

УДК 551.24 (234.9)

DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11240

## О ВРЕМЕНИ ВОЗМОЖНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ СЛЕДУЮЩЕЙ КАТАСТРОФИЧЕСКОЙ ПУЛЬСАЦИИ ЛЕДНИКА КОЛКА

© 2018 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

Наиболее яркие и значительные по своим последствиям события в истории ледника Колка – его пароксизмальные катастрофические выбросы 2002, 1902, 1752 гг. и не имеющие точной датировки неоднократно происходившие более ранние. Совершенно ясно, что подобные катастрофические пульсации ледника Колка будут происходить и в дальнейшем.

В целях минимизации негативных последствий этих пульсаций необходимы, прежде всего, прогнозирование времени их возможного проявления и наблюдение за их предвестниками.

В результате происшедшего 20 сентября 2002 года внезапного газодинамического выброса ледник Колка оказался полностью уничтоженным.

В настоящее время ледник восстанавливается. Однако до обретения им свойств непроницаемого (газоупорного) барьера (что зависит от скорости превращения накапливающегося в ложе ледникового фирна в лед) проявление его следующей катастрофической пульсации невозможно. Время, необходимое для такого превращения, составляет несколько десятилетий (с момента накопления фирна в составе ледниковой толщи).

**Ключевые слова:** ледник Колка, катастрофическая пульсация, газодинамический выброс ледника, прогноз, предвестники, фирн, лед.

Из того, что обвалы происходили неоднократно, нетрудно заключить, что и в будущем всегда можно ожидать в ущелье Геналдона катастрофы подобно случившейся.

*Э. А. Штебер*  
(о Колкинской катастрофе 1902 г. – М. Б.)

Геналдонская катастрофа 2002 г. – это закономерное явление в длинной цепи геологических событий, которые повторялись много раз за последние тысячи лет и, безусловно, произойдут и в будущем. Таков неутешительный, но вполне закономерный вывод, который подтверждается всем опытом изучения подобных событий.

*Э. В. Запорожченко*

Скорее всего, непредсказуемость этих явлений (ледниковых пульсаций. – М. Б.) обусловлена недостаточными знаниями об их характере.

*А. Ф. Глазовский*

Нужно все время обращаться к истории геологического прошлого, в то же время не допуская, чтобы сведения о частоте событий в прошлом чрезмерно ограничивали интерпретацию наблюдаемых предвестников активности.

*Д. А. Свансон, Т. Дж. Касадевалл, Д. Дзуризин,  
С. С. Ньюхолл, С. Д. Мэлоун, С. В. Вивер*

История развития ледника Колка с достаточно точной датировкой основных событий на леднике и в Геналдонском ущелье известна с 1752 года. Однако признаки (главным образом, литологические и геоморфологические) проявления не имеющих точной датировки отдельных крупных событий в данном районе, прежде всего, благодаря усилиям К. П. Рототаева [Рототаев и др., 1983; и др.], отмечены и для более ранней истории этого ледника.

Кроме глубоко изученной и детально описанной некатастрофической пульсации (аномально крупной быстрой подвижки ледника Колка) 1969-1970 гг. [Панов, 1971, 1993; Рототаев и др., 1983; и др.], наиболее яркие и значительные по своим последствиям события в истории этого ледника – впервые установленные и охарактеризованные автором [Бергер, 2004, 2006а, б, в, 2007а, б, 2008 и др.] его *пароксизмальные катастрофические взрывоподобные направленные газодинамические выбросы* 2002, 1902, 1752 гг. и, безусловно, неоднократно происходившие, но сколько-нибудь точно не датированные более ранние.

Совершенно ясно, что подобные катастрофические пульсации ледника Колка будут происходить и в дальнейшем. Избежать, исключить, предотвратить их проявление пока невозможно (хотя еще более десяти лет назад автор и предложил проект проведения необходимых для этого работ [Бергер, 2007в]).

В этих условиях крайне важно свести к минимуму возможные последствия катастрофических внезапных газодинамических выбросов ледника Колка, прежде всего, исключить всегда связанные с их проявлением человеческие жертвы.

Важнейшими условиями этого являются научно обоснованный прогноз времени возможного проявления следующей катастрофической пульсации (взрывоподобного внезапного направленного газодинамического выброса) ледника Колка и проведение грамотного, научно обоснованного систематического мониторинга состояния ледника Колка и его области питания, а также сопредельной с ними зоны, основой чего является выявление и изучение предвестников подобных событий, прежде всего, наиболее изученной последней катастрофической пульсации ледника Колка 2002 г. [Бергер, 2007б, г, 2008 и др.].

Само собой разумеется, что любые прогностические заключения в данной области должны быть основаны на заключении об эндогенной поствулканической газодинамической природе пароксизмальных катастрофических пульсаций ледника Колка и взрывоподобном газодинамическом их характере, представляющем собой

поверхностные (малозаглубленные – учитывая поверхностное залегание и сравнительно небольшую толщину выбрасываемого ледника) направленные внезапные газодинамические выбросы.

\* \* \*

В связи с широко распространенными представлениями о катастрофической пульсации ледника Колка 2002 года как об экзогенном склоново-гравитационном гляциодинамическом (или гидрогляциодинамическом, гляциально-селевом) явлении, хотя и происшедшем при том или ином участии тех или иных эндогенных процессов (такие же представления в течение более ста лет оставались доминирующими и в отношении Колкинской (Геналдонской) катастрофы 1902 года), необходимо со всей определенностью и однозначностью подчеркнуть, что происходящие на ледниках поствулканические (или постмагматические) пароксизмальные газогляциодинамические явления (внезапные взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников), к числу которых относится катастрофическая пульсация ледника Колка 2002 года (эталонная, так сказать, генотипическая для подобных явлений), по основному вызывающему их фактору и источнику их энергии (высоконапорным глубинным газам) являются *эндогенными* и лишь за пределами их эпицентральных (плейстопароксизмальных) областей в их проявлении то или иное участие принимают в значительной мере аномальные экзогенные вторичные процессы, обусловленные, вызванные, естественно, взрывоподобными газодинамическими выбросами ледников.

С учетом сказанного, прогнозирование этих вторичных явлений (обычно аномально высоконапорных высокоскоростных селей) должно быть принципиально отличным от прогнозирования обычных экзогенных явлений и обязательно должно учитывать действие вызывающих их (и, соответственно, определяющих их особенности) первичных эндогенных геологических факторов, действие которых нередко не согласуется с действием гравитационного агента переноса и на большей части пути не сводится к нему, в частности, не соответствует обычному безнапорному движению жидкости под действием силы тяжести.

В соответствии с изложенным, при сохранении (и даже усугублении) весьма неблагоприятных для горного оледенения деградационных климатических условий, после восстановления ледника Колка (а он при любых климатических условиях через несколько десятилетий восстановится) возникнет потенциальная возможность подготовки и проявления его взрывоподобного газодинамического выброса со всеми сопровождающими такой выброс катастрофическими последствиями. При этом никакие расчеты и основанные на них прогнозы, опирающиеся на учет действия экзогенных процессов и величину соответствующих параметров, включая величину набранной ледником массы, не должны никого вводить в заблуждение: здесь играют основную определяющую роль другие факторы – эндогенные, газодинамические – геологические процессы, управляющие механизмы, факторы и параметры.

Необходимо учитывать, однако, что результаты действия этих факторов на ледник Колка могут быть существенно различными при различном состоянии ледника, прежде всего, величины его проницаемости, в значительной мере определяемой степенью превращения ледникового фирна в лед.

Уже на данной стадии восстановления ледника Колка, предшествующей его вступлению в квазистационарную (квазиравновесную) фазу развития, наряду с воз-

растанием объема ледника, происходит и увеличение его массы и, что особенно важно, его уплотнение, монолитизация, прежде всего, в результате превращения фирна в лед и начала проявления режелационных процессов в ледниковой толще. Используя понятийно-терминологический аппарат геологического стадийного анализа литологии, можно сказать, что эти процессы знаменуют собой протекание диагенеза и начального (раннего) катагенеза (эпигенеза) ледниковой толщи.

\* \* \*

Для прогнозной оценки времени возможного проявления следующей катастрофической пульсации ледника Колка (его пароксизмального взрывоподобного направленного газодинамического выброса) требуется углубленное знание современного состояния и развития газодинамической мегасистемы этого ледника [Бергер, 2008], в составе которой выделяются две основные подсистемы, частично совпадающие, перекрывающиеся по объему, во многом взаимосвязанные и существенно взаимодействующие (при определяющей роли первой из них):

1) эндодинамическая (газодинамическая, включающая ледник Колка и подстилающий его литосферный (корово-мантийный) субстрат, в пределах которого непрерывно протекают процессы генерации (выделения в свободную фазу), миграции и аккумуляции высоконапорных глубинных природных газов – преимущественно поствулканических и постмагматических (связанных с распространенными в данном районе субвулканическими неинтрузиями), и

2) экзодинамическая (гляциодинамическая), включающая тот же ледник Колка и область его питания.

Ледник Колка, выполняющий в этой мегасистеме функцию непроницаемого (в частности, газоупорного) барьера со свободной (открытой, обнаженной) поверхностью, как видим, входит в состав обеих выделенных выше подсистем. (Существенно влияющая на протекающие в леднике абляционные процессы бронирующая значительную часть площади ледника поверхностная морена не оказывает существенного влияния на его фильтрационные свойства, определяющие газопроницаемость ледника, его способность выполнять функции непроницаемого барьера.)

В геомеханическом отношении наличие на леднике морены (как и ее отсутствие) при подготовке и проявлении газодинамического выброса ледника существенной роли не играет (тем более содействующей, благоприятствующей выбросу, стимулирующей, ускоряющей, приближающей его подготовку и проявление, как это иногда предполагается, в частности, для кавказских ледников Колка и Муркар).

Именно в связи с выполнением ледником Колка функции газоупорного барьера со свободной поверхностью и активно протекающей в его литосферном субстрате газовой поствулканической (и постмагматической) деятельностью ледник Колка является газовыбросоопасным, время от времени подвергающимся пароксизмальным взрывоподобным катастрофическим внезапным газодинамическим выбросам, последний из которых произошел 20 сентября 2002 года.

В результате этого выброса ледник не просто потерял свойства непроницаемого барьера, а оказался полностью уничтоженным, испытал газодинамическую аннигиляцию (по определению и терминологическому обозначению автора).

И хотя ледник довольно быстро восстанавливает свои линейные размеры, до обретения им свойств непроницаемого барьера никакой внезапный выброс ледника невозможен.

С восстановлением основного объема ледника Колка (особенно его тыльной части, экранирующей главный газоподводящий канал, расположенный в узле пересечения Сырху-Барзондского и Восточно-Джимарайского разломов в литосферном субстрате ледника) и развитием диа- и катагенетических преобразований в ледниковой толще формирование локального непроницаемого барьера ледника Колка вступит в завершающую фазу, после чего возможность подготовки и проявления пароксизмального взрывоподобного газодинамического выброса ледника определится развитием лишь газовой поствулканической деятельности в данном районе.

\* \* \*

Время, необходимое для приобретения ледником свойств непроницаемого (газоупорного) барьера, зависит от скорости превращения накапливающегося ледникового фирна в лед [Мейер, 1964; Серебрянный, Орлов, 1985; Бергер, 2007а, с. 81-82; и др.], которая может в той или иной мере варьировать и, по аналогии с некоторыми альпийскими ледниками (Клариденфернер), составляет 25-40 лет [Серебрянный, Орлов, 1985].

В частности, согласно одному из определений, данных американским гляциологом М. Мейером [1964, с. 123], «граница между фирном и льдом проходит там, где уплотняющийся материал становится водонепроницаемым».

Если принять это определение, то до обретения ледником Колка свойств непроницаемого барьера (что является необходимым условием подготовки газодинамического выброса ледника) после восстановления ледника или значительной его части в их прежних границах и набора ледником минимально необходимого для создания и реализации условий его выброса объема (величину которого для ледника Колка приближенно можно оценить в 60-70 млн. м<sup>3</sup>) пройдет, как минимум, еще несколько десятилетий. Соответственно, следующий катастрофический газодинамический выброс ледника Колка, по особенностям современного состояния и развития экзодинамической системы этого ледника и при любых особенностях развития его эндодинамической системы, как уже отмечалось [Бергер, 2007а, с. 107-108], может произойти не ранее 2050-2055 года (с учетом современного состояния ледника, условий, тенденций, особенностей и темпов его послекатастрофического восстановления, труднопрогнозируемой эволюции климатических условий, а также неизбежной ускоренной пригрузки ледника обвальным материалом в ходе подготовки его газодинамического выброса). (Заметим в связи с этим, что обычное для ледника Колка обвальное-лавинное нагружение ледника не ведет к его уплотнению, разрыхлению, разрушению, пробиванию, выбиванию, срыву и т. п., как это иногда без достаточных оснований предполагается, а наоборот, наращивая слой поверхностной морены и, в целом, увеличивая толщину ледника, содействует процессам его уплотнения, режеляции, смерзания, монолитизации, упрочнения, т. е. содействует обретению ледниковой толщей (ее основной по толщине нижней несущей частью) свойств непроницаемого барьера на пути восходящей миграции глубинных газов.)

Этот вывод, базирующийся, прежде всего, на учете экзогенных условий в районе ледника Колка, в полной мере учитывает и установленную автором [Бергер, 2006б, с. 27; и др.] цикличность в развитии эндогенных условий в данном районе, прежде всего, величину интервала времени между последовательными прорывами

в подледниковое пространство ледника Колка необходимых для газодинамического выброса этого ледника значительных количеств высоконапорных глубинных поствулканических газов. Для известной истории ледника Колка величина этого интервала составляла 100-150 лет. Предполагать возможность значительного уменьшения величины этого интервала в ближайшие десятилетия нет достаточных оснований, однако, учитывая явную активизацию поствулканической деятельности в Казбекско-Джигарайском районе в первые десятилетия XXI в., в дальнейшем (после значительного восстановления ледника Колка и обретения им свойств непроцеваемого барьера, что произойдет не ранее 2050-2055 года) необходимы систематические наблюдения за возможными предвестниками газодинамического выброса ледника (см. ниже).

В течение этого времени (до 2050-2055 года) непосредственно на леднике Колка, вблизи от него и на удалении от него могут происходить самые различные природные и антропогенные (техногенные) события, в том числе гигантские обвалы и лавины, сильные землетрясения, наводнения, сели, любые проявления глобального или регионального потепления или похолодания, продолжительные ливни, интенсивные снегопады, интенсивное таяние, техногенные взрывы любой силы, киньсьемочные работы с любым пиротехническим сопровождением и т. д., и т. п., однако, проявление на леднике Колка и в Геналдонском ущелье катастрофы, подобной катастрофе 20 сентября 2002 г., в течение этого времени совершенно исключено [Бергер, 2008, с. 177]; предполагать же возможность проявления вулканических извержений в данном районе, как было показано [Бергер, 2008, с. 70-81], ни в ближайшем, ни в более отдаленном будущем нет оснований. На это указывают, прежде всего, данные об особенностях геофизических полей в районе Казбека [Заалишвили и др., 2015; Шемпелев, 2008; и др.].

В дальнейшем (после этого срока) возможность следующего катастрофического газодинамического выброса ледника Колка и конкретное время его проявления (включая относительно небольшую по продолжительности, не превышающую нескольких месяцев, стадию его явной поверхностной и близповерхностной подготовки) определятся эндогенными глубинными поствулканическими процессами, прежде всего, процессами газогенерации и восходящей миграции (концентрированного прорыва в область пониженных давлений, в том числе непосредственно под ледник Колка) высоконапорных глубинных природных газов в Казбекско-Джигарайском районе Приказбекской неовулканической области.

Необходимо подчеркнуть, что решение Колкинской проблемы, установление причин и механизма Колкинской катастрофы имеют отнюдь не только научно-теоретическое, «не важное» значение, как это пытаются представить некоторые авторы, не являющиеся специалистами в данной (или хотя бы в смежной с ней) области и оказавшиеся, естественно, совершенно неспособными ни получить решение Колкинской проблемы, ни понять такое решение, полученное другими, ни оценить его важность и значимость, в том числе чисто практическую. На самом же деле, все это имеет исключительно большое, жизненно важное значение, определяя возможности, пути и перспективы безопасного освоения Геналдонского ущелья и сопредельных территорий, а также целого ряда других перигляциальных районов и областей, прогнозирования и, по возможности, предотвращения опасных природных процессов, минимизации и, в идеале, исключения их негативных последствий.

\* \* \*

В целях долгосрочного прогнозирования катастрофических пульсаций ледника Колка важнейшее значение имеют данные о *периодичности (частоте)* их проявления в предшествующей истории ледника.

Имеющиеся в этой области фактические данные, к сожалению, статистически непредставительны, однако другими данными на этот счет наука пока не располагает.

Впрочем, даже при большей статистической представительности (репрезентативности) имеющихся в этой области данных, знание предшествующей периодичности повторения катастрофических пульсаций ледника Колка, безусловно, недостаточно для того, чтобы полагать, что такая периодичность будет выдерживаться и в дальнейшем.

С учетом установленной автором основной причины этих пульсаций (основного действующего, вызывающего их природного фактора – газового) для прогнозирования времени возможного их проявления исключительно большое значение имеет изучение поствулканической (особенно – газовой) деятельности в Казбекско-Джимарайском районе – ее общей эволюции, периодичности и длительности значительных пульсационных изменений ее интенсивности, пространственного (географического и структурно-тектонического) положения наиболее крупных газовыводящих каналов, состава и температуры газовыделений, их воздействия на ледники. Некоторые сведения по данному кругу вопросов приведены, в частности, в работах [Муравьев, 2005; Попов, 2006; Тавасиев, 2011, 2012; Тавасиев, Галушкин, 2014; Бергер, 2007б, с. 162-171; Бергер, 2008, с. 66 и далее; и др.]. Однако имеющиеся сведения, безусловно, недостаточны для уверенных заключений в этой области.

Наряду с закономерной эволюцией факторов, определяющих динамическое состояние ледника Колка в каждый данный момент времени, необходимо также иметь в виду практически непрогнозируемую (во всяком случае, в долгосрочном плане) возможность проявления тех или иных флуктуаций, в частности, в действии эндогенных флюидодинамических факторов, управляющих развитием геодинамической системы (мегасистемы) ледника Колка, что может вести к различного рода отклонениям от существовавшей ранее периодичности проявления катастрофических пульсаций этого ледника (особенно учитывая кумулятивный характер пульсационного газодинамического воздействия на ледник).

В силу изложенного выше, дальнейшая эволюция геодинамической системы ледника Колка, с чем могут быть связаны изменения частоты проявления его пароксизмальных катастрофических пульсаций, неизвестна и труднопредсказуема.

В таком труднопредсказуемом поведении ледника Колка и всей включающей этот ледник гигантской геодинамической системы (мегасистемы) нет ничего необычного. Как и в случае других неравновесных и, в силу этого, неустойчивых динамических систем, учитывая связи между их поведением, различным (и взаимонезависимым) характером управляющих факторов и флуктуациями этих факторов (значений соответствующих параметров), определяющих состояние и поведение систем на различных этапах их развития, «поведение системы должно содержать как детерминистический, так и статистический аспекты и, по крайней мере, с макроскопической точки зрения обладать некоторыми существенно непредсказываемыми свойствами» [Гленсдорф, Пригожин, 1973, с. 17].

\* \* \*

Повторяемость (периодичность) катастрофических пульсаций ледника Колка (его взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов), названная *мегациклическостью* [Бергер, 2003, 2004, 2006б], по данным за последние три столетия, как было отмечено выше, составляет 100-150 лет (1752–1902-2002 гг.). Существуют не имеющие, к сожалению, сколько-нибудь точной датировки сведения и о более ранних катастрофических пульсациях (пароксизмальных выбросах) этого ледника [Рототаев и др., 1983; Бергер, 2007а, с. 23-26; Бергер, 2008, с. 188-191].

Проявление таких событий, их нестрого периодическая повторяемость в истории ледника Колка определяются периодически происходящим в данном районе мощным гидравлически сосредоточенным концентрированным прорывом в верхние горизонты коры и интенсивным поступлением непосредственно под ледник (а отчасти и в приледниковую зону, особенно в приразломную трещинно-разрывную зону повышенной проницаемости горных пород) огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических газов и последовательным пульсационным (скачкообразным) резким возрастанием величины газового давления под ледником, т.е. являются чисто эндогенно газодинамически обусловленными. В 2002 г., уже после внезапного взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка, этот мощный концентрированный (струйный) газовый прорыв в данном районе продолжался в течение еще многих дней (с разгрузкой газов непосредственно в атмосферу). Однако первые прямые признаки такого прорыва, очень важные предвестники именно газодинамического выброса ледника, совершенно явно [Рототаева и др., 2005; и др.] проявились еще в ходе подготовки катастрофы, не менее чем за 20 дней до нее. Косвенные же признаки такого прорыва (и, соответственно, подготовки газодинамического выброса ледника) достаточно явно проявились на земной поверхности еще на полтора-два месяца ранее. Они выразились в значительной интенсификации обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка и в значительном понижении уровня р. Геналдон в ее верховьях, связанном с ростом трещиноватости и, соответственно, проницаемости горных пород и значительной интенсификацией процессов инфильтрации поверхностных вод в данном районе.

Подчеркнем: на всех этапах продолжавшейся в течение, по крайней мере, двух месяцев подготовительной стадии Колкинской катастрофы решающими, определявшими аномальный характер и интенсивность протекавших в течение этого времени на леднике Колка и в сопредельной с ним зоне процессов, безусловно, были ювенильные, глубинные, эндогенные газодинамические факторы, что выразились в явно и мощно проявившихся в течение этого времени на земной поверхности и вблизи от нее многочисленных предвестниках пароксизмального катастрофического газодинамического выброса ледника Колка [Бергер, 2006а, в, г, 2007б, г, 2008 и др.].

Напомним в связи с этим, что еще в первые годы изучения катастрофической пульсации ледника Колка автором [Бергер, 2006в, 2007б, 2008 и др.] была установлена глубокая закономерная генетическая связь с Колкинской катастрофой (и, соответственно, закономерная парагенетическая взаимосвязь) различных (во многом аномальных) природных процессов, проявившихся на леднике Колка и, в целом, в бассейне этого ледника примерно с июля 2002 г., – их типов (характера), последовательности, интенсивности (и ее эволюции), времени и места проявления, при всем различии их роли, характера и непосредственных причин связанных между

собой участием в происходившем в данном районе, в том числе в подледниковом пространстве, едином грандиозном по масштабам процессе подготовки, проявления и постпароксизмального завершения катастрофической пульсации (газодинамического выброса) ледника Колка и последующих вторичных и ореольных процессах.

Совершенно очевидно, что учет этих связей крайне важен для понимания и объяснения катастрофической пульсации ледника Колка и подобных ей ледниковых катастроф и для их средне- и краткосрочного прогнозирования и минимизации их негативных последствий.

\* \* \*

В случае тех или иных несоответствий между историко-гляциологическими сведениями о периодичности (частоте) проявления катастрофических пульсаций ледника Колка и имеющимися данными наблюдений за их возможными предвестниками большее значение, как правило, следует придавать последним.

Само собой разумеется, что при этом необходимо хорошо знать предвестники катастрофических пульсаций ледника Колка и уметь отличать их от предвестников некатастрофических пульсаций (быстрых подвижек) этого ледника.

Судя по имеющимся результатам изучения быстрых подвижек ледника Колка 1834-1835, 1902 и 1969-1970 гг., последние не ведут к газодинамическому выбросу ледника (соответственно, проявление таких подвижек или их предвестников еще не предвещает опасного развития событий), но и не исключают его. Но в этом случае обязательно должны проявиться предвестники *именно газодинамического выброса ледника*. Ни кинематические волны и другие проявления внутренней (внутриконтурной) подвижки ледника, ни продвижение ледника за пределы планового контура (т. е. собственно быстрая подвижка ледника) в число этих предвестников не входят.

В предшествующих работах [Бергер, 2006а, в, г, 2007б, г, 2008 и др.] автором достаточно подробно рассмотрены предвестники газодинамического выброса ледника Колка 2002 г.; многие из них не характерны для этапа активизации пульсирующих ледников, предшествующего началу их некатастрофической быстрой подвижки. Это, прежде всего, проявление фумарол на прилежащем к леднику северном склоне г. Джимарайхох и ее восточных отрогов, продолжительная (длящаяся в течение около двух месяцев) резкая и значительная интенсификация обвалов с этого склона на ледник Колка, продолжительное значительное и устойчиво сохранявшееся вплоть до выброса ледника понижение уровня р. Геналдон в ее верховьях (особенно показательно в случае его проявления в сезон таяния и дождей), ни метеорологически, ни аккумуляцией обвального материала не объяснимое быстрое и значительное вздутие (вспучивание, повышение уровня) поверхности ледника в его тыльной зоне (особенно в ее северной части) (проявление эффекта газового домкрата), также устойчиво сохранявшееся и возраставшее вплоть до выброса ледника, появление ранее отсутствовавших очень крупных трещин на леднике, предшествующий выбросу ледника горный удар большой силы, многочисленные проявления биопредвестников (беспокойства и аномального поведения животных), особенно в течение последних суток перед выбросом ледника, в том числе на удалении 15-20 и даже 30 км от ледника, а также целый ряд очень важных весьма краткосрочных, оперативных предвестников катастрофических пароксизмальных пульсаций ледника Колка.

В этих же работах автором была показана газодинамическая природа этих аномальных признаков – предвестников именно газодинамического внезапного выброса ледника Колка. Все эти признаки были обусловлены продолжительным мощным концентрированным прорывом к земной поверхности огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических природных газов, произошли в ходе этого прорыва и вследствие него.

Касаясь во многом близкой проблемы прогноза вулканических извержений, в частности, направленных взрывов вулкана Сент-Хеленс (США), Д. А. Свансон с соавторами [Свансон и др., 1984, с. 100] справедливо заметили, что «нужно все время обращаться к истории геологического прошлого, в то же время не допуская, чтобы сведения о частоте событий в прошлом чрезмерно ограничивали интерпретацию наблюдаемых предвестников активности». В отношении оснований для прогноза внезапных газодинамических выбросов ледника Колка и других горных ледников это замечание не менее справедливо, чем в приложении к проблеме прогноза вулканических извержений.

\* \* \*

Помимо отмеченной выше мегацикличности, возможно, существует и еще более крупная цикличность проявления катастрофических пульсаций ледника Колка особенно большой силы, когда газодинамические лавинообразные потоки в различной степени диспергированного (от гигантских глыб до тонкодисперсной пыли) ледово-каменного материала взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника, предваряемые гигантской по интенсивности ударной воздушной волной, в считанные минуты долетают до Скалистого хребта и далее, уже в виде высоконапорного аномально высокоскоростного селя, проникают через теснину Кармадонских ворот (Геналдонский каньон) еще на многие километры, как это было в 2002 г.

Такая цикличность, названная *суперцикличностью* [Бергер, 2008], судя по единственному полному достоверно зафиксированному (но, безусловно, далеко не единственному происходившему в истории ледника Колка) ее проявлению, составляет примерно 250 лет (суперцикл 1752-2002 гг.).

С учетом этого, следующий (после 2002 г.) столь мощный прорыв высоконапорных глубинных природных газов в районе ледника Колка и, соответственно, столь же сильный, как в 2002 и 1752 гг., пароксизмальный взрывоподобный направленный выброс этого ледника (а все выбросы ледника Колка в силу склонового, наклонного его залегания всегда носят направленный характер) можно ожидать примерно через 250 лет, в середине XXIII века. А примерно в середине этого срока (или, может быть, несколько ранее) может произойти катастрофический взрывоподобный выброс ледника Колка. Как можно думать, этот выброс, возможно, будет иметь несколько меньшую, чем в 2002 г., силу (подобно сдвоенным выбросам 3 и 6 июля 1902 г.).

Одним из важнейших условий, необходимых для проявления этих выбросов, как было сказано выше, является восстановление ледника Колка (основной, прежде всего, тыльной его части), возможность чего иногда ставится под сомнение или даже отрицается исходя из крайне неблагоприятных для оледенения Кавказа климатических условий в конце XX и начале XXI вв. и наблюдаемого (особенно – наблюдавшегося в первое десятилетие XXI в.) посткатастрофического состояния

ледника Колка. Однако в любом случае, при любом развитии событий на леднике Колка и в его подледниковом пространстве, а также на г. Джимарайхох и, в целом, в Казбекско-Джимарайском районе, по крайней мере, в течение ближайших нескольких десятилетий (до восстановления ледника Колка и обретения им свойств газонепроницаемого барьера в результате постседиментационных процессов уплотнения, смерзания, перекристаллизации, режеляционных и других структурно-минералогических преобразований [Гляциологический..., 1984; Серебрянный, Орлов, 1985; Маэно, 1988; и др.]) для каких-либо опасений по поводу возможности проявления катастрофических пульсаций (газодинамических выбросов) этого ледника и связанных с ними опасностей нет оснований.

\* \* \*

Вопреки восходящим еще к Э. А. Штеберу [1903] многочисленным утверждениям, настойчиво повторяющимся и в настоящее время, неоднократные пароксизмальные катастрофические пульсации ледника Колка 2002, 1902, 1752 гг. и более ранние, как должно быть совершенно очевидно, не имеют гляциальной (гидрогляциальной, гляциоклиматической, гидравлической, гидродинамической, селевой и т. п.), склоново-гравитационной и вообще экзогенной природы, не связаны с состоянием и внешним видом ледника Колка, не определяются его состоянием (и потому, на первый взгляд представляются незакономерными, случайными, оказываются совершенно неожиданными для специалистов по горному оледенению, обусловленными случайным стечением того или иного комплекса обстоятельств).

Напомним в связи с этим, как выглядел ледник Колка, по описанию Э. А. Штебера [1903] перед катастрофой 1902 г., в значительной мере (по своему характеру и причинам), безусловно, подобной катастрофе 2002 г. (при несомненных, но относительно второстепенных различиях между ними).

Как пишет Э. А. Штебер [1903, с. 236-237], «ледник Колка, если не считать питающих его фирнглетчеров, весь почти покрыт толстым слоем обломков из палеозойских (по современным представлениям – мезозойских. – М. Б.) сланцев (в основном, так называемых «глинистых сланцев» – преимущественно алевролитов и аргиллитов, обогащенных глубоко преобразованным рассеянным углеродистым органическим веществом. – М. Б.). Слой этот настолько велик, что местами на поверхности ледника появилась растительность, и весь ледник представляет из себя черную массу обломков, заполняющих дно ущелья Колка».

Именно таким было «впечатление, производимое, так сказать, умирающим ледником Колка» [Штебер, 1903, с. 237]. Как пишет далее Э. А. Штебер [1903, с. 242], «ущелье Колка служит, или вернее, служило пастбищным местом для скота». И ранее: «Трудно ожидать каких-либо грозных явлений со стороны заваленного мусором ущелья. Но гроза пришла оттуда, откуда меньше всего ее нужно было ожидать. Обвал (так обычно именовали в прошлом катастрофы, связанные с казбекскими ледниками. – М. Б.) произошел... не со стороны Майли, а со стороны Колка» [Штебер, 1903, с. 237].

Учитывая сказанное Э. А. Штебером [1903], необходимо заметить, более того, подчеркнуть, что, независимо от того, как будет выглядеть ледник Колка, в случае его даже частичного восстановления в качестве непроницаемого (газоупорного) барьера он может представлять собой значительную опасность, реализация которой определится лишь развитием эндогенных глубинных процессов газовой поствул-

канической деятельности в Казбекско-Джимарайском районе. И хотя активизация этих процессов не представляет и не предвещает никакой собственно вулканической опасности (в отличие от нередких высказываний противоположного характера по данному поводу), опасность проявления взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка в случае такой активизации со временем (с середины XXI в.) может оказаться достаточно реальной, независимо от внешнего вида этого ледника.

В случае возникновения в значительной по площади тыльной части ледника Колка даже относительно маломощного (толщиной порядка всего 20-30 м) сплошного монолитного непроницаемого (газоупорного) ледового (либо сцементированного льдом ледово-каменного, точнее, каменно-ледового) слоя, перекрывающего выходящий в этой части ледника основной газоподводящий канал, возникнет возможность взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника или его части.

Время проявления такого выброса определится временем концентрированного прорыва в данном районе высоконапорных глубинных поствулканических газов, интенсивностью их прорыва, их пластовым давлением, скоростью его пульсационного возрастания и суммарным количеством накопившихся непосредственно под ледником газов.

При этом небольшая толщина экранирующего подледниковое скопление высоконапорных сжатых природных газов ледового слоя (и, в целом, небольшая величина массы, накопленной ледником на момент прорыва природных газов в подледниковое пространство) будет *содействовать* газодинамическому выбросу ледника, приближать время его проявления, но приведет к уменьшению интенсивности выброса, измеряемой количеством выброшенного материала.

\* \* \*

Согласно традиционным гляциологическим представлениям, ледники являются автономными, самодостаточными в своем развитии природными физическими системами с внутренним источником энергии (гравитационной) [Шумский, 1974; и др.], испытываемыми со стороны внешней среды, в основном, лишь климатическое и гидрометеорологическое воздействие.

На этом основан и проводимый мониторинг опасных природных процессов, связанных с ледниками, в том числе с ледником Колка, – даже после катастрофы 2002 г., что связано с распространенными в гляциологии представлениями (фактически – постулативными утверждениями) о ее гляциальном (или гидрогляциальном, гляциально-селевом) генезисе.

Установление эндогенной (поствулканической) газодинамической природы этой катастрофы [Бергер, 2004, 2006а, в, 2007б и др.] требует принципиально иного подхода к мониторингу состояния ледника Колка и происходящих на леднике и в приледниковой зоне процессов (в том числе не только поверхностных, но и глубинных), прежде всего, преследующего цели прогнозирования связанных с этим ледником гигантских природных катастроф негляциального генезиса, типа катастроф 2002 и 1902 гг. Реализация такого подхода возможна лишь на основе эндогенных поствулканических газодинамических представлений о природе этих катастроф, их движущих причинах (управляющих факторах), механизмах их подготовки и протекания.

Сказанное в полной мере относится и к другим выбросоопасным пульсирующим ледникам, особенно уже проявившим себя как выбросоопасные в предшествующей истории, – в Казбекско-Джидарайском районе Центрального Кавказа (ледники Девдорак, Абано, возможно, Чач), на г. Уаскаран (Перуанские Анды), в Каскадных горах на северо-западе США, штат Висконсин (ледник Эммонс и другие ледники восточного склона вулкана Рейнир), на Аляске (Чугачские горы – ледник Шерман), на г. Арарат (восточная Турция) и, возможно, к некоторым другим.

### 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: РЕМАРКО, 2004. – С. 4-5.
3. 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: Олимп, 2006а. – С. 41-49.
4. Бергер М. Г. Динамические фазы и циклы развития ледника Колка // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ-Москва, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Олимп, 2006б. – С. 24-40.
5. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2006 в. – Т. 6. № 2. – С. 33-37.
6. Бергер М. Г. О событии на леднике Колка в 2 часа 21 минуту 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2006 г. – Т. 6. № 4. – С. 37-39.
7. 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.
8. Бергер М. Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007б. – 248 с.
9. Бергер М. Г. О необходимости проведения работ по предотвращению катастрофических пульсаций ледника Колка (К 5-й годовщине катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье) // Материалы VI Международной конференции «Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий». Владикавказ, 28-30 мая 2007 г. – Владикавказ: Терек, 2007 в. – С. 184-194.
10. Бергер М. Г. О предвестниках внезапного газодинамического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Материалы VI Международной конференции «Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий». Владикавказ, 28-30 мая 2007 г. – Владикавказ: Терек, 2007 г. – С. 194-208.
11. Бергер М. Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 264 с.

12. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. – М.: Мир, 1973. – 280 с.
13. Гляциологический словарь / Под ред. В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 528 с.
14. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Невский Л. Н., Шемпелев А. Г. Особенности геофизических полей над вулканическими постройками Северного Кавказа // Вулканология и сейсмология. – 2015. – № 5. – С. 50-56.
15. Маэно Н. Наука о льде. – М.: Мир, 1988. – 231 с.
16. Мейер М. Опыт определения терминов бюджета массы ледников // Вопросы динамики и современной эволюции ледников. Сборник статей. – М.: Прогресс, 1964. – С. 114-125.
17. Муравьев Я. Д. Газовое извержение в цирке – возможная причина развития подвижки ледника Колка по катастрофическому сценарию // Материалы гляциологических исследований. – 2005. – Вып. 98. – С. 44-55.
18. Панов В. Д. Наступание ледника Колка в 1969-1970 годах // Сборник работ Ростовской гидрометеорологической обсерватории. – Ростов-на-Дону. – 1971. – Вып. XII. – С. 61-67.
19. Панов В. Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 432 с.
20. Попов К. П. Травертины как летопись палеогидрогеологической и палеогеографической истории и ценные памятники природы // Вестник Северо-Осетинского отдела Русского геогр. общ-ва. – 2006. – № 10. – С. 24-32.
21. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. – 169 с.
22. Рототаева О. В., Котляков В. М., Носенко Г. А., Хмелевской И. Ф., Чернов Р. А. Исторические данные о подвижках ледников на Северном Кавказе и Кармадонская катастрофа 2002 г. // Материалы гляциологических исследований. – 2005. – Вып. 98. – С. 136-145.
23. Свансон Д. А., Касадевалл Т. Дж., Дзуризин Д., Ньюхолл С. С., Мэлоун С. Д., Вивер С. В. Прогнозы и предсказания извержений вулкана Сент-Хеленс, США // 27-й Международный геологический конгресс. СССР, Москва, 4-14 августа 1984: Землетрясения и предупреждение стихийных бедствий. Коллоквиум 06. Доклады. Т. 6. – М.: Наука, 1984. – С. 92-105.
24. Серебрянный Л. Р., Орлов А. В. Ледники в горах. – М.: Наука, 1985. – 160 с.
25. Тавасиев Р. А. Что спровоцировало Колку «на побег»? Северная Осетия. 19.01.2011. – № 6 (25786).
26. Тавасиев Р. А. Ледники Майли и Колка (Центральный Кавказ) // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2012. – Т. 12. № 3. – С. 37-45.
27. Тавасиев Р. А., Галушкин И. В. Каменно-ледовый обвал с горы Казбек 17 мая 2014 года // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2014. – Т. 14. № 2. – С. 43-45.
28. Шемпелев А. Г. Результаты глубинных геофизических исследований вдоль Геналдонского профиля // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г. / Ред. В. Б. Заалишвили. – Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008. – С. 457-463.

29. Штебер Э. А. Ледниковые обвалы в истоках Геналдона // Терский сб. – Владикавказ. – 1903. – Вып. 6. – С. 233-248.

30. Шумский П. А. Механизм скольжения и релаксационные автоколебания ледников // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. – 1974. – Вып. 24. – С. 59-64.

DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11240

## ABOUT THE TIME OF POSSIBLE MANIFESTATION OF THE NEXT CATASTROPHIC PULSATION OF THE KOLKA GLACIER

© 2018 M. G. Berger, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof.

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz,  
Markov Str., 93 a, e-mail: berger7@rambler. ru

The most vivid and significant in its consequences events in the history of the Kolka glacier are its paroxysmal catastrophic outbursts of 2002, 1902, and 1752 and not having an exact dating repeatedly occurred earlier. It is quite clear that such catastrophic pulsations of the Kolka glacier will occur in the future.

In order to minimize the negative consequences of these pulsations, it is necessary first of all to forecast the time of their possible manifestation and to observe their precursors.

As a result of the sudden gas-dynamic outburst that occurred on September 20, 2002, the Kolka glacier was completely destroyed.

Currently, the glacier is being restored. However, before acquiring the properties of an impermeable (gas-resistant) barrier (which depends on the rate of conversion of glacial firn accumulating into the ice bed), the manifestation of its next catastrophic pulsation is impossible. The time required for such a transformation is several decades (from the moment of firn accumulation in the composition of the glacial sequence).

**Keywords:** Kolka Glacier, catastrophic pulsation, gas-dynamic outbursts of the glacier, forecast, precursors, firn, ice.

### References

1. Berger M. G. O haraktere prirodnoj katastrofy 20 sentjabrja 2002 g. na lednike Kolka [About the nature of the natural disaster on September 20, 2002 on the Kolka Glacier]. Sbornik nauchnyh trudov Severo-Osetinskogo otdelenija AN VSh RF. No. 1. (I). Vladikavkaz, Terek, 2003. Pp. 16-17. (in Russian)
2. Berger M. G. Gazodinamicheskij vybros lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. – novoe katastroficheskoe prirodnoe javlenie [The gas dynamic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002 is a new catastrophic natural phenomenon]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah, Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, g. Vladikavkaz, 23-26 ijunja 2004 g. Vladikavkaz: REMARKO, 2004. Pp. 4-5. (in Russian)
3. Berger M. G. Prirodnaja katastrofa na lednike Kolka 20 sentjabrja 2002 g. – vne-zapnyj gazodinamicheskij vybros lednika [Natural catastrophe on the Kolka Glacier on September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic outburst of the glacier]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah, Doklady Mezhdunarodnoj konferencii. Vladikavkaz-Moskva, 23-26 ijunja 2004 g. Vladikavkaz: Olimp, 2006a. Pp. 41-49. (in Russian)

4. Berger M.G. Dinamicheskie fazy i cikly razvitija lednika Kolka [Dynamic phases and cycles of development of the Kolka glacier]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah, Doklady Mezhdunarodnoj konferencii. Vladikavkaz-Moskva, 23-26 ijunja 2004 g. Vladikavkaz, Olimp, 2006b. Pp. 24-40. (in Russian)
5. Berger M.G. Gazodinamicheskiy vybros lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. [The gas dynamic outburst of the Kolka Glacier on September 20, 2002]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2006v. Vol. 6. No. 2. Pp. 33-37. (in Russian)
6. Berger M.G. O sobytii na lednike Kolka v 2 chasa 21 minutu 20 sentjabrja 2002 g. [About the event on the Kolka Glacier at 2 hours 21 minutes on September 20, 2002]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2006g. Vol. 6. No. 4. Pp. 37-39. (in Russian)
7. Berger M.G. Tri gljaciodinamicheskie podvizhki i chetyre gazodinamicheskih vybrosa lednika Kolka. [Three glaciodynamic movements and four gas-dynamic outbursts of the Kolka glacier]. Maloizvestnye stranicy i diskussionnye voprosy istorii razvitija pul'sirujushhego lednika. M. KomKniga, 2007a. 120 p. (in Russian)
8. Berger M.G. Lednik Kolka: Katastrofa 20 sentjabrja 2002 g. – vnezapnyj gazodinamicheskiy vybros lednika [Glacier Kolka: The Catastrophe September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic outburst of the glacier]. M. Izd-vo LKI, 2007b. 248 p. (in Russian)
9. Berger M.G. O neobходимosti provedenija rabot po predotvrashheniju katastroficheskih pul'sacij lednika Kolka (K 5-j godovshhine katastrofy na lednike Kolka i v Genaldonskom ushel'e) [About the need to carry out works to prevent catastrophic pulsations of the Kolka Glacier (To the 5th anniversary of the catastrophe on the Kolka Glacier and the Genaldon Gorge)]. Materialy VI Mezhdunarodnoj konferencii «Innovacionnye tehnologii dlja ustojchivogo razvitija gornyh territorij». Vladikavkaz, 28-30 maja 2007 g. Vladikavkaz: Terek, 2007v. Pp. 184-194. (in Russian)
10. Berger M.G. O predvestnikah vnezapnogo gazodinamicheskogo vybrosa lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. [On the precursors of the sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002]. Materialy VI Mezhdunarodnoj konferencii «Innovacionnye tehnologii dlja ustojchivogo razvitija gornyh territorij». Vladikavkaz, 28-30 maja 2007 g. Vladikavkaz: Terek, 2007g. Pp. 194-208. (in Russian)
11. Berger M.G. Geodinamicheskaja sistema lednika Kolka i voprosy prognozirovanija i regulirovanija ee razvitija [The geodynamic system of the Kolka glacier and the problems of forecasting and regulating its development]. M. Izd-vo LKI, 2008. 264 pp. (in Russian)
12. Glensdorf P., Prigozhin I. Termodinamicheskaja teorija struktury, ustojchivosti i fluktuacij [The thermodynamic theory of structure, stability, and fluctuations]. M. Mir, 1973. 280 p. (in Russian)
13. Gljaciologicheskij slovar' [The Glaciological Dictionary]. Pod red. V.M. Kotljakova. L. Gidrometeoizdat, 1984. 528 p. (in Russian)
14. Zaalishvili V.B., Nevskaja N.I., Nevskij L.N., Shempelev A.G. Osobennosti geofizicheskikh polej nad vulkanicheskimi postrojkami Severnogo Kavkaza [Features of geophysical fields over volcanic structures of the North Caucasus]. Vulkanologija i sejsmologija. 2015. No. 5. Pp. 50-56. (in Russian)
15. Majeno N. Nauka o l'de [The science of ice]. M. Mir, 1988. 231 p. (in Russian)
16. Mejer M. Opyt opredelenija terminov bjudzheta massy lednikov [The experience of determining the terms of the mass budget of glaciers]. Voprosy dinamiki i sovremennoj jevoljucii lednikov. Sbornik statej. M. Progress, 1964. Pp. 114-125. (in Russian)
17. Murav'ev Ja.D. Gazovoe izverzhenie v cirke – vozmozhnaja prichina razvitija podvizhki lednika Kolka po katastroficheskomu scenariju [Gas eruption in the circus is a possible cause of development of the Kolka glacier movement in a catastrophic scenario]. Materialy gljaciologicheskikh issledovanij. 2005. Issue 98. Pp. 44-55. (in Russian)
18. Panov V.D. Nastupanie lednika Kolka v 1969-1970 godah [The advance of the Kolka glacier in 1969-1970]. Sbornik rabot Rostovskoj gidrometeorologicheskoy observatorii. Rostov-na-Donu. 1971. Issue XII. Pp. 61-67. (in Russian)

19. Panov V.D. Jevoljucija sovremennogo oledeneniya Kavkaza [Evolution of the modern glaciation of the Caucasus]. SPb. Gidrometeoizdat, 1993. 432 p. (in Russian)
20. Popov K.P. Travertiny kak letopis» paleogidrogeologicheskoj i paleo-geo-graficheskoj istorii i cennye pamjatniki prirody [Travertines as a chronicle of paleohydrogeological and paleogeographical history and valuable monuments of nature]. Vestnik Severo-Osetinskogo otdela Russkogo geogr. obshh-va. 2006. No. 10. Pp. 24-32. (in Russian)
21. Rototaev K.P., Hodakov V.G., Krenke A.N. Issledovanie pul»sirujushhego lednika Kolka [Study of the pulsating glacier Kolka]. M. Nauka, 1983. 169 p. (in Russian)
22. Rototaeva O.V., Kotljakov V.M., Nosenko G.A., Hmelevskoj I.F., Chernov R.A. Istoricheskie dannye o podvizhkah lednikov na Severnom Kavkaze i Karmadonskaja katastrofa 2002 g. [Historical data on the advances of glaciers in the North Caucasus and the 2002 Karmadon disaster]. Materialy gljaciologicheskikh issledovanij. 2005. Issue 98. Pp. 136-145. (in Russian)
23. Svanson D.A., Kasadevall T.Dzh., Dzurizin D., N»juholl S. S., Mjeloun S.D., Viver S.V. Progozy i predskazaniya izverzhenij vulkana Sent-Helens, SShA [Forecasts and predictions of volcanic eruptions in St. Helens, USA]. 27-j Mezhdunarodnyj geologicheskij kongress. SSSR, Moskva, 4-14 avgusta 1984. Zemletrjaseniya i preduprezhdenie stihijnyh bedstvij. Kollokvium 06. Doklady. Vol. 6. M. Nauka, 1984. Pp. 92-105. (in Russian)
24. Serebrjannyj L. R., Orlov A. V. Ledniki v gorah [Glaciers in the mountains]. M. Nauka, 1985. 160 p. (in Russian)
25. Tavasiev R.A. Chto sprovocirovalo Kolku «na pobeg»? [What provoked Kolka «to escape»?]. Severnaja Osetija. 19.01.2011. No. 6. (25786). (in Russian)
26. Tavasiev R.A. Ledniki Majli i Kolka (Central»nyj Kavkaz) [Glaciers Miley and Kolka (Central Caucasus)]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2012. Vol. 12. No. 3. Pp. 37-45. (in Russian)
27. Tavasiev R.A., Galushkin I.V. Kamlenno-ledovyj obval s gory Kazbek 17 maja 2014 goda [Stone-ice collapse from Mount Kazbek on May 17, 2014]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2014. Vol. 14. N. 2. Pp. 43-45. (in Russian)
28. Shempelev A.G. Rezul»taty glubinyh geofizicheskikh issledovanij vdol» Genaldonskogo profilja [The results of deep geophysical studies along the Genaldon profile]. Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territorijah Severnogo Kavkaza, Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Vladikavkaz, 20-22 sentjabrja 2007 g. Red. V. B. Zaalishvili. Vladikavkaz, VNC RAN i RSO-A, 2008. Pp. 457-463. (in Russian)
29. Shteber Je.A. Lednikovye obvaly v istokah Genaldona [Glacial landslides in the headwaters of Genaldon]. Terskij sb. Vladikavkaz. 1903. Issue 6. Pp. 233-248. (in Russian)
30. Shumskij P.A. Mehanizm skol»zhenija i relaksacionnye avtokolebanija led-nikov [Mechanism of sliding and relaxation self-oscillations of glaciers]. Materialy gljaciologicheskikh issledovanij. Hronika, obsuzhdenija. 1974. Issue 24. Pp. 59-64. (in Russian)