 456 с.

7. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Харебов А. К. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2004. – Т. 4. № 3. – С. 58-64.

8. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Макиев В. Д., Мельков Д. А. Интерпретация инструментальных данных процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2005а. – Т. 5. № 3. – С. 43-54.

9. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Мельков Д. А. К вопросу интерпретации инструментальных данных процессов схода ледника Колка 20 сентября 2002 года: Докл. [6 Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). Сочи, 19-24 сент. 2005 г. Вып. 3] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2005б. – № 6. – С. 13-17.

10. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Макиев В. Д., Мельков Д. А. Особенности процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по инструментальным данным // Геофизика XXIстолетия: 2006 год. Сборник трудов Восьмых геофизических чтений им. В. В. Федынского (2-4 марта 2006 г., Москва). – Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007. – С. 191-199.

11. Заалишвили В. Б., Харебов К. С. Исследование процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по динамическим характеристикам инструментальных записей // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г. – Владикавказ, ВНЦ РАН и РСО-А. – 2008. – С. 202-221.

12. Костровицкий С. И. Физические условия, гидравлика и кинематика заполнения кимберлитовых трубок. – Новосибирск: Наука, 1976. – 96 с.

13. Костровицкий С. И., Владимиров Б. М. Энергетические расчеты к механизму образования кимберлитовых трубок // Геология и геофизика. – 1971. – № 6. – С. 31-38.

14. Милашев В. А. Трубки взрыва. – Л.: Недра, 1984. – 268 с.

15. Новиков Л. А., Слободской Р. М. Механизм формирования диатрем // Сов. геология. – 1978. – № 8. – С. 3-14.

16. Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Черноморец С. С. По следам Геналдонской катастрофы: год спустя // Криосфера Земли. – 2004. – Т. VIII. № 1. – С. 29-39.

17. Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Черноморец С. С. Оценка и прогноз динамики ледовых образований и рельефа после Геналдонской катастрофы 2002 года // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ – Москва, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Изд-во Олимп, 2006. – С. 171-178.

18. 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.

19. Познанин В. Л., Геворкян С. Г. Гидравлический механизм отделения тела ледника Колка от ложа: начало срыва – кинетика и гравитация // Криосфера Земли. – 2008. – Т. XII. № 3. – С. 87-96.

20. Покровский Г. И. Взрыыв. 4-е изд. – М.: Недра, 1980. – 190 с.

21. Ритман А. Вулканы и их деятельность. – М.: Мир, 1964. – 437 с.

22. Страхов Л. Г. Рудоносные вулканические аппараты юга Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 1978. – 118 с.

23. Томкеев С. И. Петрологический англо-русский толковый словарь: В 2-х т. Т. 1. – М.: Мир, 1986. – 285 с.

24. Уиссер Э. Связь оруденения с купольными структурами в Северо-Американских Кордильерах // Проблемы эндогенных месторождений. Сб. статей. Вып. 2. – М.: Мир, 1964. – С. 9-196.

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

26. Щерба В. Я., Башура А. Н., Андрейко С. С. Управление газодинамическими процессами на Старобинском месторождении калийных солей. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 194 с.

27. 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.

28. 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. No. 1. – Pp.. 193-209.

29. 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.

30. 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.

31. 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. – 2014. – Vol. 50. No. 5. – Pp. 707-718.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.2.31973

Comparison of the catastrophic pulsation (post-volcanic explosion-like sudden gas-dynamic outburst) of the Kolka glacier with the subvolcanic processes of formation and functioning of the volcanic pipes (diatremes)

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: There are certain analogies in the manifestation mechanism of subvolcanic, volcanic and postvolcanic gas-dynamic processes of explosive or explosion-like type. According to the features of their manifestation quite reliably recorded by many researchers, the latter of them includes the explosive gas-dynamic outburst of the Kolka glacier. The most essential element of the similarity between these processes consists in their gas-dynamic character, the participation of natural gases of a high and at some stages an extremely high pressure as their main working body in their manifestation. This moment is of the greatest interest in the study of the catastrophic pulsation of the Kolka glacier, the definition of its nature, the identification of its geodynamic type. The existence of analogies between the paroxysmal explosion-like ouburst of the Kolka glacier and the processes of formation and functioning of subvolcanic volcanic pipes sheds additional light on some details of the preparation processes and manifestation of this pulsation. The diatreme-like morphostructure (a large cavity representing the mouth of the gas-producing channel in its upper part) exists in the back of the Kolka glacier bed at the intersection point of the sublatitudinal Syrkhu-Barzond and submeridional East-Dzhimarai faults. The origin of this cavity is associated with a concentrated intense breakthrough of a huge amount of high-pressure deep postvolcanic gases, their powerful effect on rocks in the breakthrough zone and the subsequent explosive gasdynamic outburst of the glacier, as well as a certain amount of material of its rock-bearing substrate from the upper part of the gas output channel, in the place of which diatreme-like cavity. The filling of this cavity occurred mainly as a result of the collapse of its walls, the inverse fall of a part of the outburst material and the receipt of subsequent collapses material, and partly, possibly, due to the introduction of material from the products of destruction of the underlying rocks with an ascending gas flow that lasted for some time after the ouburst of the glacier (until the main amount of high-pressure deep-water gases has broken through into this zone).

Keywords: Kolka Glacier, postvolcanic explosive gas-dynamic oubursts, subvolcanic processes of formation and functioning of volcanic pipes, diatremes.

For citation: Berger M. G. Comparison of the catastrophic pulsation (post-volcanic explosion-like sudden gas-dynamic outburst) of the Kolka glacier with the subvolcanic processes of formation and functioning of the volcanic pipes (diatremes). *Geology of the South of Russia*. (in Russ.). 2019; 9 (2): 6-21. DOI: 10.23671/VNC.2019.2.31973.

References

1. Belopukhov L. K. Physics of the sudden. M.: Bureau Quantum, 2010. – 192 p. (The Kvant Library. Issue 116. Appendix to the “Kvant” journal, No. 3/2010). (in Russ.)

2. Berger M. G. Gasdynamic ouburst of the Kolka glacier on September 20, 2002. Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and RNO-A. 2006. Vol. 6. No. 2. Pp. 33-37. (in Russ.)

3. Berger M. G. The Kolka Glacier: The Catastrophe September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic outburst of the glacier. M.: Publishing House of LKI, 2007. 248 p. (in Russ.)

4. Berger M. G., Chotchaev Kh. O. On some physical and factual reasons for the proposed mechanisms of mudflow glacial accidents: Kolka, 2002. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2013. No. 1. Pp. 63-69. (in Russ.)

5. Vas'kov I. M. Ice-rock collapses and their prognosis. On the example of the Central Caucasus. Saarbrucken, Germany: LambertAcademicPublishing, 2011. 234 p. (in Russ.)

6. Geological dictionary. M.: Nedra, 1978. Vol. 2. 456 p. (in Russ.)

7. Zaalishvili V. B., Nevskaya N. I., Kharebov A. K. Analysis of instrumental records of the Kolka glacier collapse from the data of a local network of seismic observations. Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and RNO-A. 2004. Vol. 4. No. 3. Pp. 58-64. (in Russ.)

8. Zaalishvili V. B., Nevskaya N. I., Makiev V. D., Mel'kov D. A. Interpretation of instrumental data of the Kolka glacier collapse process on September 20, 2002. Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and RNO-A. 2005a. Vol. 5. No. 3. Pp. 43-54. (in Russ.)

9. Zaalishvili V. B., Nevskaya N. I., Mel'kov D. A. On the question of the interpretation of instrumental data of the Kolka glacier collapse processes, September 20, 2002: Reports [6 Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with international participation). Sochi, September 19-24 2005 Issue 3]. Earthquake resistant construction. Safety of constructions. 2005b. No. 6. Pp. 13-17. (in Russ.)

10. Zaalishvili V. B., Nevskaya N. I., Makiev V. D., Mel'kov D. A. Features of the process of the Kolka glacier collapse on September 20, 2002 according to instrumental data. Geophysics of the XXI century: 2006. Proceedings of the Eighth Geophysical Readings named after V. V. Fedynsky (March 2-4, 2006, Moscow). Tver: LLC "Publishing House GERS", 2007. Pp. 191-199. (in Russ.)

11. Zaalishvili V. B., Kharebov K. S. Investigation of the collapse process of the Kolka glacier on September 20, 2002 on the dynamic characteristics of instrumental records. Hazardous natural and anthropogenic geological processes in the mountainous and foothill territories of the North Caucasus: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vladikavkaz, September 20-22, 2007. Vladikavkaz, VSC RAS and RNO-A. 2008. Pp. 202-221. (in Russ.)

12. Kostrovitskii S. I. Physical conditions, hydraulics and kinematics of kimberlite pipe filling. Novosibirsk: Nauka, 1976. 96 p. (in Russ.)

13. Kostrovitskii S. I., Vladimirov B. M. Energy calculations to the mechanism of formation of kimberlite pipes. Geology and Geophysics. 1971. No. 6. Pp. 31-38. (in Russ.)

14. Milashev V. A. Volcanic pipes. L.: Nedra, 1984. 268 p. (in Russ.)

15. Novikov L. A., Slobodskoi R. M. The formation mechanism of the diatrems. Modern geology. 1978. No. 8. Pp. 3-14. (in Russ.)

16. Petrakov D. A., Tutubalina O. V., Chernomorets S. S. In the wake of the Genaldon disaster: a year later. Earth's Cryosphere. 2004. Vol. VIII. No. 1. Pp. 29-39 (in Russ.)

17. Petrakov D. A., Tutubalina O. V., Chernomorets S. S. Estimation and forecast of the dynamics of ice formations and relief after the 2002 Genaldon catastrophe. Prevention of dangerous situations in high-altitude areas: Reports of the International Conference. Vladikavkaz – Moscow, June 23-26, 2004. Vladikavkaz: Olympus Publishing House, 2006. Pp. 171-178. (in Russ.)

18. Petukhov I. M., Lin'kov A. M. The mechanism of unleashing and flow of outburst of coal (rock) and gas. Basics of the theory of sudden oubursts of coal, rock and gas. M.: Nedra, 1978. Pp. 62-91. (in Russ.)

19. Poznanin V. L., Gevorkyan S. G. The hydraulic mechanism of the separation of the body of the Kolka glacier from the bed: the beginning of the breakdown – kinetics and gravity. Earth's Cryosphere. 2008. Vol. XII. No. 3. Pp. 87-96. (in Russ.)

20. Pokrovskii G. I. Explosion. 4th ed. M.: Nedra, 1980. 190 p. (in Russ.)

21. Ritman A. Volcanoes and their activities. M.: Mir, 1964. 437 p. (in Russ.)

22. Strakhov L.G. Ore-bearing volcanic apparatus of the southern Siberian platform. Novosibirsk: Nauka, 1978. 118 p. (in Russ.)

23. Tomkeev S.I. Tomkeev Petrological English-Russian Explanatory Dictionary: In 2 volumes. Vol. 1. Moscow: Mir, 1986. 285 p. (in Russ.)

24. Uisser E. Connection of mineralization with dome structures in the North American Cordillera. Problems of endogenous deposits. Proceedings. Issue 2. M.: Mir, 1964. Pp. 9-196. (in Russ.)

25. Faif U., Prais N., Tompson A. Fluids in the crust. M.: Mir, 1981. 436 p. (in Russ.)

26. Shcherba V.Ya., Bashura A.N., Andreiko S.S. Gas dynamic control at the Starobinsk potash deposit. M.: Publishing house of MGGU, 2004. 194 p (in Russ.)

27. 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.

28. 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. No. 1. Pp. 193-209.

29. 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.

30. 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.

31. 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. 2014. Vol. 50. No. 5. Pp. 707-718.