

УДК 551.24 (234.9)

DOI: 10.23671/VNC.2015.4.55296

ГАЗОГЛЯЦИОДИНАМИКА – НОВАЯ ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДНИКОВ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ЭНДОГЕННЫХ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО УРОВНЯ

© 2015 М. Г. Бергер, д.г.-м.н., проф.

Северо-Кавказский инновационный центр «Устойчивое развитие горных территорий», 362021, Россия, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,
e-mail: conf@skgmi-gtu.ru;

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler.ru

Показаны основания для выделения газогляциодинамики в качестве новой области исследований в науках о Земле. Определены объекты газогляциодинамики. Сформулированы основные задачи газогляциодинамических исследований. Обоснованы место газогляциодинамики в науках о Земле, ее связи и соотношения со смежными науками. Рассмотрены вопросы становления этой области. Охарактеризованы особенности современного этапа развития газогляциодинамики.

Ключевые слова: газогляциодинамика, эндогенные опасные природные процессы, ледниковые катастрофы, внезапные газодинамические выбросы, ледник Колка, Колкинская (Геналдонская, Кармадонская) катастрофа 2002 года, внезапный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника.

Теории возникают путем инспирированного эмпирическим материалом *понимания*.

В. Паули

Вулканические (газовые) струи действуют пароксизмами; они теснейшим образом связаны с вулканическими извержениями; но иногда они идут еще долго, спустя десятки тысяч лет после окончания извержений.

В. И. Вернадский

[Существует] природное единство двух противодействующих систем пластовых давлений: экзогенной, давящей вниз водно-гравитационной системы нормальных пластовых давлений, и эндогенной, рвущейся вверх газогеодинимической системы пластовых сверхдавлений.

К. А. Аникиев

Реальность является гораздо более сложной, чем мы можем себе вообразить.

И. Р. Пригожин

Ныне естественные науки открыты для всего неожиданного, которое больше не рассматривается как результат несовершенства знания или недостаточного контроля.

И. Пригожин, И. Стенгерс

При переходе от равновесных условий к сильно неравновесным мы переходим от повторяющегося и общего к уникальному и специфичному.

И. Пригожин, И. Стенгерс

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

П. Л. Капица

Наука уже приучила нас к тому, что если какое-то явление, о возможности которого раньше и не подозревали, имеет место хотя бы в одном случае, то оно возможно и вообще.

С. Д. Хайтун

Из конкретной сложности и многообразия явлений природы необходимо выбрать одно-единственное явление, в котором с наибольшей вероятностью ясно и однозначно должны быть воплощены следствия из рассматриваемой теории.

И. Пригожин, И. Стенгерс

Рост научного знания... быстро стирает грани между отдельными науками. Мы все больше специализируемся не по наукам, а по *проблемам*.

В. И. Вернадский

1. Становление газогляциодинамики как новой области исследований в науках о Земле. Некоторые особенности, объекты исследований и задачи газогляциодинамики

Зарождение газогляциодинамики как новой области исследований в науках о Земле и проведение первых исследований в данной области связаны с изучением грандиозной природной катастрофы 20 сентября 2002 г. с эпицентром на леднике Колка (северный мегасклон Центрального Кавказа, Республика Северная Осетия-Алания, Россия), расшифровкой ее эндогенной газодинамической природы, установлением ее причин и механизма протекания [Бергер, 2004, 2006 а, б, в, г, 2007 а, б]. В последующих работах автора (ссылки на некоторые из них приведены ниже) эти исследования получили дальнейшее развитие.

Важнейшим результатом этих исследований и основанием для выделения газогляциодинамики в качестве новой области науки стало установление *нового, ранее неизвестного типа катастрофических эндогенных природных явлений – взрыво-*

подобных направленных газодинамических выбросов ледников. Возможное существование в природе подобных явлений никем ранее даже не предполагалось и, естественно, не ожидалось (хотя, как сейчас ясно, для этого было немало оснований).

Такие крайне редкие, совершенно экстраординарные, уникальные по их особенностям, исключительно опасные, катастрофические по их гигантским масштабам и последствиям природные процессы и связанные с ними события происходили на Земле (в том числе на леднике Колка и в Геналдонском ущелье), безусловно, и ранее, однако их эндогенная газодинамическая природа и взрывоподобный характер протекания до самого последнего времени оставались неизвестными.

Эти явления, весьма специфические по особенностям процессы их, безусловно, длительной подготовки, почти мгновенного пароксизмального протекания и также весьма своеобразного и показательного по характеру продолжительного постпароксизмального завершения, с учетом их геодинамического характера, вызывающих их движущих сил и условий их проявления, были названы автором *газогляциодинамическими*, а область их изучения, соответственно, – *газогляциодинамикой*.

Говоря более развернуто, установление (выявление) подобных процессов и явлений, их диагностика (идентификация), описание, углубленное изучение, геодинамическая и генетическая характеристика – объяснение причин (действующих факторов), условий и механизма подготовки, запуска, протекания, прекращения и постпароксизмального завершения, прогнозирование, регулирование и, по возможности, предотвращение – *основные задачи газогляциодинамики* – новой области исследований в науках о Земле.

Важно подчеркнуть, что подобные явления и вызывающие их процессы не могут быть вполне адекватно их сущности удовлетворительно описаны, охарактеризованы, диагностированы и объяснены в рамках существующих представлений о динамически неустойчивых ледниках, с использованием понятийно-терминологического аппарата динамической гляциологии и классической географии в целом.

И безуспешность всех предпринятых гляциологами многолетних попыток охарактеризовать и объяснить Колкинскую (Геналдонскую, Кармадонскую) катастрофу 2002 г. (как и геодинамически подобную ей катастрофу 1902 г. также с эпицентром на леднике Колка) показала это с полной очевидностью.

Не могут быть такие явления и предсказаны на основе существующих теоретических представлений о развитии динамически неустойчивых ледников, что со всей очевидностью показал неоправдавшийся прогноз В.Г. Ходакова [1974] и К.П. Рототаева [Рототаев и др., 1983]. (Краткая оценка попыток оправдания этого прогноза дана в работе [Бергер, 2007 б, с. 94–96].) Имеющиеся в динамической гляциологии теоретические концепции не предполагают самого существования в природе подобных явлений.

Как было показано [Бергер, 2007 б], такие явления неоднократно происходили в истории развития ледника Колка.

Есть основания полагать, что именно такой характер имели гигантские ледниковые катастрофы XVIII–XX вв. и на некоторых других горных ледниках Центрального Кавказа, Закавказья, Перуанских Анд и Кордильер.

Еще в 2006 г. (статья была сдана в печать в октябре 2004 г.) автор [Бергер, 2006 а] отметил гетеротипию и гетерогению (гетерогенетичность) пульсаций ледника Колка, выделив в развитии этого ледника два принципиально различных типа пульсаций –

гляциодинамические (быстрые подвижки) и газодинамические (взрывоподобные выбросы ледника).

Как было отмечено [там же], ледник Колка является сложной неравновесной, динамически неустойчивой природной системой, состояние и развитие которой определяются, прежде всего, с одной стороны, аккумуляционно-абляционными процессами и бронированием ледника поверхностной мореной, что обуславливает устойчивый положительный масс-баланс ледника, возрастание массы ледника вплоть до критических ее значений и вызываемое этим периодическое проявление его релаксационных *гляциодинамических пульсаций* – продолжительных (многомесячных) быстрых подвижек (наступаний), происходящих, как известно, без отрыва наступившей части ледника от его основной части, продолжающей оставаться в пределах основного, планового контура ледника. Эта сторона динамики ледника Колка глубоко исследована К. П. Рототаевым, В. Г. Ходаковым и А. Н. Кренке [1983] на примере его подвижки 1969–1970 гг.

С другой стороны, развитие ледника Колка определяется процессами подледниковой аккумуляции поствулканических и иных природных газов и экранированием ледником образующихся газовых скоплений, что обуславливает повышение давления газа в этих скоплениях вплоть до критических его значений и вызываемое этим периодическое проявление *газодинамических пульсаций* (почти мгновенных катастрофических пароксизмальных выбросов) ледника. Их подготовке и проявлению благоприятствуют периодическое интенсивное поступление (сосредоточенный концентрированный прорыв) большого количества высоконапорных глубинных преимущественно поствулканических природных газов в подледниковое пространство в ходе их восходящей миграции; исключительно высокие экранирующие свойства ледниковой покрывки, благодаря чему ледник даже при сравнительно небольшой его мощности может выполнять роль надежного газоупора; наличие карового углубления под ледником, выполняющего роль геоморфологической ловушки природных газов; поверхностное залегание ледника, благодаря чему он изначально обладает свободной поверхностью; небольшая мощность ледника (десятки метров) и весьма пологое его залегание; весьма низкие плотностные свойства льда и другие природные факторы. (В последующих работах автора приведенный перечень подвергся углубленному анализу и был несколько расширен).

Эта сторона динамики ледника Колка установлена автором впервые, причем не только для этого ледника, но и в целом в динамической гляциологии, как и в динамической геологии и смежных с ними областях знаний.

* * *

Наиболее изученный пример, так сказать, эталон, генотип (генотипический образец) газогляциодинамических явлений – взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. (Колкинская катастрофа, более известная как Кармадонская или Геналдонская).

При всей уникальности Колкинской катастрофы и крайне недостаточной изученности подобных ей событий в их эпицентральных зонах эта катастрофа, безусловно, не является единственным событием такого рода.

К числу подобных событий с достаточным основанием можно отнести, прежде всего, катастрофические выбросы ледника Колка 1902, 1752 гг. и, безусловно, неоднократно происходившие, но не имеющие датировки более ранние катастрофи-

ческие пароксизмальные выбросы этого ледника, Уаскаранские катастрофы 1970 и 1962 гг. и более ранние, признаки (следы) проявления которых известны, Ара-ратские катастрофы 1840 г., Девдоракские катастрофы 1832, 1776 гг. и некоторые другие.

В случаях зафиксированного полного проявления подобных событий можно выделить следующие основные стадии их протекания в эпицентральной и сопредельной с ней зонах – подготовительную, предпароксизмальную (весьма важную, прежде всего, в прогностическом отношении); основную, пароксизмальную (особенности которой, естественно, наиболее существенны в диагностическом плане, для определения геодинамического типа, механизма протекания и установления причин катастрофы) и заключительную, постпароксизмальную (также весьма специфическую и показательную, прежде всего, в плане диагностики типа и установления причин катастрофы).

Хотя основное количество вызывающих внезапный выброс ледника сжатых газов, скопившихся непосредственно под ледником, выбрасывается в момент катастрофы и не может быть зафиксировано при отсутствии заранее спланированных наблюдений, а также отсутствии благоприятных условий для наблюдения, некоторые признаки газогляциодинамических событий, прежде всего, продолжительное интенсивное постепенно затухающее концентрированное поверхностное газовыделение, весьма существенные для определения характера этих событий и выявления их причин (действующих, вызывающих факторов), вполне наглядно могут проявиться и быть непосредственно выявлены, наблюдаемы, документально зафиксированы и изучены, в том числе с применением химико-аналитических методов, лишь на последней, заключительной (постпароксизмальной) стадии, после удаления (выброса) ледника или его значительной части, т.е. после удаления газопорного барьера (экранирующей крышки) и раскрытия бывшего подледникового пространства, в пределах которого на предварительной (предпароксизмальной, подготовительной) стадии создаются, а на основной (пароксизмальной) стадии катастрофы реализуются условия, необходимые для проявления взрывоподобного газодинамического выброса ледника.

Очень важные, вполне показательные и, в своей совокупности, геодинамически и прогностически однозначные *диагностические признаки* подготовки катастрофических *газогляциодинамических событий* проявляются, конечно, и на предпароксизмальной стадии и могут быть зафиксированы при проведении заранее спланированных соответствующих наблюдений.

Помимо продолжительной резкой интенсификации обвалов с окружающих ледник склонов и также продолжительного устойчивого аномального (происходящего даже в сезон таяния и дождей) значительного понижения уровня поверхностных вод в бассейне ледника (инфильтрационного, а также других гидрогеодинамических, гидрогеохимических и гидрогеотермальных эффектов), к числу таких признаков относятся, прежде всего, проявления аномальных поверхностных газовыделений в приледниковой зоне и значительное повышение напряженности состояния горнопородного массива в районе ледника. Последнее выражается в проявлении различных геомеханических, обвальных, сейсмических, электромагнитных и акустических эффектов на леднике, вблизи от него и даже на удалении от него (особенно в зонах повышенной чувствительности земной коры) и может сопровождаться (особенно при большой мощности готовящегося события) многочисленными

биопредвестниками (беспокойством и аномальным поведением животных). Само собой разумеется, что ни ускоренное нарастание массы ледника, вызванное его обвальной пригрузкой, ни готовящееся иногда предполагаемое обвально-ударное «выбивание» ледника, ни настойчиво предполагаемое гляциологами накопление аномально большого количества воды в леднике или под ним не могут обусловить проявление этих предвестников.

Еще одним из важных диагностических признаков подготовки катастрофических газогляциодинамических явлений (и, соответственно, их предвестников) может служить установленный автором [Бергер, 2007 а, с. 31 и 54–55; и др.] для подготовительной стадии взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка 2002 г. *эффект газового домкрата*, представляющий собой одно из специфических газогляциодинамических проявлений известного в механике подземного взрыва на выброс поршневого действия газов.

В случае наиболее изученной гигантской по масштабам Колкинской катастрофы 2002 г. все эти стадии проявились (и в значительной мере документально зафиксированы) наиболее полно, наглядно, исключительно ярко и мощно и, в силу их крайней необычности и специфичности, совершенно однозначно в генетическом и диагностическом отношениях – как признаки подготовки, проявления и постпароксизмального завершения именно взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника.

С учетом этого, в данной работе значительное внимание уделяется леднику Колка и его пароксизмальной катастрофической пульсации (взрывоподобному направленному газодинамическому выбросу) 2002 г., изучение которых лежит в истоках решения многих общетеоретических вопросов в данной области (а во многом – и самой их постановки).

* * *

Как было показано в предыдущих работах автора, основными движущими силами (управляющими природными факторами), вызывающими периодически повторяющиеся подобные пароксизмальные катастрофические пульсации ледника Колка, определяющими их характер, особенности подготовки, протекания и завершения и периодичность проявления, являются, прежде всего, гигантские, значительно превышающие предельные для геодинамической системы ледника Колка, напряжения, вызываемые восходящей концентрированной (струйной) миграцией (пароксизмальным прорывом непосредственно под ледник, представляющий собой жестко ограниченный ледовой облицовкой и боковыми породами локальный непроницаемый барьер) и быстрым накоплением под ледником огромных количеств высоконапорных глубинных (преимущественно поствулканических) природных газов и их пульсационно быстро возрастающим сверхвысоким пластовым давлением в подледниковом пространстве.

Накапливавшиеся в подледниковом пространстве непосредственно под ледником Колка высоконапорные природные газы, вероятно, были в той или иной мере разогретыми отчасти в связи с их глубинным поствулканическим происхождением, а отчасти в связи с их сжатым состоянием и аномальным сверхвысоким пластовым давлением под ледником. Все это содействовало отделению и отжатию ледника от его ложа еще на подготовительной стадии газодинамического выброса ледника (на ее заключительном этапе), развитию процессов трещинообразования в леднике, ос-

лаблению сил сцепления ледника с боковыми породами и, в конечном итоге, взрывоподобному газодинамическому выбросу ледника, снижая необходимые для этого энергозатраты.

Процесс гигантского по масштабам (площади эпицентральной зоны, количеству выброшенного материала, дальности его движения, прерванного лишь непреодолимой механической преградой Скалистого хребта, объему и площади образовавшегося перед Скалистым хребтом навала) взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка, при всей его скоротечности, носил, безусловно, неодномоментный, пульсационный, волновой характер, как это обычно бывает при известных природно-техногенных внезапных газодинамических выбросах особенно крупного масштаба, – начавшись в тыльной части ледника, он в течение немногих минут волнообразно распространился практически на всю площадь ледника.

Именно это (а не предполагаемая [Никитин и др., 2007, с. 3], но не способная ничего объяснить кинематика обвального-ударного воздействия на ледник) изначально обусловило волновой, пульсационный, стадийный, последовательный характер движения выброшенного ледово-каменного материала и установленную М. Ю. Никитиным с соавторами [2007 и др.] неоднофазность его накопления.

Весьма часто, впрочем, в качестве причин Колкинской катастрофы, а также других катастрофических газогляциодинамических (по всем известным их особенностям) явлений, видимо, по инерции, без учета и объяснения их особенностей, в соответствии с существующими гляциодинамическими представлениями, называют факторы, традиционно считающиеся причинами обычных (типичных) быстрых подвижек ледников и некоторых других чисто гляциальных по происхождению, собственно гляциодинамических явлений, – накопление ледником необходимой для обычной быстрой подвижки либо для срыва (обвала, обрушения) ледника или его части критической массы, наличие водной или водно-глинистой смазки на ложе ледника, накопление аномально большого количества воды в леднике или под ним, превышение сдвигающих (срывающих) сил над силами, препятствующими сдвигу (срыву) ледника и т.п., а также некоторые выходящие за эти рамки внешние события – землетрясения, обвальные удары по леднику, вулканический разогрев.

Но если бы причинами Колкинской и подобных ей по особенностям протекания ледниковых катастроф, действительно, были эти факторы, то и результатом их действия была бы обычная гляциодинамическая подвижка, подобная многим сотням известных ледниковых подвижек, типа многомесячных быстрых подвижек того же ледника Колка в 1969–1970 и 1834–1835 гг. (и, вероятно, более ранних), сдвиг или срыв ледника, а не катастрофический пароксизмальный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника, как это было на самом деле 20 сентября 2002 г. на леднике Колка, а вполне вероятно, и в некоторых других случаях.

Нельзя не заметить также, что все эти условия, факторы и события, часто привлекаемые в качестве предполагаемых причин Колкинской катастрофы 2002 г., в той или иной мере существовали, действовали и происходили и ранее, и позднее, и на леднике Колка, и на других ледниках, не вызывая, однако, подобных катастрофических последствий.

Отсюда со всей очевидностью следует, что причиной Колкинской катастрофы и подобных ей по характеру ледниковых катастроф было действие совершенно иных природных факторов, принципиально отличающихся от изучаемых динамической гляциологией.

Как установлено автором, периодически (хотя и не строго периодически) происходящие концентрированные прорывы огромных количеств высоконапорных глубинных поствулканических газов непосредственно под ледник Колка (а отчасти – и в сопредельную с ним зону) – основная исходная причина, приводящая к повторяющимся катастрофическим пароксизмальным взрывоподобным направленным газодинамическим выбросам ледника Колка, одним из которых был его выброс 20 сентября 2002 г.

Катастрофический газодинамический выброс ледника (газоледокаменный выброс, по составу выбрасываемого в ходе его проявления материала) – последний, заключительный этап на весьма протяженном и продолжительном пути пульсационного продвижения высоконапорных глубинных природных газов к земной поверхности под действием сил, определяемых градиентом пластового газового давления на различных гипсометрических уровнях.

При всей внезапности взрывоподобного проявления газодинамических выбросов и крайней скоротечности, почти мгновенности их протекания, они всегда за многие недели предваряются многочисленными весьма разнообразными по характеру предвестниками, выявление и углубленное изучение которых должно быть основой прогнозирования таких выбросов и, соответственно, должно определять систему методов мониторинга состояния ледника и сопредельной с ним зоны.

Особенно велика вероятность проявления газогляциодинамических событий (катастрофических взрывоподобных газодинамических выбросов ледников) в областях современной поствулканической или, более широко, близповерхностной постмагматической деятельности, что обеспечивает генерацию (выделение), накопление и концентрированный прорыв в верхние горизонты значительных количеств высоконапорных природных газов – главного действующего фактора, вызывающего газодинамические выбросы ледников и определяющего все их основные особенности.

В этих областях состояние и развитие некоторых ледников (не только газовыбросоопасных), вообще, в очень большой степени зависит от эндогенных флюидогеодинамических процессов, протекающих в их литосферном субстрате, в том числе на значительной глубине.

Установление характера в каждом конкретном случае, углубленное изучение и учет этой зависимости – одно из важнейших условий эффективности работ по выявлению и прогнозированию развития катастрофических эндогенных природных процессов, связанных с газодинамически неустойчивыми, газовыбросоопасными ледниками, а в дальнейшем, возможно, и работ по регулированию протекания этих процессов и предотвращению их негативных последствий.

Решение этих задач возможно лишь в рамках нового раздела в науках о Земле, названного автором *газогляциодинамикой*.

При этом наиболее крупными объектами (так сказать, мегаобъектами) исследований газогляциодинамики должны быть гигантские по масштабам сложные полиэлементные гетерофазные лито-газо-гидро-гляциальные природные геодинамические системы (мегасистемы), включающие не только ледники и области их питания, но и их литосферный субстрат (в том числе его глубинные зоны), принципиально отличающиеся от изучаемых традиционной гляциологией и, в целом, классической географией гляциологических природных систем, «свойства и динамика которых определяются льдом» (по определению В. М. Котлякова [1979, с. 180]).

В этой связи необходимо подчеркнуть (и это чрезвычайно важно для успешного изучения газогляциодинамических явлений), что газогляциодинамика не является частью динамической гляциологии в ее традиционном понимании.

Согласно развиваемым автором представлениям, пароксизмальные катастрофические взрывоподобные направленные выбросы ледников обусловлены вполне закономерными особенностями развития гигантских природных геодинамических (лито-газо-гидро-гляциодинамических) систем (мегасистем), включающих ледники в качестве лишь одного из своих элементов.

Сказанное в первую очередь относится к леднику Колка и включающей его геодинамической системе, а также к некоторым другим ледникам Казбекской группы, но, как есть основания полагать, не только к ним.

Изучение подобных геодинамических систем и закономерностей их развития, во многом определяющих специфику проявлений динамической нестабильности входящих в их состав ледников, как и изучение самих этих проявлений, имеющих иногда совершенно экстраординарный (не только по масштабам, но и по своей сути) характер, безусловно, далеко выходит за рамки традиционной динамической гляциологии.

С учетом специфики изучаемых ею объектов, газогляциодинамика находится на стыке, прежде всего, газогеодинимики, геомеханики, геологии, вулканологии и динамической гляциологии, соприкасается с ними и должна учитывать и использовать в своих исследованиях их результаты.

Исключительное значение для изучения газогляциодинамических явлений, их установления, реконструкции процессов их подготовки и протекания имеет детальная расшифровка инструментальных записей их сейсмического сопровождения [Заалишвили и др., 2004, 2005 а, б, 2007; Заалишвили, Мельков, 2008 а, б, 2012; Заалишвили, Харебов, 2008; и др.]. Сейсмический режим газогляциодинамических явлений до Колкинской катастрофы 2002 г. не изучался и, соответственно, имеющиеся результаты ее сейсмологического изучения зарождают важную часть газогляциодинамики – *газогляциодинамическую сейсмологию*, принципиально подобную по своему значению вулканической сейсмологии – получившей большое развитие необходимой составной части вулканологических исследований.

С другой стороны, эти области, в свою очередь, также должны учитывать результаты газогляциодинамического изучения внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников, прежде всего, их реальность, само существование подобных явлений и, соответственно, возможность их повторения.

Это касается, прежде всего, динамической гляциологии, особенно, естественно, той ее части, которая исследует и прогнозирует развитие динамически неустойчивых ледников (обычно именуемых пульсирующими). В частности, как писал автор еще около десяти лет назад [Бергер, 2007 б, с. 96], сейчас никакие прогнозы развития ледника Колка без учета газодинамической природы его катастрофических пульсаций (пароксизмальных выбросов), естественно, уже невозможны.

С учетом же, безусловно, эндогенной, преимущественно поствулканической природы газогляциодинамических явлений, вызывающих их причин, действующих факторов, которые определяют основные особенности подготовки, протекания и завершения этих пароксизмальных катастрофических явлений, газогляциодинамика в генетическом плане, а также в диагностическом, реконструктивном и прогностическом отношениях наиболее тесно смыкается, конечно, не с гляциологией,

а с вулканологией (включая вулканическую сейсмологию [Токарев, 1966, 1981 а, б; Гордеев, 1985; Горельчик и др., 1987; McNutt, 2005; и мн. др.]). И это вполне естественно с учетом геодинамической (газогеодинамической) и генетической (по характеру основного действующего фактора – высоконапорных сжатых глубинных газов) близости взрывоподобных газогляциодинамических явлений (выбросов) и также взрывоподобных (взрывных, эксплозивных) вулканических извержений (также нередко именуемых выбросами), генетически характеризуемых Г. Макдоналдом [1975, с. 125] следующим образом: «мгновенные или длительные, слабые или сильные – все вулканические эксплозии являются результатом выделения газа, который находился под давлением».

Необходимо иметь в виду, что, согласно оценкам В.В. Адушкина и др. [1984, с. 7], «сильные вулканические эксплозивные извержения не могут быть полностью отождествлены с одноактными взрывами на выброс». При всей их крайней скоротечности, составляющей немногие минуты, исключительно сильные пароксизмальные взрывоподобные газогляциодинамические явления (внезапные газодинамические выбросы ледников), безусловно, также не тождественны одноактным (одномоментным, мгновенным) взрывам на выброс.

При этом, в плане понимания современного состояния газогляциодинамики, необходимо учитывать, в частности, что, по мнению одного из крупнейших современных вулканологов Г. Макдоналда [1975, с. 9], вулканология – наука, которая находится еще на ранней стадии развития (и это – при весьма длительной истории вулканологических исследований в различных странах, огромном числе происходивших, непосредственно наблюдавшихся и детально изученных вулканических извержений и огромном количестве публикаций в данной области! – М. Б.) и только «в будущем, несомненно, приобретет то важное значение, которого она заслуживает».

* * *

Одной из наиболее изученных (но, безусловно, недостаточно изученных) геодинамических систем – объектов газогляциодинамических исследований является сложная гетерофазная полиэлементная система ледника Колка.

Эта система, включающая в качестве одного из своих элементов пульсирующий ледник Колка, принадлежит к особому типу неустойчивых динамических систем с субгоризонтально (слабонаклонно) залегающим непроницаемым барьером со свободной поверхностью.

С учетом весьма специфических особенностей их массоэнергообмена с окружающей средой, такие системы (прежде всего, их основное по объему нижнее полупространство, расположенное ниже непроницаемого барьера) автор предложил считать и именовать *полуоткрытыми*.

Расположенная в области активно протекающей поствулканической (в том числе газовой) деятельности, обусловленной интенсивными процессами генерации и восходящей миграции поствулканических флюидов, в том числе газовых струй и мощных гидродинамически сосредоточенных потоков глубинных высоконапорных поствулканических газов, эта система, с учетом особенностей ее геологического (в частности, структурно-тектонического) положения и внутреннего строения, выбросоопасна, т.е. предрасположена к нестрого периодически повторяющимся катастрофическим взрывоподобным направленным газодинамическим выбросам ледника Колка.

Разработанные автором представления о геодинамической системе ледника Колка как сложной неустойчивой динамической системе и особенностях ее развития, приводящих к повторяющимся пароксизмальным взрывоподобным газодинамическим выбросам этого ледника, полностью согласуются не только со всеми имеющимися весьма многочисленными фактами по Колкинской проблеме, но и с современными положениями геологии, геомеханики, газогеодинамики, термодинамики необратимых процессов и смежных областей науки.

Выявление и детальное (прежде всего, геологическое) изучение подобных современных и палеогеодинамических систем с газодинамических позиций – исключительно важная научная и прикладная задача будущего. Начало соответствующих работ положено исследованиями геодинамической системы ледника Колка. Более широкое распространение подобных исследований можно ожидать лишь после широкого признания представлений о газодинамической природе катастрофической пульсации ледника Колка 2002 года. Одновременно станут возможными разработка и создание научно обоснованных и эффективных систем мониторинга (отслеживания) подготовки и средне- и краткосрочного прогнозирования подобных катастроф.

* * *

Важнейшими задачами газогляциодинамики являются, прежде всего, выявление, изучение и описание взрывных (взрывоподобных) пароксизмальных ледниковых катастроф и оставленных ими следов, особенно в их эпицентральных зонах, а также зонах транзита (инерциального движения) выброшенного материала и его отложения (аккумуляции). При этом газогляциодинамические явления (наиболее изученные на примере Колкинской катастрофы 2002 г.) обнаруживают много общего с глубоко изученными техногенными малозаглубленными (близповерхностными) взрывами на выброс, особенно направленными, которые в большой мере могут служить натурными (и лабораторными) моделями взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников.

В частности, как показали по результатам лабораторных исследований А. Н. Ромашов и Н. Н. Симонов [1968], при близповерхностном положении гипоцентра (при малых заглублениях заряда) образующаяся *воронка (полость выброса)* имеет чашеобразную форму.

Именно как чашеобразную (как «огромную пустую чашу») определили форму полости выброса ледника Колка гляциологи [Котляков и др., 2014 а, с. 238; 2014 б, с. 125], так и не сумевшие, впрочем, понять и объяснить причину и механизм практически мгновенного образования этой гигантской «чаши», заключенный в ней генетический смысл. Соответствующий круг вопросов рассмотрен в специальной работе [Бергер, 2012 б].

Другие особенности этой воронки на начальной стадии ее существования, например, практически вертикальные борта на уровне свободной поверхности, также полностью соответствуют установленным особенностям воронок при взрывах на выброс [Ромашов, Симонов, 1968, с. 47] (в последующем эта особенность, естественно, не сохраняется).

* * *

Особый интерес представляют *отложения* взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников, слагающие разнофациальные, литологически

(в частности, гранулометрически) различные накопления нового, ранее неизвестного и пока малоизученного генетического типа осадочных образований.

Может быть, особенно характерным, показательным для отложений этого генетического типа является наличие в их составе гигантских ледяных глыб и огромного количества мелко- и тонкодисперсного ледяного и каменнопородного (моренного) материала.

При этом в генетическом плане особенно показательным наличие огромного количества тонкодисперсного материала в непосредственной близости от эпицентра выброса (а не только на большом удалении от него) и наличие гигантских ледяных глыб в навалу на огромном удалении от эпицентра выброса (а не только в непосредственной близости от него, в частности, не только в виде так называемых «останцов»).

Проведение на основе газогляциодинамических представлений детальных литолого-генетических исследований отложений этого генетического типа – важная и актуальная геологическая задача.

Вообще, геологическая изученность, генетическая расшифровка и диагностика отложений даже гораздо более частых и распространенных катастрофических явлений, чем газодинамические выбросы ледников, например, ураганов или бурь, совершенно недостаточны, в связи с чем выдающийся геолог академик Д. В. Наливкин [1969, с. 84] писал: «...Получилось своеобразное, интересное, но не совсем приятное явление. В геологической истории отсутствуют все ураганы, бури и штормы даже для верхнего голоцена, в течение которого они безусловно были. Это одно из слабых мест геологов. Катастрофических явлений они боятся и не умеют их находить». И в другом месте [Наливкин, 1969, с. 376]: «Геологи в своих объяснениях прибегают обычно к помощи моря (или, более широко, воды. – М. Б.) и тектоники: чуть что-нибудь новое – сразу говорят о морских отложениях и тектонических движениях».

При пароксизмальных газогляциодинамических явлениях (взрывоподобных направленных газодинамических выбросах ледника) гигантские глыбы льда и ледово-каменного материала с огромной скоростью субгоризонтально могут переноситься на многие километры и никаким воздействием воды, тектоники или «гравитационного агента переноса» объяснить это невозможно. Как и при взрывных вулканических извержениях (направленных вулканических взрывах) и техногенных направленных взрывах на выброс это может происходить только в результате очень мощного взрывного газодинамического воздействия на выбрасываемый материал.

Совершенно однозначен и высокобарический взрывной генезис и основного количества тонкодисперсного материала этих отложений.

* * *

Одними из важнейших задач газогляциодинамики являются прогнозирование газогляциодинамических явлений, обнаружение и изучение их предвестников, прослеживание связей, соотношений, зависимостей между различными природными эффектами (явлениями, признаками) предпароксизмальной стадии подготовки внезапного газодинамического выброса ледника, особенностями пароксизмальной стадии (кратковременной стадии проявления выброса) и постпароксизмальными эффектами (аномальные по характеру, интенсивности и другим особенностям проявления поверхностные газовыделения, обвальная-оползневая деятельность, селе-

вые процессы, гидроминеральные и гидротермальные явления и др.), которые прослеживаются в течение многих дней, недель, месяцев и даже лет после внезапного газодинамического выброса ледника и которые, как и особенности (признаки, следы) самого выброса и его предвестники, проявляются как в эпицентральной и близкой к ней плейстопароксизмальной областях, так и на различном удалении от эпицентра выброса в гораздо более обширной телепароксизмальной области.

При этом, если проявление предпароксизмальных эффектов (предвестников) в значительной мере (особенно поначалу, задолго до выброса) является скрытым и, соответственно, трудноопределимым, то весьма специфические по характеру постпароксизмальные эффекты внезапного газодинамического выброса ледника, являющиеся продолжением и завершением не только самого выброса, но и его предпароксизмальных эффектов, могут быть более явными и очевидными (особенно в эпицентральной зоне выброса и в непосредственной близости от нее), наглядно демонстрируя газодинамическую и, в целом, эндогенную природу выброса, его основные движущие факторы (причины) и одновременно проясняя генетическую сущность (происхождение) и прогностическое значение ряда предвестников выброса, предупредительный смысл их проявления и локализации (как и отсутствия, например, отсутствия каких-либо признаков поверхностного газовыделения над ледником при наличии таких признаков в сопредельной с ним зоне зарождения аномально интенсивных обвалов на ледник Колка в августе-сентябре 2002 г.).

В этом плане, в частности, еще около десяти лет назад автор писал: «Происходившие в течение длительного времени перед катастрофой (а затем продолжавшиеся многие месяцы после нее) интенсивные обвалы с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка были *не причиной* катастрофы на леднике Колка, представлявшей собой внезапный газодинамический выброс ледника, а *естественным следствием* (и характернейшим признаком, индикатором) ее длительной интенсивной подготовки, вызванной продолжительным мощным прорывом к земной поверхности огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических природных газов. Процессы подготовки этой грандиозной природной катастрофы были столь мощными и масштабными, что их проявления, естественно, не ограничивались лишь площадью самого ледника Колка, а распространялись и на приледниковую территорию, особенно – по разломным зонам» [Бергер, 2007 а, с. 60]. И далее: «Обвалы с г. Джимарайхох на ледник Колка, при всех их гигантских размерах (интенсивности) не сыграли столь уж существенной роли в катастрофе на леднике Колка и в Геналдонском ущелье. Они не были ни главной, ни даже второстепенной причиной этой катастрофы, а представляли собой лишь естественное, закономерное и неизбежное *следствие* развития начавшихся на значительной глубине и достигших земной поверхности интенсивных *эндогенных процессов подготовки этой грандиозной катастрофы, которые в конечном итоге и привели к взрывоподобному внезапному газодинамическому выбросу ледника*» [Бергер, 2007 а, с. 118]. (В 2014 г. основные из этих заключений, но без ссылок на автора, в кратком изложении были повторены гляциологами [Котляков и др., 2014 б, с. 110].)

Более развернутое рассмотрение этого круга вопросов, которым нередко придается исключительно большое значение в расшифровке причин и механизма Колкинской катастрофы 2002 г. и некоторых других гигантских ледниковых катастроф (в частности, Уаскаранских), проведено в работе [Бергер, 2012 в]. Повторим основной итог этого рассмотрения: обвалы, как и многие другие аномальные природные

явления, происходившие в июле-сентябре 2002 г. на леднике Колка, в области его питания и сопредельной с ними зоне, сопутствовали подготовке газодинамического выброса ледника Колка, предваряли и предвещали его, но не были ни главным, ни даже второстепенным, дополнительным фактором, действие которого является необходимым условием его проявления; для проявления газодинамического выброса ледника требуется выполнение целого ряда совершенно иных условий.

Специфическими особенностями газогляциодинамических событий являются, прежде всего, их пароксизмальный взрывоподобный характер, разрушение ледника до его ложа, исключительная скоротечность протекания, продолжительность которого не превышает немногих минут, и сравнительно большая длительность подготовки, которая в проявляющемся на поверхности достаточно явном виде составляет около двух месяцев, но в различных случаях в той или иной мере, вероятно, может варьировать (при этом случаи нередкого продолжительного отсутствия наблюдений за ледниками не имеют в виду).

В недавних публикациях [Бергер, 2012 а, б, в, г; 2015 а, б] автор затронул некоторые остающиеся недостаточно освещенными и дискуссионными вопросы изучения газодинамического выброса ледника Колка 2002 г. и связанные с ними вопросы газогляциодинамики. К этому же кругу относятся и многие другие во многом общие вопросы изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений.

* * *

Один из крупнейших специалистов в области изучения газодинамических явлений в угольных шахтах Б.М. Иванов [2005, с. 153] пишет: «Как известно, первый внезапный выброс угля и газа (внезапное выделение газа и угольной мелочи) зарегистрирован в 1834 году на шахте «Исаак» бассейна Луары во Франции. Это следует понимать так, что до 1834 года, возможно, многие десятки лет происходили подобные явления различного масштаба в рамках необычных повышенных газовыделений и лишь в 1834 г. научно-техническая мысль созрела до понимания необходимости классификации этого явления как самостоятельного типа, имеющего свои характерные (в том числе физические) особенности по причинам и механизму проявления».

В течение всего этого времени и, безусловно, задолго, за многие сотни и тысячи лет до этого, конечно, происходили и внезапные газодинамические выбросы («обвалы», «срывы», «сходы») ледников, в частности, «срыв» ледника Колка в 1752 г. Но лишь после гигантской пароксизмальной катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 года наука (но, естественно, не географическая, в частности, не гляциология) дошла до понимания того, что они собой представляют, каковы их причины и механизм проявления, до выявления их газодинамической природы и, соответственно, установления достаточно близкой физической (геомеханической) аналогии между ними и внезапными газодинамическими (газопородными) выбросами в подземных горных выработках (при всех естественных, закономерно обусловленных различиях между ними). Выявление, идентификация и изучение внезапных газодинамических выбросов ледников, происходивших в относительно недавнем и более отдаленном геологическом прошлом, – важнейшая задача исторической и палеогазогляциодинамики.

Детальному изучению, описанию особенностей, выявлению причин, раскрытию механизма внезапных газодинамических выбросов в подземных условиях по-

священы многие тысячи публикаций. Отметим лишь некоторые из них из числа сравнительно недавних.

В частности, в рудниках калийных месторождений отмечаются следующие особенности газодинамических явлений: внезапность, большая мощность (энергия), высокая скорость разрушения породного массива, разлетающиеся куски породы, выделяющиеся горючие и ядовитые газы, ударная воздушная волна [Щерба, 2004; Щерба и др., 2004].

В. Е. Забигаило, А. З. Широков и др. [1980, с. 10–11] отмечают, в частности, следующие признаки подготовки и протекания газодинамических явлений в угольных шахтах:

- 1) повышенное газовыделение из шпуров и скважин;
- 2) внезапное образование пылевого облака;
- 3) аэродинамический, сейсмологический и звуковой эффекты;
- 4) неоднoактный, циклический (пульсационный) характер протекания, многократная смена бурного и относительно спокойного проявления динамических явлений с выбросом угля не только сверху вниз, но и снизу вверх;
- 5) значительное измельчение выброшенной массы, образование больших количеств «бешеной муки»;
- 6) дальний отброс за закругления выработок;
- 7) образование полости выброса.

Особенно хотелось бы обратить внимание на приведенный в данном перечне четвертый признак, отмечаемый и другими специалистами, чрезвычайно важный во многих отношениях, в частности, в сейсмологическом. Аналогичные данные приводят, например, В. И. Николин с соавторами [1967] на основе полученных ими результатов регистрации распространения упругих колебаний в породном массиве в ходе протекания газодинамических (газопородных) выбросов. Согласно их данным, «процесс разрушения породы при выбросе характеризуется бурным взрывоподобным разрушением... Выброс – это серия разрушений, непрерывно следующих одно за другим» [Николин и др., 1967, с. 30 и 32]. Совершенно несомненно, что гигантский по масштабам (в частности, по охваченной им площади на леднике Колка) взрывоподобный газодинамический выброс ледника, безусловно, тем более должен был иметь подобный (а не одномоментный) характер. Характеризуя подземные выбросы породы и газа, В. И. Николин с соавторами [1967, с. 29] отмечают также, что «при выбросе породы имеет место разрушение от отрыва... При таких условиях разрушаются даже весьма пластичные тела». Хорошо известные весьма многочисленные проявления в подземных горных выработках внезапных выбросов солей, во многом сходных со льдом в данном отношении, – вполне очевидное доказательство этого.

Признаки, принципиально сходные с некоторыми из отмеченных выше для газодинамических явлений в подземных горных выработках, проявились, как известно, и при катастрофическом выбросе ледника Колка 2002 г. (Авторы [Забигаило и др., 1980], как и другие исследователи, отмечают и некоторые другие признаки внезапных выбросов в подземных горных выработках, которые, хотя и не указывают однозначно на газодинамическую природу этих явлений, но и не противоречат такому заключению.)

Специальное рассмотрение некоторых общих особенностей и, соответственно, связанных с этим общих вопросов изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений предпринято в следующей работе автора.

2. Особенности современного этапа развития газогляциодинамики. Вопросы методологии и гносеологии. Заключительные замечания

Исследование грандиозной природной катастрофы планетарного значения, происшедшей 20 сентября 2002 г. с эпицентром на леднике Колка, позволило установить новый, ранее неизвестный тип крайне редких, совершенно уникальных по своим особенностям, исключительно опасных, катастрофических по их гигантским масштабам и последствиям природных явлений – *пароксизмальные взрывоподобные направленные внезапные газодинамические выбросы ледников*.

Подобные гигантские пароксизмальные катастрофические природные явления на ледниках и в сопредельных с ними зонах, безусловно, происходили на Земле и раньше, но их эндогенная газодинамическая природа, участие и роль в их подготовке и проявлении высоконапорных глубинных природных газов до Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы 2002 г. оставались неизвестными.

Имеющиеся сведения о таких катастрофах, прежде всего, об особенностях их проявления в эпицентральных зонах, весьма отрывочны либо вообще отсутствуют, в связи с чем реконструкция характера их протекания в этих зонах и, соответственно, установление их действительной природы являются непростым делом и могут быть осуществлены лишь предположительно по косвенным данным.

Сравнение особенностей (признаков) детально изученной Колкинской катастрофы 2002 г. с особенностями ряда других, хотя и менее изученных в их эпицентральных зонах, гигантских пароксизмальных ледниковых катастроф, прежде всего, предыдущих Колкинских, а также Уаскаранских, Араратских, некоторых Девдоракских (Казбекских), катастроф в районе вулкана Рейнир на северо-западе США и других, механизм и причины которых до последнего времени оставались достоверно не установленными, свидетельствует о весьма близкой аналогии между ними и дает основания для предположений об их также эндогенной газодинамической природе и взрывоподобном газодинамическом характере протекания.

Чрезвычайная редкость проявления, уникальность (но, безусловно, неединичность) подобных гигантских по масштабам природных поверхностных эндогенных катастрофических явлений на ледниках вполне естественны и объяснимы: слишком трудно сочетаемыми (но, безусловно, не невозможными) являются основные природные условия, необходимые для их подготовки и реализации.

Выявление, доказательная диагностика и описание такого, нового типа природных явлений, их гигантский катастрофический уровень, вполне соизмеримый по многим основным параметрам с катастрофическим уровнем наиболее крупных природных катаклизмов (в частности, вулканических извержений), исключительная специфичность особенностей протекания, безусловная несводимость природы этих явлений к гляциодинамической (фактическая антиподальность этих явлений по особенностям их проявления, механизму протекания и вызывающим их причинам гляциодинамическим подвижкам), невозможность ни обоснованно предсказать, ни объяснить, ни даже просто описать и адекватно охарактеризовать эти явления на основе имеющихся теоретических концепций в области изучения ледников и связанных с ними опасных природных процессов – важнейшие и достаточные основания для выделения таких явлений в качестве объектов новой области исследований в науках о Земле.

Пароксизмальный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. (в последних гляциологических публикациях [Котляков и др., 2014 а, б и др.] часто именуемый «подвижкой ледника») и подобные ему катастрофические явления, с учетом всех известных фактов, характеризующих их особенности, не являются релаксационными склоново-гравитационными гляциодинамическими подвижками масс-балансовой природы в общепринятом в гляциологии традиционном понимании, находятся за пределами применимости этих представлений и не могут быть объяснены с этих позиций.

После 20 сентября 2002 г. (даты катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье) были предприняты многочисленные попытки описания, определения и объяснения этой катастрофы в рамках динамической гляциологии, с использованием общеизвестных традиционных гляциологических понятий и представлений и общепринятой гляциологической терминологии (аналогичные попытки многократно предпринимались и в отношении катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 1902 года, так и не получившей в течение ста лет удовлетворительного объяснения).

Однако, как было отмечено некоторыми гляциологами [Петраков и др., 2004, с. 31], «произошедшая в Осетии ледниковая катастрофа относится к нетипичным явлениям, поэтому общепринятая терминология не подходит для обозначения отдельных объектов и процессов».

Дело, однако, естественно, не просто в терминологии, а в сущности этих «объектов и процессов»: невозможность описания явлений с помощью гляциологической терминологии вполне естественна и является отражением, вполне очевидным показателем того, что эти явления, хотя они и произошли на леднике, – не гляциологические, а иные по своей природе и характеру (геодинамическому типу). И хотя Д. А. Петраков [2008], как и другие отечественные гляциологи, еще недавно придерживался представлений о гляциальном генезисе Колкинской и подобных ей катастроф, другие гляциологи [Котляков и др., 2014 а, с. 232; 2014 б, с. 104] в последнее время склоняются к мнению о негляциальной природе Колкинской (Кармадонской) катастрофы 2002 г.

Уточняя и дополняя приведенное выше высказывание Д. А. Петракова и др., необходимо заметить, что для обозначения катастрофы на леднике Колка, а также связанных с ней объектов и процессов не подходит общепринятая именно *гляциологическая* терминология. Гляциологическая терминология, действительно, не подходит ни для описания, ни для определения («обозначения»), ни для объяснения этой катастрофы. Совершенно не подходят и приводимые во многих публикациях гляциологические примеры аналогов этой катастрофы (различные ледниковые подвижки, обвалы, сели и пр.). И это – совершенно естественно, поскольку катастрофа на леднике Колка – явление не гляциологическое, не гляциодинамическое, а газодинамическое или, с учетом участия в нем ледника, – газогляциодинамическое.

Сущность и исключительно большая специфичность данного природного явления, его грандиозные масштабы и пароксизмальный катастрофический характер и, как можно с достаточным основанием полагать, неединичность проявления в природе подобных и связанных с ними (обусловленных ими) явлений определяют большое научное и прикладное значение их изучения и являются основанием для зарождения и развития новой важной области исследований в науках о Земле, названной автором *газогляциодинамикой*.

Повторим: происшедшая 20 сентября 2002 года гигантская природная катастрофа с эпицентром на леднике Колка, как было показано автором еще около десяти лет назад, представляла собой огромный по силе (энергии, мощности) *внезапный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника*.

Кроме газодинамических выбросов, взрывных (взрывных) вулканических извержений и метеоритных взрывов, нет никаких других природных явлений, которые характеризовались бы особенностями (признаками), подобными особенностям Колкинской катастрофы, проявившимся в ее эпицентральной области. Однако для предположений о вулканическом извержении или метеоритном взрыве в цирке ледника Колка нет никаких оснований: эти явления характеризуются многими другими важнейшими для их диагностики весьма существенными признаками, не присущими Колкинской катастрофе. Зато абсолютно все сколько-нибудь существенные достоверно установленные признаки этой катастрофы в ее эпицентральной области и характерные признаки внезапных газодинамических (газопородных) выбросов полностью совпадают.

В этой связи автор уже отмечал [Бергер, 2006 а, 2015 б и др.], что, в силу ее совершенно не гляциальной природы (это в 2014 г, наконец-то, признали и сами гляциологи [Котляков и др., 2014 а, б]), Колкинская катастрофа 2002 г. (ее геодинамический тип, механизм протекания и, соответственно, генезис) и подобные ей явления гляциологам неизвестны, непонятны и несмотря на весь имеющийся у гляциологов многодесятилетний опыт изучения ледников (на который некоторые из них не к месту зачем-то постоянно ссылаются), понимание этих явлений гляциологам (судя по их публикациям [там же и др.]), увы, совершенно недоступно.

Около десяти лет назад автор писал, что после Колкинской катастрофы были высказаны многочисленные версии о ее характере и причинах. Многие из них (обвально-ударного выбивания ледника, гляциодинамической подвижки, селя и пр.) находятся, однако, в противоречии с известными фактами и опровергаются новыми данными [Тутубалина и др., 2005 и др.]. Самое же главное состоит в том, что ни одна из предложенных версий, за исключением представлений о газодинамическом выбросе ледника, не позволяет объяснить ни одну из особенностей этой катастрофы. Представления же автора по данной проблеме позволяют не только установить газодинамическую природу основного события, происшедшего 20 сентября 2002 г. на леднике Колка и поразившего огромную территорию за его пределами, и на этой основе совершенно естественным образом легко объяснить все до единой особенности этой катастрофы, но и выявить остававшуюся до сих пор неустановленной и непонятной глубокую закономерную генетическую связь различных природных процессов, столь явно и мощно проявившихся в районе ледника Колка примерно с июля 2002 г. по сентябрь 2003 г. (и даже позднее) – их типов, последовательности, интенсивности (и ее эволюции), времени и места проявления, связанных (при всем различии их роли) участием в проявившемся в данном районе едином грандиозном катастрофическом процессе подготовки, проявления и последующего постпароксизмального завершения внезапного газодинамического выброса ледника Колка. Таким же положение в данной области остается в настоящее время и, вне всяких сомнений, останется и в дальнейшем.

Теперь уже ясно, что любые факты, которые могут быть установлены при исследовании пароксизмальной катастрофической пульсации ледника Колка 2002 г., вполне смогут найти место и получить объяснение в рамках газодинамической те-

ории этой катастрофы, в основе которой лежат представления о взрывном (взрывоподобном) механизме этой катастрофы и ее эндогенной газодинамической природе.

* * *

В пору расцвета науки в последней трети XX в., когда достаточно явно проявились и многочисленные негативные моменты в ее развитии, М. Малкей [1983, с. 37–44] напомнил о существовании стандартной концепции науки – совокупности гносеологических, эпистемологических и методологических воззрений, касающихся природы и строения научного знания, путей и способов его получения и обоснования, проверки и оценки полученных результатов, содержания, сущности, целей и идеалов научной деятельности, а также регулирующих ее норм и механизмов, и отметил, что естествоиспытатели лицом к лицу столкнулись с проблемами гносеологии, эпистемологии и методологии науки. Все эти и некоторые другие моменты, отчасти отмеченные М. Малкеем [1983], достаточно актуальны для современного состояния исследований по Колкинской проблеме и многочисленным другим проблемам газогляциодинамики (в том числе исключительно важным общим проблемам оценки и прогнозирования газовыбросоопасности ледников, изучения механического действия взрывоподобных газодинамических выбросов ледников, их сейсмического сопровождения, процессов ударноволнового воздействия на окружающую среду, характера катастрофических дисперсных потоков, генетического типа и фаций отложений и мн. др.).

При создании газогляциодинамики и разработке ее проблем приходится буквально продираться сквозь дебри непонимания, незнания и игнорирования фактов, их искажения, вольных и невольных заблуждений, необоснованных и ошибочных утверждений, артефактов, нарушений логики и т.п. На многие из этих моментов автор неоднократно обращал внимание в своих публикациях.

При всем разнообразии высказанных по данной проблеме представлений, предложенная и обоснованная автором еще в 2003–2004 гг. газодинамическая идентификация характера и причин гигантской природной катастрофы 2002 г. на леднике Колка и в Геналдонском ущелье и основанные на ней газодинамические теоретические представления об этой катастрофе и подобных ей катастрофических природных явлениях были и остаются единственной доказанной теорией, учитывающей все весьма многочисленные известные факты в этой области, опирающейся на них и легко их объясняющей. Собственно говоря, представления о газодинамической природе Колкинской катастрофы просто естественным образом совершенно однозначно следуют из этих фактов.

Появление в последующие годы новых фактических данных, прежде всего, документальных данных о состоянии ледника Колка и прилежащих склонов г. Джимарайхох и ее отрогов за восемь с половиной часов до катастрофы [Тутубалина и др., 2005], дало дополнительные основания для подтверждения справедливости газодинамических представлений и опровергло другие гипотезы и версии, получившие распространение в данной области, в том числе наиболее распространенные из них – обвално-ударные (выбивания ледника обвальным ударом) и водно-гляциальные (гляциодинамической подвижки) в любой их модификации.

В силу достаточной известности многих фактов, характеризующих природные явления, происшедшие около 20 часов 20 сентября 2002 г. на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, а также предшествовавшие катастрофе и последовавшие за

ней, определение геодинамического типа этой катастрофы представляет собой обратную геолого-геофизическую задачу. Эти явления, однако, в свою очередь, требуют непредвзятой, правильной и доказательной генетической расшифровки на основе характеризующих их фактов. Для такой расшифровки в данном случае иногда требуются знания, выходящие далеко за рамки классической географии и традиционной геологии. Но иного пути для понимания катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, реконструкции характера ее протекания (включая ее подготовительную и заключительную стадии) и определения вызвавших ее причин не существует.

Сказанное в полной мере относится к выявлению, генетической расшифровке и изучению и других пароксизмальных ледниковых катастроф.

Игнорирование эндогенной газодинамической природы грандиозной катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г. чревато новыми трагическими последствиями в случае весьма вероятного повторения подобных катастроф.

В этом плане обращает на себя внимание, в частности, что некоторые авторы при прогнозе дальнейшего развития событий в данном районе исходят из предполагаемого ими времени набора ледником некой критической массы. Однако для катастрофического газодинамического выброса ледника никакой сколько-нибудь определенной по величине критической массы не требуется. *Газодинамический выброс при условии способности выполнения ледником газоэкранирующей функции* (и, разумеется, наличия источника поступления достаточного количества высоконапорных природных газов, как в случае подледникового пространства ледника Колка) *может произойти при любой массе ледника*. И это, естественно, следует учитывать в прогнозных заключениях.

С другой стороны, любая набранная ледником масса еще не является основанием для мнения о приближении катастрофического пароксизмального выброса ледника, ибо для такого развития событий требуются совершенно другие условия – не гляциодинамические (и, конечно, не водно-гляциальные), а, обобщенно говоря, газодинамические, не имеющие непосредственной (тем более, взаимнооднозначной) связи с величиной набранной ледником массы.

К сказанному можно добавить, что интенсивно происходящая в последние десятилетия деградация горного оледенения не ведет к обязательному проявлению подобных катастрофических природных процессов, связанных с ледниками (проводимые иногда связи между глобальным потеплением и пароксизмальными ледниковыми катастрофами, в частности, Колкинской катастрофой 2002 г., как и между гидрометеорологическими условиями и Колкинской катастрофой 1902 г., лишены каких-либо оснований), но, в принципе, и не исключает их проявление, поскольку эти ледниковые катастрофы обусловлены действием не экзогенных, поверхностных, а эндогенных, глубинных природных факторов.

* * *

Характеризуя детально и глубоко изученные (в том числе с использованием высокоскоростной киносъемки и других методов) весьма многочисленные внезапные выбросы угля и газа, А.Э. Петросян, Б.М. Иванов и В.Г. Крупеня [1983, с. 107] отмечают, в частности, что «движение выброшенной массы происходит в виде высококонцентрированных дисперсных потоков в режимах флюидного потока или по-

тока в плотной фазе». При этом, согласно данному ими определению, «флюидный поток характерен движением не отдельных частиц, а общим течением всей массы» [Петросян и др., 1983, с. 69]. Внезапные газодинамические (газопородные) выбросы происходят, в основном, именно в виде (в режиме) флюидного потока, который способен переносить на значительные расстояния крупные куски породы, обтекать препятствия, распространяться по криволинейным каналам [Петросян и др., 1983, с. 71–72].

В полном соответствии с этими и другими данными и определениями, автор [Бергер, 2006 а, с. 49], характеризуя движение выброшенной 20 сентября 2002 г. ледово-каменной массы до Кармадонских ворот, на основании имеющихся фактических материалов [Панов и др., 2002; Осокин, 2002; Поповнин и др., 2003; Черноморец, 2005; и др.], определил его как вихреобразный флюидный дисперсный поток взвешенных в газовой среде продуктов газодинамического разрушения и выброса ледника Колка вместе с находившимся на леднике материалом обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов и материалом, захваченным этим потоком в процессе его движения.

Правда, гляциологи [Котляков и др., 2008, с. 206] подвергают это определение сомнению, полагая, что «огромная эродирующая сила» двигавшейся массы, «оставившей после себя долину, выпаханную массой льда, воды и камней, с резкой верхней границей на склонах», «вряд ли могли быть результатом» описанного автором потока. По их мнению [Котляков и др., 2008, с. 195 и 198], это был катастрофический ледово-каменный (высокоскоростной ледово-водно-каменный) сель. Но сели не имеют скоростей, существенно (да еще и на многокилометровом участке пути) превышающих 100 км/час, и не производят эродирующее воздействие огромной силы «с резкой верхней границей на склонах» на высоте в сотни метров над днищем долины (да еще и при крайней незначительности и даже отсутствии эродирующего воздействия на само днище на многокилометровом участке пути – в зоне транзита). Так что высказанное гляциологами сомнение и принимаемое ими определение характера (геодинамического типа) и природы катастрофического Геналдонского потока (до Кармадонских ворот) лишены оснований. Некоторые важные параметры катастрофического Геналдонского потока 2002 г. в зоне его транзита, также опровергающие представления гляциологов и других географов о его селевом характере, приведены в работах В.Б. Заалишвили с соавторами [Заалишвили, Мельков, 2012; Заалишвили и др., 2014 и др.].

В плане характеристики особенностей движения этого потока заметим также, что, в силу существования значительных градиентов скорости движения частиц в потоке при приближении к бортам ущелья, еще при обычной быстрой подвижке ледника Колка 1969–1970 гг. К.П. Рототаевым [1974, с. 112] был отмечен «вращательный эффект перемещения блоков менее активного льда в прибортовых контактных зонах», ни в малейшей мере не указывающий на «роторное», вращательное и т. п. движение всего ледово-каменного потока (всей перемещаемой потоком массы вещества) и, разумеется, не свидетельствующий об «ударно-вращательном» обвальном воздействии на ледник при его выбросе. Это – обычные образования в краевых частях турбулентного потока, в зонах его соприкосновения со стенками канала, обусловленные увеличением сил локального сопротивления.

Как писал автор еще в 2005 г., катастрофическое событие, происшедшее 20 сентября 2002 г. на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, в генетическом отноше-

нии и по характеру протекания не имеет ничего общего с ледниковыми подвижками и селями (хотя оно и породило гигантский сель уже за Кармадонскими воротами, т. е. примерно в двадцати километрах от эпицентра катастрофы, находившегося в тыльной части ледника Колка) и хотя эпицентр этого события и находился на леднике, оно является по своей природе не гляциодинамическим, а газодинамическим. Сейчас, спустя еще десять лет, можно только повторить это высказывание. Специальное рассмотрение некоторых вопросов данного круга проведено в работах [Бергер, 2015 а, б].

* * *

Несмотря на почти двухсотлетнюю историю изучения внезапных газодинамических выбросов и появление отдельных глубоких работ по данной проблеме, современное состояние этой области далеко от благополучного.

Одними из основных причин этого являются нерешенность вопроса об источниках основного количества газов, участвующих в этих выбросах, и неправомерно широкое распространение представлений, связывающих проявление внезапных газодинамических выбросов с действием десорбируемого газа и другими установленными или предполагаемыми формами связанного газа, как считается, высвобождающегося в ходе выбросов.

Излишне говорить о неприменимости подобных представлений к объяснению причин и механизма весьма многочисленных газосоляных, а также газопесчаных и некоторых других газопородных выбросов.

Неприменимы подобные представления и к объяснению причин и механизма газодинамического выброса ледника Колка и других газогляциодинамических событий.

Основной источник высоконапорных газов, вызвавших взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г., очевиден – им были глубинные поствулканические газы, постоянно генерирующиеся, выделяющиеся и концентрирующиеся в глубинных зонах Казбекско-Джимарайского района и всей Казбекской неовулканической области, пульсационно продвигающиеся (мигрирующие) вверх, в зону пониженного давления, и накапливающиеся непосредственно под ледником.

Существующие в горной геомеханике (особенно – отечественной) представления о причинах (действующих факторах), вызывающих внезапные газодинамические выбросы, все еще предположительны и неоднозначны. Одна из причин такого положения состоит в трудности постановки модельных экспериментов, которые позволили бы осуществить проверку различных представлений в этой области.

Вместе с тем, природа наглядно продемонстрировала недавно спонтанный (самопроизвольный) взрывоподобный направленный поверхностный внезапный газодинамический (газопородный) выброс огромной силы, не оставляющий никаких сомнений в характере вызвавших его причин. Основными результатами этого выброса были практически полная газодинамическая аннигиляция ледника Колка, освобождение занятой этим ледником полости, чрезвычайно высокоскоростной, почти мгновенный переброс огромной массы ледово-каменного материала из Колкинского цирка в Кармадонскую котловину и образование в этой котловине гигантского ледово-каменного навала (завала).

Происшедший 20 сентября 2002 г. внезапный газодинамический выброс ледника Колка со всей очевидностью показал, что именно *аномально высокое (сверх-*

высокое) давление свободных газов, скопившихся за локальным непроницаемым (газоупорным) барьером (ледником Колка), превышение газовым давлением величины создаваемого этим барьером геостатического давления, предела прочности газоупорного барьера на разрыв и сил его сцепления с вмещающими породами, а не «разрушающее» горное давление, не сорбированный газ и другие формы его связанного состояния и не десорбция и другие механизмы высвобождения связанного газа при разрушении пород горным давлением и в результате ведения горных работ (как нередко полагают в горной геомеханике) и, конечно, не вода в любом ее количестве (как обычно утверждают отечественные специалисты по динамической гляциологии) является основной причиной, главным действующим (вызывающим) фактором, важнейшим необходимым и достаточным условием проявления внезапных газодинамических выбросов, определяющим и полностью объясняющим все весьма специфические характерные особенности подготовки, протекания и завершения этих природных и природно-техногенных (при их техногенном инициировании) явлений.

При всем исходном генетическом различии между ними, газодинамические и газогляциодинамические явления принципиально сходны в геомеханическом отношении (в механизме их протекания) и, соответственно, должны рассматриваться в качестве геодинамических явлений-аналогов.

В наиболее явном виде проявившееся при поверхностном газоледокаменном выбросе ледника Колка это заключение в полной мере справедливо как для поверхностных, так и для подземных внезапных газодинамических выбросов, как для газоледокаменных, так и для газоугольных, газосоляных, газопесчаных и любых иных газопородных выбросов, независимо от литологического типа (состава, структуры) и генезиса выбрасываемых пород и независимо от состава выбрасывающих расширяющихся сжатых природных газов (который может быть весьма различным), их физико-химических свойств и происхождения. Некоторая генетическая специфика установленных автором различных типов таких выбросов рассмотрена ранее [Бергер, 2008, с. 134–136]. Там же показана генетическая специфика, присущая именно газогляциодинамическим явлениям – внезапным газодинамическим выбросам ледников.

С учетом неоднократной повторяемости гигантских по масштабам пароксизмальных взрывоподобных ледниковых катастроф и их проявления не только в данном, но и других районах Земли, значимость газогляциодинамических исследований неизмеримо возрастает, ставя пока только нарождающуюся газогляциодинамику в один ряд с такими имеющими огромное научное и прикладное значение областями исследования эндогенных опасных природных процессов, в том числе катастрофического уровня, как вулканология и сейсмология.

Как в какой-то мере показано в этой и предшествующих работах автора по данной проблеме, проявляющиеся на земной поверхности неоднократные пароксизмальные катастрофические пульсации (взрывоподобные внезапные направленные газодинамические выбросы) ледника Колка и, вполне вероятно, некоторых других горных ледников вызываются *глубинными* эндогенными геологическими (газгеодинамическими, газовыми поствулканическими или, более широко, постмагматическими) процессами, протекающими в земной коре, в основном, на значительной глубине и, в силу этого, а также в силу геотермодинамических условий их протекания, недоступными для непосредственного наблюдения.

В этом отношении пароксизмальные катастрофические взрывоподобные газодинамические пульсации (направленные выбросы) ледника Колка (и, вполне вероятно, некоторых других горных ледников) принципиально близки к также нередко катастрофическим по своим масштабам и последствиям поверхностным проявлениям других эндогенных геологических процессов с глубинным расположением очага, в частности, к проявляющимся на земной поверхности вулканическим извержениям (в том числе взрывным или эксплозивным) и тектоническим землетрясениям (причем, как и пароксизмальные катастрофические газодинамические пульсации ледников, и те, и другие, как известно, обычно вызывают вторичные поверхностные катастрофические явления различного типа).

В силу глубинного эндогенного характера вызывающих причин, исключительно большой силы (мощности) и гигантских масштабов отмеченных первичных эндогенных явлений и вызываемых ими последствий их предотвращение является в настоящее время невозможным. Зачастую пока малоуспешным является и прогнозирование этих явлений.

Однако научные исследования в этих направлениях ведутся. Все более значительными и совершенными становятся и технические возможности. Все большими становятся необходимость противодействия стихийным опасностям и катастрофам и понимание такой необходимости. Это вселяет надежду на то, что проблема предотвращения катастрофических пульсаций ледника Колка, исключения самой возможности их повторения со временем будет решена.

* * *

Вышеизложенное позволяет лишь отчасти очертить круг вопросов, с которыми неизбежно соприкасается теория развития динамически неустойчивых ледников в той ее части, в которой она затрагивает выбросоопасные ледники и проявляющиеся в ходе их развития грандиозные пароксизмальные ледниковые катастрофы – взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников, наиболее достоверно установленным и наиболее изученным (но, безусловно, далеко не единственным) из которых является газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. Многие из этих вопросов, как видим, далеко выходят за рамки традиционной динамической гляциологии и, в целом, классической географии. (Впрочем, как было показано [Бергер, 2011 а, б], возможная существенная роль эндогенных флюидодинамических факторов должна учитываться и в собственно динамической гляциологии – при изучении традиционно считающихся экзогенными, как правило, чисто гляциальными, классических быстрых подвижек ледников. Вполне показательно в этом плане, что и такие, значительно более распространенные, как обычно считается, собственно гляциодинамические пульсации характерны для ледников флюидогеодинически активных областей, отличающихся, по определению Г. Ю. Валукониса и А. Е. Ходькова [1973, с. 272], очаговой, направленной вертикально вверх разгрузкой подземных вод и газов, в том числе для того же ледника Колка и сопредельной с ним области.)

В приложении к ледникам все эти вопросы (и многие другие, непосредственно связанные с ними, но не затронутые в данной статье) в своей совокупности составляют предмет газогляциодинамики – новой области исследований эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня.

Разумеется, гигантские по масштабам пароксизмальные катастрофические взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников, подобные внезапному газодинамическому выбросу ледника Колка 2002 г., происходят на Земле в современную эпоху сравнительно редко. Могут пройти многие десятилетия, в течение которых ни одно такое событие нигде на земном шаре не произойдет. Но ведь и пароксизмальные катастрофические вулканические извержения (направленные вулканические взрывы) гигантского масштаба типа извержений вулканов Безымянный (Камчатка, 1956 г.) и Сент-Хеленс (США, штат Вашингтон, 1980 г.) происходят на Земле далеко не каждое десятилетие. Но они могут произойти и люди всегда должны быть готовы к этому.

Установление эндогенной газодинамической природы Колкинской катастрофы и неоднократно происходивших на Земле принципиально аналогичных гигантских по масштабам пароксизмальных ледниковых катастроф, выявление их сущности, механизма протекания и причин имеет фундаментальное научное и практическое значение. Оно закладывает фактологическую (эмпирическую), теоретическую и прикладную основу *газогляциодинамики* – новой области исследований ледников, а также включающих их сложных полиэлементных и гетерофазных литосферных геодинамических систем и связанных с ними эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня и позволяет подойти к прогнозированию, а в будущем, возможно, и регулированию катастрофических газогляциодинамических явлений, всегда приводивших до сих пор к многочисленным человеческим жертвам и разрушениям, но остававшихся до самого последнего времени нераспознанными, недиагностированными и, в своей сущности, неизученными.

Литература

1. Адушкин В. В., Гостинцев Ю. А., Фирстов П. П. О природе воздушных волн при сильных эксплозивных извержениях // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 3–11.
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 года – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ – Москва, 23–26 июня 2004 г. – Владикавказ: Изд-во Олимп, 2006 а. С. 41–49.
4. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2006 б. Т. 6. № 2. С. 33–37.
5. Бергер М. Г. О методике, результатах и перспективах исследований катастрофы на леднике Колка // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Юбилейный выпуск. Владикавказ: Терек, 2006 в. С. 257–259.
6. Бергер М. Г. Газогляциодинамические явления – новый тип катастрофических природных явлений // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Юбилейный выпуск. Владикавказ: Терек, 2006 г. С. 260–266.

7. Бергер М. Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника. М.: Изд-во ЛКИ, 2007 а. 248 с.
8. Бергер М. Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. М.: КомКнига, 2007 б. 120 с.
9. Бергер М. Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 264 с.
10. Бергер М. Г. О возможных эндогенных причинах быстрых подвижек ледников. Статья первая // Геология и геофизика Юга России. 2011 а. № 1. С. 38–47.
11. Бергер М. Г. О возможных эндогенных причинах быстрых подвижек ледников. Статья вторая // Геология и геофизика Юга России. 2011 б. № 2. С. 3–13.
12. Бергер М. Г. О некоторых расчетах количества поствулканических газов, необходимого для газодинамического выброса ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. 2012 а. № 1. С. 75–87.
13. Бергер М. Г. О воронке выброса ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. 2012 б. № 2. С. 55–64.
14. Бергер М. Г. О причинах интенсификации обвалов на ледник Колка перед его катастрофическим выбросом 20 сентября 2002 года и некоторых количественных оценках величины этих обвалов // Геология и геофизика Юга России. 2012 в. № 3. С. 65–90.
15. Бергер М. Г. О некоторых следах, оставшихся на месте ледника Колка, как показателей характера Колкинской катастрофы 2002 года // Геология и геофизика Юга России. 2012 г. № 4. С. 75–85.
16. Бергер М. Г. О проявлении ударной воздушной волны при взрывоподобном внезапном газодинамическом выбросе ледника Колка 20 сентября 2002 года // Геология и геофизика Юга России. 2015 а. № 2. С. 76–85.
17. Бергер М. Г. Вода, вода... (Об основной гляциологической версии причин и механизма катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 года) // Геология и геофизика Юга России. 2015 б. № 3.
18. Валуколис Г. Ю., Ходьков А. Е. Геологические закономерности движения подземных вод, нефтей и газов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1973. 304 с.
19. Гордеев Е. И. О возможном механизме низкочастотного вулканического дрожания // Вулканология и сейсмология. 1985. № 3. С. 68–77.
20. Горельчик В. И., Зобин В. М., Токарев П. И. Сейсмичность вулканов // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 61–77.
21. 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.
22. 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. 2005 а. Т. 5. № 3. С. 43–54.
23. 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. Вып. 3] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005 б. № 6. С. 13–17.

24. 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 XXI столетия: 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.

25. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. Особенности движения ледово-каменной массы 20 сентября 2002 г. по сейсмологическим и геоморфологическим данным // 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 а. С. 185–195.

26. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. Оценка интенсивности сейсмического события, вызванного сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года // 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 б. С. 196–201.

27. 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.

28. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. Особенности процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. и его макросейсмическое проявление по инструментальным данным современных регистрационных систем // Геология и геофизика Юга России. 2012. № 3. С. 29–44.

29. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Суаридзе Г. С. К вопросу создания математической модели процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра / [отв. ред. акад. Ю. Г. Леонов, В. Б. Заалишвили]; Центр геофиз. исслед. Владикавказ. науч. центра РАН и РСО-А. – Владикавказ, 2014. С. 181–184.

30. Забигайло В. Е., Широков А. З., Кратенко Л. Я., Лукинов В. В., Стовас Г. М. Геологические условия выбросоопасности угольных пластов Донбасса. Киев: Наукова думка, 1980. 192 с.

31. Иванов Б. М. Современные представления о классификации газодинамических явлений в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение «Безопасность». М.: Изд-во МГГУ, 2005. С. 153–167.

32. Котляков В. М. Главные задачи терминологической работы в области гляциологии // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. Вып. 35. М., 1979. С. 179–184.

33. Котляков В. М., Асоян Д. С., Кононова Н. К., Осокин Н. И., Рототаева О. В. Особенности катастрофических природных процессов на Северном Кавказе на рубеже XX – XXI вв. // Изменение окружающей среды и климата. Природные

и связанные с ними техногенные катастрофы. В 8 томах. Том III. Опасные природные явления на поверхности суши: механизм и катастрофические следствия. М.: ИГ РАН, ИФЗ РАН, 2008. С. 190–209.

34. Котляков В. М., Рототаева О. В., Носенко Г. А., Осокин Н. И., Чернов Р. А. Известные подвижки ледников на Северном Кавказе // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра / [отв. ред. акад. Ю. Г. Леонов, В. Б. Заалишвили]; Центр геофиз. исслед. Владикавказ. науч. центра РАН и РСО-А. – Владикавказ, 2014 а. С. 213–233.

35. Котляков В. М., Рототаева О. В., Носенко Г. А., Десинов Л. В., Осокин Н. И., Чернов Р. А. Кармадонская катастрофа: что случилось и чего ждать дальше. М.: Издательский дом «Кодекс», 2014 б. 184 с.

36. Макдоналд Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.

37. Малкей М. Наука и социология знания. М.: Прогресс, 1983. 254 с.

38. Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. Л.: Наука, 1969. 487 с.

39. Никитин М. Ю., Гончаренко О. А., Галушкин И. В. Динамика и стадийность развития Геналдонского ледово-каменного потока на основе дистанционного анализа // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2007. Т. 7. № 3. С. 2–15.

40. Николин В. И., Меликсетов С. С., Беркович И. М. Выбросы породы и газа. М.: Недра, 1967. 81 с.

41. Осокин Н. И. Ледниковая катастрофа в Осетии // География. 2002. № 43 (674). С. 3–7.

42. Панов В. Д., Ильичев Ю. Г., Лурье П. М. Ледниковый обвал в горах Северной Осетии в 2002 г. // Метеорология и гидрология. 2002. № 12. С. 94–98.

43. Петраков Д. А. Многостадийные ледниковые катастрофы как особый тип стихийно-разрушительных процессов гляциального генезиса // Материалы гляциологических исследований. 2008. Вып. 105. С. 87–96.

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

45. Петросян А. Э., Иванов Б. М., Крупеня В. Г. Теория внезапных выбросов. М.: Наука, 1983. 152 с.

46. Поповнин В. В., Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Черноморец С. С. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. № 1. С. 3–17.

47. Ромашов А. Н., Симонов Н. Н. О механизме образования и о подобии видимых воронок при взрывах на выброс в грунтах // Взрывное дело. Сборник № 64/21. Сейсмика и воронки выброса при подземных взрывах. М.: Недра, 1968. С. 42–57.

48. Рототаев К. П. Ледник Колка – факты и выводы // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. 1974. Вып. 24. С. 109–116.

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

50. Токарев П. И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы (1949–1963 гг.). М.: Наука, 1966. 118 с.

51. Токарев П. И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981 а. 164 с.

52. Токарев П. И. Вулканическое дрожание // Вулканология и сейсмология. 1981 б. № 3. С. 55–72.

53. Тутубалина О. В., Черноморец С. С., Петраков Д. А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. 2005. Т. IX. № 4. С. 62–71.
54. Ходаков В. Г. Особенности формирования баланса льда пульсирующего ледника Колка // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. 1974. Вып. 24. С. 116–125.
55. Черноморец С. С. Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005. 184 с.
56. Щерба В. Я. Борьба с газодинамическими явлениями в калийных рудниках стран СНГ // Динамические и газодинамические явления в калийных рудниках: Сб. статей Горного информационно-аналитического бюллетеня. 2004. № 5. М.: Изд-во МГГУ, 2004. С. 3–8.
57. Щерба В. Я., Башура А. Н., Андрейко С. С. Управление газодинамическими процессами на Старобинском месторождении калийных солей. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 194 с.
58. McNutt S.R. Volcanic seismology // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2005. P. 461–491.

DOI: 10.23671/VNC.2015.4.55296

GAS GLACIODYNAMICS AS A NEW FIELD OF INVESTIGATIONS OF GLACIERS AND RELATED TO THEM HAZARDOUS ENDOGENOUS NATURAL PROCESSES OF CATASTROPHIC LEVELS

© 2015 M. G. Berger, Sc.Doctor (Geol.-Min.), prof.

North-Caucasian innovation center «Sustainable development of mountain territories», 362021, Russia, RNO-Alania, Vladikavkaz, Nikolaev str., 44,
e-mail: conf@skgmi-gtu.ru;
GPI VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov str., 93 a,
e-mail: berger7@rambler.ru

Foundations for gas glaciodynamics definition as a new field of investigations in the Earth sciences are given in the article. Gas glaciodynamics objects are defined. The main tasks of gas glaciodynamics investigations are formulated. The place of gas glaciodynamics among the Earth sciences, its links and relations with allied sciences are proved. The article also considers the questions of this field formation. The features of the modern stage of gas glaciodynamics development are characterized.

Key words: gas glaciodynamics, hazardous endogenous natural processes, glacial catastrophes, sudden gas-dynamic surges, Kolka glacier, Kolka (Genaldon, Karmadon) catastrophe of 2002, sudden air-blast directional surge of the glacier.