

УДК 551.24(234.9)

DOI: 10.23671/VNC.2016.1.20711

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ И ГАЗОГЛЯЦИОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

© 2016 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

Рассмотрены некоторые вопросы изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений. Отмечена общность многих особенностей этих явлений, указывающая на главную роль газового фактора при их подготовке, запуске, протекании и завершении. Выделена специфика газогляциодинамических явлений.

Ключевые слова: газодинамические явления, газогляциодинамика, газогляциодинамические явления, внезапные газодинамические выбросы, катастрофические взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников, аномально высокое пластовое давление природных газов, выбросоопасность (газовыбросоопасность), ледник Колка, Колкинская катастрофа 2002 г., прогноз газовыбросоопасности ледника, предвестники выброса.

Природа проста, в ней нет места обилию излишних причин явлений. (*Natura enim simplex est & rerum causis superfluis non luxuriat* (лат.))

И. Ньютон

Newton I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. 1686. P. 402.

Не следует приписывать разным причинам, особенно причинам неизвестным, то, что можно объяснить одной известной.

Ф. Вольтер

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

В.И. Вернадский

Главное – внезапность... Внезапность взрыва – самая существенная сторона взрывных процессов.

Л.К. Белопухов

Проблема внезапных выбросов угля, пород и газов – одна из наиболее сложных проблем горной науки.

В.В. Ходот

Сам процесс выброса подобен явлению взрыва, и основное влияние на его развитие оказывают большие инерционные силы.

С.А. Христианович, Р.Л. Салганик

Физическая суть механизма породных выбросов представляется как спонтанный взрыв породы.

П.Я. Галушко

Первопричиной внезапных выбросов является газовое давление.

К. Пауль

Газ представляет источник силы и энергии.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

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

И.М. Петухов, А.М. Линьков

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

И.М. Петухов, А.М. Линьков

С точки зрения совершения работы... газообразные продукты являются лучшими из реально существующих рабочих тел.

С.Г. Андреев, А.В. Бабкин, Ф.А. Баум и др.

При взрывах на сброс потери энергии на отделение выбрасываемой породы от массива и ее дробление оказываются незначительными по сравнению с той работой, которая совершается при перемещении этой породы в поле силы тяжести.

А.Н. Ромашов

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

В.В. Ходот

Основным носителем энергии, развязывающим газодинамические явления, может быть только газ в свободном состоянии.

А.Э. Петросян, М.Ф. Яновская, Б.М. Иванов, В.Г. Крупеня

...Лед является физически твердым телом и как таковое обладает ограниченной прочностью, т. е. при достижении напряжениями критических значений он испытывает хрупкое разрушение (отрывом или сколом), и это свойство важно – оно при определенных условиях проявляется в реальных ледниковых образованиях, приводя к наблюдаемым трещинообразованию и разрушению льда в них.

С.С. Григорян

Внезапные выбросы чаще всего происходят вблизи региональных или локальных геологических нарушений.

В.В. Ходот

Процесс разрушения породы при выбросе характеризуется бурным взрывоподобным разрушением... Выброс – это серия разрушений, непрерывно следующих одно за другим.

В.И. Николин, С.С. Меликсетов, И.М. Беркович

Внезапные выбросы угля и газа происходят не мгновенно – процесс выброса длится несколько минут. Акустическими и сейсмоакустическими способами оценки газодинамического состояния выбросоопасного массива установлено, что подготовка и развитие выброса происходят скачкообразно, причем интервал между отдельными скачками может быть относительно большим – до двух суток.

Ю.М. Бирюков

Все выбросы, независимо от выбрасываемого материала, имеют общую природу и характер протекания. Различия между ними сравнительно невелики и касаются не слишком существенных деталей явления.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Выше в многочисленных высказываниях, приведенных в качестве эпиграфов к этой работе, в концентрированном виде содержатся некоторые важнейшие сведения, полученные в ходе примерно двухсотлетних исследований внезапных взрывоподобных газодинамических выбросов в подземных горных выработках, а также техногенных направленных взрывов (взрывов на сброс). Все эти сведения в полной мере справедливы и для газогляциодинамических явлений – внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников, безусловно, происходивших на Земле в течение многих предшествующих столетий и тысячелетий, но впервые диагностированных (идентифицированных в качестве газодинамических выбросов) лишь после гигантской Колкинской (Геналдонской, Кармадонской) природной катастрофы 20 сентября 2002 г., представлявшей собой в ее эпицентральной и сопредельной с ней области внезапный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка [Бергер, 2004]. (Наряду с широко известными, некоторые из приведенных выше высказываний, возможно, мало известны специалистам, занимающимся изучением этой катастрофы. Впрочем, напоминание некоторых широко известных высказываний в данном случае также, может быть, не лишено смысла.)

В соответствии со сказанным, *газодинамические и газогляциодинамические явления представляют собой геодинамические явления-аналоги*, причем имеющее почти двухвековую историю изучение первых из них и многие полученные в этой области результаты – важнейший фундамент пока лишь зарождающейся, находящейся в стадии становления, на самом начальном этапе развития, газогляциодинамики – новой области исследований в науках о Земле. Настоящая статья продолжает рассмотрение данного круга вопросов.

С учетом существующих определений понятия о внезапных газодинамических выбросах в подземных горных выработках и многочисленных сведений, содержащих описание этих явлений, *внезапный газодинамический выброс, в случае наиболее полного его проявления, представляет собой взрывоподобный, быстропротекающий (почти мгновенный), обычно направленный выброс угля, соли, песчаников, льда, вулканических и других горных пород, образующих газоупорные (практически непроницаемые) барьеры со свободной поверхностью, и газа (метана, углекислого газа, сернистых газов, азота, паров воды и др.), происходящий под энергетически-силовым воздействием аномально сверхвысокого пластового давления большого количества расширяющихся сжатых природных газов и большого градиента (перепада) газового давления вблизи свободной поверхности газоупорного барьера и сопровождающийся разрушением материала этого барьера и сопредельных с ним в первичном залегании пород с образованием обломков различного размера – от гигантских глыб до пыли (особенно характерно измельчение обломков до мелко- и тонкодисперсного состояния – так называемой бешеной муки) и их отбросом (разлетом, метанием), проявлением ударной воздушной волны и образованием полости выброса (воронки, кратера), а также постепенно затухающим посткатастрофическим поверхностным газовыделением в эпицентральной области.*

Газодинамические выбросы происходят в различных условиях и так или ина-

че связаны с различными природными факторами, одни из которых содействуют проявлению выбросов, другие препятствуют этому либо играют сложную, неоднозначную роль в их подготовке и проявлении. И лишь одно условие, действие лишь одного природного фактора является во всех случаях обязательным – *наличие достаточно высокого (аномально сверхвысокого) пластового давления достаточно большого количества природных газов* (в связи с чем эти явления с полным основанием именуется *газодинамическими*). Сказанное в полной мере справедливо и в отношении *газогляциодинамических явлений – внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников*.

Обобщенно говоря, внезапный газодинамический выброс включает [Петухов, Линьков, 1978; и др.]:

- 1) различную по продолжительности подготовительную стадию, завершающуюся запуском выброса;
- 2) саморазвивающийся лавиннонепрерывный процесс разрушения части горно-породного массива;
- 3) выброс обломочных продуктов разрушения в потоке расширяющегося газа и их инерциальное движение под действием запасенной ими кинетической энергии;
- 4) постепенно затухающее газовыделение из полости выброса (проявляется обычно лишь в случаях выбросов большой мощности).

В качестве отдельной, особой (четвертой) стадии процесса И.М. Петухов и А.М. Линьков [там же] выделяют остановку волны разрушения и окончание динамического явления.

Как пишут далее И.М. Петухов и А.М. Линьков [там же], «деление на стадии, строго говоря, характеризует резкие последовательные (отчасти – для второй и третьей стадий – в какой-то мере накладывающиеся друг на друга, весьма сближенные по времени протекания. – М.Б.) изменения в деформировании фиксированного элемента среды при динамическом явлении. Однако разные элементы могут находиться в разных стадиях деформирования в один и тот же момент времени» (и это – важнейшее условие того, что внезапный выброс, при всей его взрывоподобности, – отнюдь не строго одномоментное, лишь относительно, *почти* мгновенное, а не полностью, не совершенно мгновенное явление, имеющее ту или иную, в разных случаях различную, продолжительность. – М.Б.). (См. также [Петухов, Линьков, 1983, с. 150, подстрочное примечание]). Это тем более вероятно, более того, неизбежно при столь гигантских размерах (в сравнении с размерами обнаженной поверхности забоя любой подземной горной выработки) такой подверженной газодинамическому воздействию среды, как ледник, даже сравнительно небольшой по площади (порядка 2,5 км² или даже менее) карово-долинный ледник Колка, особенно учитывая, безусловно, пульсационное проявление выброса и волнообразный характер его распространения на различные части площади поверхности ледника. Пульсационность развития выбросов (с остановками фронта волны послойного отрыва), иногда именуемая цикличностью, фиксируется сейсмоакустическими методами [Петухов, Линьков, 1976, с. 3].

Касаясь энергетически-силовых аспектов газодинамических выбросов, авторы [там же] пишут: «Внезапный выброс – динамическое явление, развивающееся главным образом путем последовательных отрывов газом частиц с обнаженных поверхностей. Отделение частиц происходит под действием силы, возникающей из-за перепада в давлении газа...». И далее: «Особенности протекания выброса в зна-

чительной мере определяются энергетическими показателями... Энергия, нужная для отрыва, значительно меньше энергии, необходимой для разрушения материала при сжатии (например, при взрыве с помощью аммонита или других взрывчатых веществ. – М.Б.) (более 25 кгм/м³) или при дроблении падающим грузом (например, обвальным ударом, в том числе «сосредоточенным». – М.Б.) (более 1000 кгм/м³). Поэтому с энергетической точки зрения послойный отрыв – наиболее выгодный способ разрушения... Энергия одного лишь свободного газа в угле (без учета сорбированного) превышает 10000 кгм/м³. Поэтому на отрыв расходуется лишь ничтожная ее доля, а газ, расширяясь при развитии выброса, способен совершить громадную работу» [Петухов, Линьков, 1976, с. 6–7].

Приведенные сравнительные количественные энергетически-силовые характеристики весьма показательны для оценки механизмов воздействия различных факторов на ледник Колка, предложенных для объяснения особенностей Колкинской катастрофы, и, безусловно, полностью опровергают все эти механизмы и факторы, за исключением газодинамического.

Все отмеченные выше газодинамические процессы в полной мере, совершенно явно и глубоко проявились при внезапном газодинамическом выбросе ледника Колка 20 сентября 2002 г. При всем его безусловном своеобразии (и, может быть, особенно, своеобразии вызванных им вторичных явлений, прежде всего, гигантского аномально высокоскоростного гляциального селя за Кармадонскими воротами), внезапный газодинамический выброс ледника Колка во всех основных его особенностях полностью укладывается в отмеченные выше рамки признаков газодинамических явлений, что однозначно указывает на газодинамический характер протекания и основной действующий фактор (причину) этого явления и подтверждает приведенное выше в качестве последнего эпиграфа к данной статье высказывание И.М. Петухова и А.М. Линькова [1983, с. 245], крупнейших специалистов в данной области. С учетом безусловной специфики данного выброса, определяемой гляциальными условиями подготовки и протекания внезапного выброса ледника Колка и эндогенным поствулканическим характером природных газов, вызвавших этот выброс, а также неизвестности (недиагностированности) до 2002 года внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников, газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. с достаточным основанием может считаться новым катастрофическим природным явлением [Бергер, 2004], а его изучение с газодинамических позиций представляет собой начало новой области исследований ледников и связанных с ними эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня, названной автором *газогляциодинамикой*. Особенности становления и современного этапа развития этой области рассмотрены в предыдущей работе автора [Бергер, 2015].

* * *

Выявлению причин того или иного события всегда, естественно, должно предшествовать установление его характера, точное, правильное и доказательное определение геодинамического типа происшедшего события, то есть, попросту говоря, определение того, что именно произошло, что представляло собой это событие.

В многочисленных предшествующих публикациях автора (первые из них вышли из печати еще в 2003 г.) было совершенно однозначно и вполне доказательно, на основе весьма многочисленных фактических данных (всего имеющегося в этой

области обширного и разнопланового эмпирического материала) показано, что катастрофа 20 сентября 2002 г. с эпицентром на леднике Колка представляла собой *внезапный взрывоподобный газодинамический выброс ледника*.

Соответственно, основной причиной, вызвавшей данную катастрофу, основным, решающим, определяющим, управляющим фактором, действие которого привело к этой катастрофе и определило ее основные особенности, является, безусловно, *газовый* – скопление огромного (и продолжавшего быстро увеличиваться) количества поствулканических газов в подледниковом пространстве, экранированном ледником Колка (представлявшим собой газоупорный барьер), и их аномально высокое пластовое давление, величина которого последовательно пульсационно быстро возрастала в течение нескольких недель вплоть до момента выброса.

Как известно, действием, главным образом, именно газового фактора вызывается проявление внезапных взрывоподобных газодинамических выбросов при экранировании газовых скоплений углями, аргиллитами, песчаниками, солями и другими газонепроницаемыми породами различного состава и генезиса. (Весьма различными по составу и происхождению являются и природные газы газобросоопасных горных массивов.)

Принципиально аналогичным образом, именно газовый фактор вызывает проявление внезапных взрывоподобных газодинамических выбросов ледников при экранировании газовых скоплений с аномально высоким и быстро возрастающим пластовым давлением газонепроницаемой ледниковой покрывкой, не уступающей в данном отношении самым эффективным природным газоупорам – солям.

Это определяет многие признаки сходства газогляциодинамических явлений с весьма многочисленными и сравнительно хорошо изученными газоугольными, газосоляными и другими газодинамическими явлениями.

Вместе с тем, как отметил автор еще в 2008 г. [Бергер, 2008, с. 134], хотя проблемам выбросоопасности горных (горнопородных) массивов посвящены многие тысячи публикаций, выбросоопасность (газобросоопасность) *горноледниковых* массивов – совершенно новая область исследований, на которую не могут быть в полной мере распространены, просто перенесены многие полученные ранее в горной геомеханике результаты.

Нельзя не заметить, что несмотря на весьма многочисленные достаточно очевидные бесспорные факты, роль газового фактора в газодинамических явлениях, проявляющихся в подземных горных выработках, часто преуменьшается, искажается и даже практически отрицается или игнорируется. Подобные представления, однако, не соответствуют действительности и опровергаются многими фактами (прежде всего, послекатастрофическим поверхностным выделением газа в эпицентральной зоне особенно мощных внезапных выбросов и высокой эффективностью применения дегазационных методов предотвращения газодинамических выбросов).

Именно главной, определяющей и управляющей ролью скоплений свободного газа за непроницаемыми барьерами и величины его давления в этих скоплениях (а не свойств угля и находящихся в нем тех или иных форм связанного газа, как весьма часто полагают) объясняются отмеченные В.В. Ходотом [1973, с. 12] «новые формы выбросов угля и газа, поражающие своей неожиданностью», – в частности, выброс большой силы из тонкого пропластка угля мощностью всего 0,2 м; распространение выброса с образованием полости глубиной в несколько десятков метров; проявление поршневого действия газов – внезапный отжим, происходящий с необычно большой скоростью и обильным газовыделением.

* * *

В соответствии с изложенным ранее [Бергер, 2007а, с. 100–103], необходимо различать собственно взрывы, происходящие в результате химических или ядерных реакций превращения взрывчатого вещества, и взрывоподобные (по особенностям протекания) явления, причинами которых не являются какие-либо химические или ядерные превращения вещества. К числу последних принадлежат и взрывоподобные газодинамические выбросы.

Совершенно очевидно, что газогляциодинамические явления представляют собой весьма специфический, совершенно особый, но все же частный случай газодинамических явлений. Соответственно, изучение газогляциодинамических явлений (взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов ледников) должно быть самым непосредственным образом связано с изучением газодинамических явлений в целом, представляя собой одну из областей (безусловно, весьма специфическую) газолитодинамики (или, более широко, газогеодинамики) и газовой геомеханики.

Исследования газодинамических явлений на ледниках (*газогляциодинамических явлений*, по данному автором их наименованию) находятся лишь в начальной стадии. Однако в целом газодинамические или газолитодинимические – газоугольные, газосоляные, газопесчаные и иные (происходящие, в основном, в условиях подземных горных выработок) явления в горных массивах различного литолого-петрографического состава известны и изучаются еще с первой половины XIX в. Поэтому в исследованиях газогляциодинамических явлений (газоледокаменных выбросов, учитывая состав выбрасываемого материала) естественно опираться на уже полученные в данной области результаты. В предшествующих публикациях [Бергер, 2005а, б, 2006в, 2007а, 2008 и др.] автор постоянно учитывал эти результаты и, в целом, состояние этой важной области наук о Земле (к сожалению, все еще далекое от совершенства). (В исследованиях газогляциодинамических явлений – взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников – исключительно полезно, более того, необходимо привлечение также многочисленных сведений по техногенным взрывам на выброс и сброс, которые, как и изучаемые во многих странах мира внезапные газодинамические выбросы в подземных горных выработках, безусловно, в значительно большей мере могут служить аналогами, натурными моделями внезапных газодинамических выбросов ледников, чем гляциодинамические подвижки, обвалы, лавины, сели и другие экзогенные склоново-гравитационные природные явления, с которыми эти выбросы неправомерно и ошибочно отождествляются.)

В реестре природных катастроф газодинамические явления, происходящие в подземных условиях, не значатся. Это объясняется тем, что подобные явления, в том числе катастрофического, гигантского уровня, считаются, видимо, техногенными.

В действительности, однако, техногенным, антропогенным, да и то не в полной мере [Петухов, Линьков, 1983, с. 170–171], является лишь инициирование (запуск) этих явлений. Причиной же их является действие *природных* факторов, прежде всего, газового. Происхождение газов, обладающих необходимыми для проявления внезапного выброса количеством и аномально сверхвысоким давлением, во всех случаях природное, а не техногенное. Природной же является и геологически обусловленная локализация (пространственное размещение, местонахождение) ско-

плений значительных количеств высоконапорных газов, определяемая, прежде всего, фильтрационными и другими литофизическими свойствами пород и геотермодинамическими условиями, существующими или существовавшими ранее на соответствующих глубинах в зонах генерации, миграции и аккумуляции природных газов.

Из числа известных автору руководств по природным катастрофам лишь в работе Т. Уолтхэма [1982, с. 197] вскользь упоминаются «отдельные “выбросы” включений газа, находящегося под давлением, когда газ буквально взрывается, вырываясь из угольных пластов».

В плане уточнения содержащейся в этом кратком высказывании информации необходимо заметить, что численность подобных «отдельных» выбросов составляет многие десятки тысяч (давно уже превысила сотысячный рубеж) и, несмотря на широко проводимые мероприятия по предотвращению внезапных выбросов, ежегодно увеличивается на многие сотни, происходят они не только в угольных пластах, но и в соляных, песчаных и некоторых других и являются, с учетом состава выбрасываемого материала, соответственно, газозольными, газосоляными, газопесчаными и другими газопородными, а не просто газовыми.

* * *

Как отмечают Ф.А. Абрамов и Г.А. Шевелев [1973, с. 3], «при сопоставлении выбросов угля, песчаника, соли, гранита и других пород можно отметить их общую особенность – выбросы происходят в среде, способной к хрупкому разрушению». Не является исключением в этой отношении, как известно, и лед (см., например, высказывание С.С. Григоряна [1983, с. 102], приведенное в качестве одного из эпиграфов к данной статье). В этом плане существенно обратить внимание на то, что вообще горные породы в большинстве своем «если и являются пластичными при атмосферном боковом давлении, обнаруживают переход от пластичного поведения к хрупкому при увеличении скоростей деформирования» [Шок, 1981, с. 123], в связи с чем Р. Шок [там же] отмечает «уменьшение диапазона пластичности при увеличении скорости деформирования», что «повышает важность хрупкого разрушения при воздействии взрыва или удара на горные породы».

Согласно этим же авторам [Абрамов, Шевелев, 1973, с. 4], они учитывают «энергию метана, находящегося под избыточным давлением в поровом пространстве песчаника».

В этой связи важно подчеркнуть, что исследованиями В.И. Николина и ряда других авторов [Николин и др., 1967, 1969; Москаленко, Николин, 1981 и др.] установлено, что пористость (прежде всего, открытая) и проницаемость выбросоопасных пород газовых барьеров, в частности, песчаников, подвергающихся разрушению и выносу при газодинамических выбросах, *близки к нулю*. С учетом этого и других широко известных фактов, совершенно очевидно, что выбросоопасность пород (слагаемых ими пластов горных массивов) определяется количеством и давлением газа в поровом (или, более широко, емкостном, пустотном) пространстве пород, залегающих в глубине массива за газовым (газоупорным, непроницаемым) барьером со свободной поверхностью. Этот вопрос, имеющий принципиальное значение для понимания газодинамических выбросов ледника Колка [Бергер, 2008, с. 45; и др.] и, в целом, для понимания газодинамических явлений, будет подвергнут ниже более детальному рассмотрению.

* * *

В многочисленных работах по горной геомеханике указывается целый ряд эмпирически установленных геологических признаков выбросоопасности шахтопластов.

Эти признаки в большинстве своем имеют совершенно определенный газогеологический смысл: каждый из них так или иначе, тем или иным образом содействует *возникновению скоплений природного газа с аномально высоким пластовым давлением*, что является основным условием, необходимым для подготовки и последующего запуска газодинамического выброса. Выполнение этого условия, разумеется, далеко не достаточно для проявления газодинамического выброса, однако без выполнения этого условия газодинамических выбросов не бывает.

В геодинамической системе ледника Колка [Бергер, 2008] такие условия существуют, естественно, не всегда и, в зависимости от состояния ледника, его предшествующей истории, стадии, на которой находится его развитие, для появления самой возможности их возникновения могут потребоваться многие десятилетия.

Скажем, в настоящее время такие условия отсутствуют и будут отсутствовать еще, по крайней мере, в течение нескольких десятилетий (но, даже при длительном продолжении неблагоприятных для горного оледенения деградиционных климатических условий, не столетий, как полагают иногда).

Но периодически они возникают и это, учитывая поверхностное залегание локального непроницаемого барьера (ледника Колка) и высоконапорный характер периодически прорывающихся в его подледниковое пространство значительных количеств высоконапорных глубинных природных газов, с неизбежностью приводит к огромным по силе (мощности, величине энерговыделения) катастрофическим взрывоподобным внезапным газодинамическим выбросам ледника (всегда имеющим направленный характер), принципиально подобным по механизму проявления внезапным газодинамическим выбросам защитных газопорных барьеров (перемычек) со свободной поверхностью в угольных, соляных и других подземных горных выработках.

Именно этим, прежде всего, определяется необходимость систематических наблюдений за состоянием ледника и приледниковой зоны (отражающим состояние подледникового пространства ледника Колка и протекающие в нем процессы), с учетом установленных [Бергер, 2007а, в, 2008] предвестников катастрофических внезапных газодинамических выбросов этого ледника.

Крайне важны и в принципе возможны и непосредственные инструментальные геофизические, геохимические и другие (геодезические, гидрогеодинамические, гидрологические и др.) наблюдения и измерения. В газодинамическом отношении, пожалуй, особенно важно проведение бароконтроля состояния подледникового пространства, что также сближает газогляциодинамические исследования с традиционными газодинамическими исследованиями в подземных условиях.

Как известно, важнейшим инструментальным методом определения газовой выбросоопасности в подобных случаях является бароконтроль состояния горного массива в пределах не вскрытого выработками расположенного за непроницаемым барьером пространства, предусматривающий определение величины пластового давления газов и скорости его возрастания в породах-коллекторах вблизи непроницаемого барьера со свободной поверхностью. Соответствующие измерения на лед-

никах (в подледниковом пространстве) до сих пор, естественно, не проводились. Однако в связи с установлением взрывоподобного газодинамического характера (и соответствующей такому характеру основной причины) Колкинской катастрофы постановка подобных исследований в данном районе (и, возможно, на других потенциально выбросоопасных ледниках) весьма желательна.

* * *

Согласно глубоко разработанной в приложении к геомеханическим условиям подземных горных выработок энергетически-силовой теории внезапных газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1983; Петросян и др., 1983], источником силы и энергии для этих выбросов является газ. Соответственно, необходимым условием проявления таких выбросов (включая их подготовительную стадию, весьма важную, в частности, в диагностическом и прогностическом отношениях) является наличие в пустотном пространстве пород достаточно большого количества высоконапорных, т.е. обладающих аномально высоким пластовым давлением, газов.

Реализации этого условия способствуют исключительно распространенные, постоянно протекающие на различных глубинных уровнях процессы дегазации Земли, включая процессы газогенерации, выделения природных газов в свободную фазу, вертикальной (восходящей), а отчасти и латеральной (особенно под непроницаемыми барьерами) миграции и аккумуляции газов.

Формы проявления дегазационных процессов, происходящих в широком диапазоне геологических условий, весьма разнообразны. Иногда эти процессы приобретают форму пароксизмальных взрывоподобных *газодинамических выбросов*, имеющих катастрофические последствия.

Вместе с тем, значительные по масштабам катастрофические природные и природно-техногенные проявления газодинамических процессов (внезапные газодинамические выбросы) в поверхностной и близповерхностной (первые 100–200 м от земной поверхности) зонах являются довольно редкими (известны, впрочем, и исключения из этого правила).

Причина этого состоит в необходимости выполнения ряда существенных, далеко не всегда и не повсеместно реализующихся в природе, условий, требующихся для возникновения возможности подготовки, запуска и протекания газодинамических явлений (внезапных выбросов). Важнейшими из этих условий являются:

1) наличие источников и геотермодинамических условий длительной интенсивной генерации или выделения в свободную фазу огромного количества природных газов;

2) наличие путей концентрированной миграции значительных количеств природных газов, образующих достаточно мощные сосредоточенные потоки; наиболее часто такими путями служат трещинно-разрывные зоны, в пределах которых горные породы обладают высокой проницаемостью и, особенно, узлы пересечения таких зон при их различной направленности;

3) наличие в поверхностной или близповерхностной зоне на путях концентрированной (струйной) миграции природных газов локального газоупорного (газонепроницаемого) барьера (экрана, покрышки) со свободной (открытой, обнаженной) поверхностью либо создание такой поверхности в процессе ведения горных работ;

4) наличие либо возможность возникновения в ходе концентрированной мигра-

ции природных газов в поверхностной или близповерхностной зоне пород-коллекторов и перекрытых локальными газонепроницаемыми барьерами ограниченных (сравнительно небольших) по объему емкостного пространства ловушек (резервуаров, природных емкостей) для поступления и накопления в них повышенных количеств природных газов;

5) наличие горно-геологических, газодинамических и иных условий для возникновения, поддержания и возрастания аномально высокого (сверхвысокого) пластового давления природных газов в их скоплениях за газоупорным барьером;

6) небольшая толщина локального газоупорного барьера со свободной поверхностью, определяющая его гравитационный потенциал (геостатическое давление) и силы его связи (сцепления) с вмещающими породами.

Самые верхние, приповерхностные горизонты земной коры, в силу их гипергенной измененности, литологического состава и структурно-текстурных особенностей пород, их обычно высокой пористости и трещиноватости, характеризуются, как правило, относительно высокой проницаемостью, не позволяющей накапливаться за или под ними значительным количествам природных газов, тем более, с аномально высоким пластовым давлением. Наиболее распространенными локальными исключениями в этом отношении являются застывшие лавовые образования в жерлах вулканов (способствующие подготовке и проявлению эксплозивных вулканических извержений, иногда справедливо считающихся по механизму газодинамическими выбросами) и ледники.

Без наличия газозкранирующих непроницаемых литологических (литолого-петрографических) барьеров формирование сколько-нибудь значительных скоплений природных газов, тем более, обладающих аномально высоким давлением, невозможно. При наличии же таких барьеров возможности формирования и конкретные места локализации газовых скоплений, с которыми могут быть связаны внезапные газодинамические выбросы, определяются наличием источников природных газов, путей их миграции, коллекторов и ловушек. Все перечисленные моменты в полной мере реализуются в подледниковом субстрате ледника Колка, и это принципиально отличает ледник Колка, всю эндогеодинамическую систему этого ледника [Бергер, 2008] (являющуюся, с учетом специфики основного действующего в ней фактора, *газогеодинамической* [там же, с. 12]), от подавляющего большинства других горных ледников.

Несмотря на наличие различного рода пустот в самом леднике и трещин на его поверхности и в приповерхностной зоне на заключительном предпароксизмальном этапе подготовки внезапного газодинамического выброса ледника 2002 г. и некоторых других этапах его развития (прежде всего, в 1969 г. в ходе подготовки и протекания его быстрой подвижки), имеются достаточные основания полагать, что ледник Колка, восстановленный после его предыдущих катастрофических газодинамических выбросов 1902 г., в течение последующего длительного этапа своего существования вполне мог выполнять экранирующую роль эффективного локального газопора, с учетом высокой пластичности и практически нулевой проницаемости льда, высокой степени монолитности основной несущей части ледника [Рототаев и др., 1983], а также роли некоторых специфических локальных особенностей залегания, строения и развития ледника и вмещающих его образований [Бергер, 2007а, с. 182 и 195–196].

* * *

Особую, несомненно, весьма важную роль в обеспечении условий для подготовки и последующего проявления газодинамических и газогляциодинамических явлений играет существование и в тех, и в других случаях непроницаемого (газоупорного, газозакрывающего) барьера со свободной поверхностью, обеспечивающего сохранение за ним, вплоть до момента выброса, залежи (скопления) природного газа с аномально высоким (сверхвысоким) пластовым давлением.

Наличие таких относительно изолированных, ограниченных непроницаемыми барьерами газовых залежей (скоплений) не только в газоносных осадочных (осадочно-породных) бассейнах подтверждается широко проводящимися в различных странах и в различных (особенно – угольных) бассейнах специальных газопоисково-разведочных, газодобычных и дегазационных работ.

В подземных условиях наиболее эффективными непроницаемыми барьерами являются соли и парагенетически связанные с ними прослои пелитовых пород.

По-видимому, могут быть газонепроницаемыми и угли в их естественном залегании и напряженно-деформированном состоянии в условиях значительного горного давления.

Во всяком случае, перед внезапным газоугольным выбросом метан в забое подземных выработок обычно не устанавливается.

Причины этого все еще обсуждаются.

Согласно распространенным представлениям, причиной этого является горное давление – считается, что в условиях существующего в подземных условиях горного давления уголь непроницаем («не фильтрует»).

Эта непроницаемость иногда объясняется кольматированием угля чрезвычайно тонкодисперсной угольной пылью (так называемой бешеной мукой), образующейся под воздействием очень высокого давления – горного и газового.

Существует распространенная точка зрения, согласно которой основное количество метана в углях находится в различных формах связанного состояния (в виде твердого углеметанового раствора, в составе газогидратов и пр.) и высвобождается лишь в процессе разрушения угля в ходе ведения горных работ.

Все эти и другие точки зрения по данному вопросу автор оставляет без обсуждения.

В близповерхностных условиях наиболее эффективными локальными непроницаемыми барьерами со свободной поверхностью, за исключением не затронутых интенсивным трещинообразованием лавовых пород в жерлах вулканов, являются ледники.

Важно отметить, что непосредственно на леднике Колка перед его газодинамическим выбросом (менее чем за 20 дней до него) никаких газовыделений не наблюдалось и не ощущалось находившимися на леднике людьми (хотя в непосредственной близости от ледника, в трещинно-разрывной зоне обвалов фумарольные проявления в это время уже были и зафиксированы на снимках туристами группы О. Неподобы). Это – явное свидетельство высокой эффективности ледника Колка как локального газоупорного (непроницаемого) барьера.

И лишь разрушение и исчезновение этого барьера в результате взрывоподобного газодинамического выброса ледника привело к продолжительному интенсивному поверхностному газовыделению в эпицентральной и сопредельной с ней зоне

выброса – истечению непосредственно в атмосферу скопившихся на различной глубине в литосферном субстрате ледника высоконапорных поствулканических газов, происходившему в затухающем режиме вплоть до исчерпания основного количества этих газов.

* * *

Несколько слов о роли прочностных свойств ледника в подготовке его газодинамического выброса (в дополнение к сказанному ранее [Бергер, 2007а, с. 177–181]).

Из теории газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1983, с. 241] «следует, что малая прочность (материала, подвергающегося газодинамическому воздействию. – М.Б.) не является обязательным условием выбросов – при наличии достаточно высоких горного и газового давлений выбросы возможны и в весьма прочных материалах» (вопрос о роли горного давления в газодинамических выбросах обсуждается в работе [Бергер, 2008, с. 106–107]).

В случае ледника Колка, как и других горных ледников, речь может идти, естественно, лишь о достаточно высоком (сверхвысоком) *газовом* давлении в экранированном ледником подледниковом пространстве.

При этом, с учетом поверхностного залегания ледника и необходимости возникновения гигантского сверхвысокого газового давления (сверхдавления газов) под ним для его выброса, есть основания полагать, что именно высокая прочность ледниковой крыши (в сочетании с ее газонепроницаемостью), предотвращая проявление эффекта гидро(газо)разрыва, прорыва и удаления огромного количества скопившихся под ледником высоконапорных газов, благоприятствует достижению газовым давлением величины, необходимой для газодинамического выброса ледника (естественно, при наличии всех других отмеченных выше необходимых для этого условий).

Именно при условии достаточной прочности ледниковой газонепроницаемой крыши и высокой скорости поступления природных газов в подледниковое пространство и возрастания их давления существуют наибольшие возможности превышения газовым давлением под ледником локального геостатического вертикального давления ледника (т. е. его гравитационной нагрузки) и сил сцепления ледника с вмещающими породами, что необходимо для его отрыва и взрывоподобного внезапного газодинамического выброса, сопровождающегося разрушением ледника, возникновением полости (воронки выброса) на месте ледника, разлетом (выносом, отбросом) ледово-каменных продуктов разрушения и образованием навала (завала) в зоне аккумуляции основного их количества на том или ином удалении от эпицентра выброса при наклонном (склоновом) залегании ледника и, соответственно, направленном характере его газодинамического выброса. Именно так было на леднике Колка в сентябре 2002 года.

Обладающий исключительно высокими газоупорными свойствами, высокой вязкостью разрушения и крайне низкой плотностью ($\rho < 1 \text{ г/см}^3$) ледниковый лед представляет собой, естественно, идеальный случай в данном отношении.

Это, в сочетании с наличием в данном районе глубинных источников высоконапорных поствулканических и постмагматических газов (с учетом геологически недавнего существования здесь четвертичного вулкана Казбек, в настоящее время, безусловно, давно потухшего, а не потенциально активного, его сателлитов и субвулканических гипабиссальных неинтрузий), а также пространственным по-

ложением основных путей восходящей струйной миграции и разгрузки этих газов непосредственно под ледником, делает неизбежным периодическое проявление катастрофических пароксизмальных взрывоподобных газодинамических выбросов ледника Колка.

Подобное уникальное сочетание природных условий в приповерхностной зоне наиболее вероятно под некоторыми сравнительно небольшими каровыми и карово-долинными ледниками в молодых вулканических областях, особенно на этапах угасания проявляющейся в их пределах газовой поствулканической деятельности, а также в областях с продолжающейся приповерхностной газовой постмагматической деятельностью. Слишком же высокая разогретость поствулканических и, тем более, собственно вулканических продуктов, поступающих в подледниковое пространство, как было отмечено [Бергер, 2007а, с. 161], способствует лишь развитию паводковых процессов, интенсивному таянию или локальному протаиванию ледников, иногда даже проявлению ледниковых подвижек, но не пароксизмальных взрывоподобных газодинамических выбросов ледников.

В современную геологическую эпоху к числу областей именно такого типа принадлежат, в частности, некоторые горно-ледниковые районы Центрального Кавказа и Закавказья и Тихоокеанского подвижного пояса, в частности, Анд и Кордильер.

* * *

Частую приуроченность выбросоопасных зон к местам тектонических нарушений, отмеченную, в частности, В.В. Ходотом [1973, с. 3] (см. приведенный выше один из эпиграфов к данной статье), но оставленную им в цитируемой работе без рассмотрения, обычно объясняют, главным образом, меньшей прочностью пород в этих местах. Так, И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 241] по данному поводу, в частности, пишут: «Как правило, выбросы происходят в местах тектонических нарушений, где материал имеет большую трещиноватость (а зачастую и пустотность) и меньшую прочность, чем аналогичная невыбросоопасная порода». И в другом месте: «То обстоятельство, что особенно низкая прочность имеет место в областях тектонических нарушений, предопределяет частое возникновение в них выбросов» [Петухов, Линьков, 1983, с. 253]. И хотя «малая прочность не является обязательным условием выбросов...», понятно, однако, что первые и частые проявления (внезапных выбросов. – М.Б.) возникают в наиболее благоприятных условиях, каковыми являются зоны пониженной прочности, повышенных газосодержания и газового давления» [Петухов, Линьков, 1983, с. 241, подстрочное примечание]. Как можно с достаточным основанием полагать, места тектонических нарушений, особенно зоны их пересечения, наиболее благоприятны во всех этих (а также в некоторых других, сопутствующих им и во многом определяющих и объясняющих их) отношениях.

Это обусловлено, в частности, тем, что наиболее интенсивная миграция природных газов в ловушки и образующиеся в них под непроницаемыми барьерами газовые скопления зачастую происходит по зонам повышенной трещиноватости, локализирующимся в местах тектонических нарушений и, особенно, в узлах их пересечения. Как отмечают И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 59], «рост и раскрытие трещин сказывается и на фильтрации, сильно увеличивая газопроницаемость в плоскости раскрывающихся трещин».

Это обстоятельство, как неоднократно было отмечено автором [Бергер, 2007а,

с. 51–52, 126–128, 182; Бергер, 2008, с. 19–20 и др.], во многом предопределяет выбросоопасность ледника Колка, его «избирательность» (но, безусловно, не единичность) в данном отношении, легко объясняемую именно с позиций газодинамической природы Колкинской катастрофы 2002 г. и более ранних геодинамически и генетически, несомненно, аналогичных пароксизмальных катастрофических событий 1902, 1752 гг., а по всей видимости, и еще более ранних, эпицентр (и очаг поражения) которых находился на этом леднике.

В этом плане вновь обратим внимание на отмеченное еще в 2004 г. Л.В. Десиновым [2004, с. 15] (хотя и никак не использованное им для раскрытия характера и причин Колкинской катастрофы) «расположение тыловой зоны ледника в месте пересечения двух разломов земной коры». Газогеодинамический смысл такого расположения ледника Колка, вытекающие из этой структурно-тектонической особенности литосферного субстрата ледника газогеодинамические следствия совершенно очевидны и отмечены в многочисленных геологических публикациях. В частности, в работе А.И. Кравцова [1980, с. 198], как и во многих других работах, отмечается, что «узлы пересечений или сопряжений поперечных структур отличаются повышенной проницаемостью, облегчающей проникновение газопаровых эманаций от их глубинных источников к местам газонакопления (к ловушкам)».

Относительно высокой проницаемости литосферного субстрата ледника Колка, способствующей восходящей миграции высоконапорных глубинных природных газов в подледниковое пространство, благоприятствуют и особенности залегания пород субстрата, их сланцеватость и разбитость трещинами кливажа. Как отмечают У. Файф и др. [1981, с. 361], «в породах, претерпевших метаморфические реакции (даже еще на стадии апокатагенеза, предшествующей собственно метаморфизму. – М.Б.), часто появляется сланцеватость, аспидный кливаж или близкие к ним формы анизотропии. Если такие плоскости анизотропии круто наклонены, они создают пути относительно легкой миграции и в сильной мере способствуют восходящему движению флюидов».

В соответствии с представлениями этих (и многих других [Валукоис, Ходьков, 1973; Аникиев, 1980; Остапенко, 2005; Жатнуев, 2005; Киссин, 2009; и др.]) авторов, активизации, раскрытию трещинно-разрывных зон в литосферном субстрате ледника Колка во многом содействовало сверхвысокое пластовое давление самих глубинных природных газов, прорывавшихся по ослабленным зонам в верхние горизонты. Это полностью согласуется с фактически наблюдавшимся, многократно зафиксированным, хорошо известным, но редко принимающимся во внимание исключительно мощным постпароксизмальным поверхностным струйным газовыделением в эпицентральной зоне газодинамического выброса ледника Колка и в непосредственной близости от нее, еще долго продолжавшимся после того, как основное количество скопившихся под ледником высоконапорных природных газов было выброшено в атмосферу вместе с ледово-каменными продуктами разрушения ледника Колка при его взрывоподобном газодинамическом (газо-ледо-каменном) выбросе.

В связи с выражаемыми иногда сомнениями на этот счет важно подчеркнуть, что в горно-ледниковых областях высокая степень трещиноватости (и, соответственно, проницаемости) горных пород отнюдь не исключает существования локальных ледниковых пластических газопорных барьеров со свободной поверхностью, которые вполне могут быть газовыбросоопасными при наличии источников природных га-

зов в литосферном субстрате ледников, достаточно высокой скорости (интенсивности) газогенерации и выполнении других условий, необходимых и достаточных для газодинамического выброса ледника, основные из которых были рассмотрены ранее [Бергер, 2007а, с. 191–204] и кратко отмечены выше в данной работе.

Одним из геологических признаков, считающихся благоприятствующими газовыбросоопасности горного массива, является также присутствие в его строении магматических тел. Данный факт обычно констатируется без какого-либо раскрытия и объяснения его причинного (каузального, детерминистического) значения, генетического смысла, его конкретной роли (непосредственной или опосредованной) в повышении газовыбросоопасности.

Как можно полагать, генетический смысл взаимосвязи между газовыбросоопасностью и присутствием в строении горного массива магматических тел (т. е. проявлением магматизма в геологической истории горного массива) состоит, прежде всего, в том, что магматизм, особенно в геологическом смысле молодой, является источником выделения значительных количеств высоконапорных глубинных природных газов (магматических и постмагматических). Выделение, восходящая миграция этих газов (особенно концентрированная) и их аккумуляция в экранированных непроницаемыми барьерами ловушках, естественно, обуславливают повышенную выбросоопасность сопредельных с этими ловушками газоупорных барьеров со свободной поверхностью – природной, изначально существующей либо искусственно образованной при процессах антропогенного (техногенного) воздействия на газосодержащий (газопородный) горный массив.

Магматическая деятельность, фиксируемая присутствием магматических тел в геологическом разрезе, содействует и процессам интенсивной термokatалитической газогенерации за счет содержащегося во вмещающих осадочных и метаосадочных породах (особенно обладающих значительным газоматеринским, газопродуктивным потенциалом) углеродистого органического вещества, находящегося на различной стадии углефикации, в частности, нерастворимого рассеянного углеродистого органического вещества (керогена). Возникающие и скапливающиеся в ловушках природные газы такого происхождения могут быть связаны не только с геологически молодыми, но и с достаточно древними магматическими образованиями, особенно в случаях наличия весьма эффективных локальных газопорывов, обеспечивающих высокую сохранность скоплений природного газа, препятствующих процессам его фильтрации и диффузии, т. е. истечения и рассеяния газа.

Изложенное имеет самое непосредственное отношение к геодинамической системе ледника Колка (мегасистеме, включающей и литосферный субстрат ледника) и некоторых других ледников Казбекской группы, а также ко многим другим природным системам, в пределах которых установлено или возможно проявление катастрофических газодинамических и газогляциодинамических процессов.

* * *

Во многих работах по механике газодинамических выбросов отмечается, что «в выбросоопасных условиях низкая газопроницаемость обеспечивает сохранение высокого давления газа, заключенного в материале» [Петухов, Линьков, 1983, с. 241; и др.].

В плане уточнения этого утверждения и некоторого прояснения заключенного в нем смысла, в соответствии с изложенным выше, необходимо отметить, что в вы-

бросоопасных условиях низкая газопроницаемость материала обеспечивает сохранение высокого давления газа, *содержащегося в пустотном пространстве коллекторов, расположенных за этим материалом, экранированных этим материалом* (образующим, соответственно, газовый или, лучше сказать, газоупорный барьер, газонепроницаемую перемычку между этими газосодержащими коллекторами и открытым пространством, расположенным перед этим материалом (перед его свободной внешней поверхностью)).

Именно поэтому уменьшение толщины этого газонепроницаемого барьера в ходе проведения горных работ (и, соответственно, снижение величины его литостатического давления, прочности и сил сцепления с вмещающими породами) или же возрастание количества газа и величины газового давления за газонепроницаемым барьером в условиях концентрированного прорыва огромного количества высоконапорных природных газов (как в случае эндогеодинамической системы ледника Колка и его подледникового пространства) делает возможным (а с некоторого момента неизбежным) проявление газодинамического выброса.

Изложенное полностью объясняет значительное (многократное) превышение количества природных газов, выделяющихся при газодинамических выбросах, над его количеством, содержащимся в выброшенных породах, в том числе углях (этот вполне естественный общеизвестный факт в настоящее время интенсивно обсуждается). При этом источники (генезис) газов могут быть различными – от автохтонных биогенно-осадочных (преимущественно в угленосных и высокоуглеродистых, обогащенных рассеянным углеродистым органическим веществом отложениях) до различного рода глубинных, абиогенных, играющих основную роль в неугленосных отложениях, в том числе ледниках и их подледниковом пространстве. Автор [Бергер, 2008, с. 93 и далее] в какой-то мере уже касался этого вопроса.

С учетом изложенного вполне естественно, что одним из применяемых в настоящее время эффективных способов предотвращения внезапных газодинамических выбросов на угольных шахтах является дренирование газов не только из углей, но и из углевмещающих пород (в частности, залегающих в непосредственной близости от подошвы угольного пласта [Wang Dong-sheng, 2010 и др.]), где газ находится, безусловно, в свободной фазе, а не в составе углеметанового твердого раствора, газогидратных (клатратных) соединений, сорбированной или других формах связанного состояния.

* * *

Учитывая важность рассматриваемого круга вопросов и их недостаточную проясненность в горной геомеханике, а нередко существующую ошибочность их решения при изучении подземных внезапных газодинамических выбросов, постараемся несколько уточнить содержащиеся в данной области утверждения, что потребует повторного обращения к некоторым из них.

В специальной главе своей обобщающей монографии И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 241 и далее] подчеркивают общность внешних проявлений и механизма газодинамических выбросов угля (песчаника, соли) и газа и дают краткий обзор «наиболее характерных особенностей, существенных для понимания механизма выбросов».

В качестве первой из этих особенностей авторы отмечают: «как правило, выбросы происходят в местах *тектонических нарушений*, где материал имеет

большую трещиноватость (а зачастую и пустотность) и меньшую прочность, чем аналогичная невыбросоопасная порода». Но тут же (в подстрочном примечании на с. 241) замечают, что «малая прочность не является обязательным условием выбросов – при наличии достаточно высоких горного и газового давлений выбросы возможны и в весьма прочных материалах», и добавляют также (на той же странице), что и «фильтрационная способность материалов в выбросоопасных условиях мала. В частности, под действием опорного давления на некотором удалении от обнажения газопроницаемость углей становится очень небольшой. При этом именно нарушенные выбросоопасные угли характеризуются пониженной способностью к фильтрации при сжатии. Способность к фильтрации песчаников и особенно солей сравнительно невелика даже в разгруженном состоянии. В выбросоопасных условиях низкая газопроницаемость обеспечивает сохранение высокого давления газа, заключенного в материале» [Петухов, Линьков, 1983, с. 241].

Все это правильно. Приведенные (цитированные) утверждения, однако, не позволяют понять, где именно локализуются и каким путем образуются зоны повышенного газосодержания, являющиеся одним из наиболее благоприятных условий для проявления газодинамических выбросов, как справедливо отмечают И.М. Петухов и А.М. Линьков.

При этом остается все же не вполне проясненным и то, почему, «как правило, выбросы происходят в местах тектонических нарушений» [там же (выделено мной. – М.Б.)].

А дело как раз в том, что именно тектонические нарушения определяют, где именно находятся (локализуются) зоны повышенного газосодержания, а они находятся *не в материале с низкой газопроницаемостью, а за ним, «в местах тектонических нарушений, где материал имеет большую трещиноватость (а зачастую и пустотность)...*» [Петухов, Линьков, 1983, с. 241 (выделено мной. – М.Б.)]. *Места расположения материала с повышенным газосодержанием (коллекторы) и материала с низкой газопроницаемостью (газоупоры), конечно, соседствуют, но, безусловно, не совпадают. Это, безусловно, разные по местоположению и литофизическим свойствам материалы.*

Даже в случаях их возможного минералого-петрографического сходства они существенно различаются по структурно-текстурным особенностям, трещиноватости, пустотности, проницаемости, определяющим их фильтрационно-емкостные параметры.

* * *

Теория газодинамических явлений, наиболее глубоко разработанная в приложении к внезапным газоугольным выбросам, в значительной мере имеющая общий характер и приложимая к внезапным газодинамическим выбросам и иного по литолого-петрографическому составу материала, во многом помогает теоретическому осмыслению, пониманию и объяснению взрывоподобного газодинамического (газо-ледо-каменного) выброса ледника Колка, а также подобных ему газогляциодинамических явлений.

В то же время, изучение газодинамического выброса ледника Колка, в свою очередь, содействует развитию теории газодинамических явлений – как общей теории, так и ее специальных (частных) приложений к внезапным газо-ледовым и газо-ледо-каменным, а также газо-каменным (обычно именуемым газопородными), в част-

ности, газопесчаным, газосоляным и другим, и даже к газоугольным выбросам.

Ниже, в дополнение к уже сказанному в данной статье и ранее [Бергер, 2008, с. 91–110; и др.], рассматриваются некоторые общие вопросы теории газодинамических явлений, остающиеся, по мнению автора, недостаточно проясненными. При этом имеют существенное значение и должны учитываться результаты изучения внезапных газодинамических выбросов различного по составу материала, происшедших в весьма различных горно-геологических условиях. Одновременно это даст некоторые дополнительные основания, важные для понимания и объяснения катастрофической пульсации (внезапного взрывоподобного направленного газодинамического выброса) ледника Колка 2002 г., а также других пароксизмальных катастрофических пульсаций этого ледника и, возможно, некоторых других горных ледников. При этом, в соответствии с вышеизложенным, в качестве важнейшего исходного положения необходимо подчеркнуть следующее.

В подготовке и проявлении внезапных газодинамических выбросов ту или иную (по характеру и степени значимости) роль могут играть различные факторы. В частности, горное давление в некоторых случаях может приводить к локальному разрушению горных пород. Но это далеко не всегда приводит к их выбросу. Физико-механические свойства пород в некоторых случаях могут содействовать такому разрушению. В этом же направлении могут действовать и некоторые другие природные и антропогенные факторы. Однако *в газодинамическом выбросе* (выносе, отбросе) горных пород, их лавинообразном отрыве и инерциальном разлете во всех случаях *главная, первостепенная роль принадлежит находящимся в свободной фазе высоконапорным природным газам*, независимо от их химического состава и происхождения.

Причиной, вызывающей взрывоподобные (внезапные) газодинамические выбросы, действующим фактором, определяющим их основные характерные особенности, являются расширяющиеся сжатые (обладающие высоким давлением) газы. Именно они являются источником силы и энергии, под действием которых происходят такие выбросы.

Все другие факторы (горное давление, напряженно-деформированное состояние пород, их физико-механические свойства и др.), со времени работ акад. А.А. Скочинского по проблеме внезапных выбросов в подземных горных выработках обычно также считающиеся определяющими в данном отношении, могут лишь содействовать, благоприятствовать либо противодействовать, препятствовать подготовке и проявлению выбросов, но не являются их причиной в отмеченном обычном смысле этого слова.

Для газогляциодинамических явлений, непосредственная подготовка которых протекает в подледниковых условиях вблизи земной поверхности, это особенно очевидно.

В этой связи, прежде всего, следует отметить, что проявления внезапных газодинамических выбросов возможны и происходят (установлены) в горных породах *различного состава и происхождения*, обладающих во многом различными свойствами (углях, солях, песчаниках и др.), при наличии газового скопления с аномально высоким пластовым давлением газов, экранированного газупорным барьером со свободной поверхностью. При этом состав вызывающих выброс высоконапорных газов может быть самым разным и метан в их составе может вообще отсутствовать либо содержаться в незначительном количестве и, соответственно, при любой

форме его нахождения не играть сколько-нибудь существенной роли в подготовке и проявлении выброса.

Это опровергает распространенные представления об обусловленности таких выбросов присутствием газа именно в виде твердого углеметанового раствора, сорбционными или некими «суперсорбционными» свойствами углей, наличием в углях значительных содержаний клатратных соединений – газогидратов (метангидратов) и т.п. (в подвергшихся многочисленным газодинамическим выбросам соляным и другим горным породам не угольного состава ничего этого заведомо нет; вопросы же, касающиеся возможной роли газогидратов в подготовке и проявлении газодинамического выброса ледника Колка, рассмотрены в работе [Бергер, 2007а, с. 171–176]).

Вместе с тем, как уже подчеркивалось выше, это полностью согласуется с отмеченным во многих публикациях, но так и не получившим удовлетворительного объяснения известным фактом значительного (на порядки) превышения количества газа, выбрасываемого при внезапных газугольных выбросах, над количеством газа, содержащимся в выброшенном угле, и полностью объясняет этот факт.

В многочисленных работах по внезапным газодинамическим выбросам в подземных горных выработках нередко приводятся данные о количественном содержании, формах нахождения и давлении природных газов в образцах подвергшихся выбросу пород (в том числе угля) и на этом основании делаются выводы (иногда позитивные, а иногда негативные [Глушко и др., 1971; и др.]) о роли свободного газа в газодинамических выбросах. Подобный подход к решению данного вопроса представляется необоснованным и неправильным.

Подвергшиеся выбросу породы экранирующую газовую залежь газоупорного барьера в основной своей части обладают обычно крайне низкими значениями величин открытой пористости и проницаемости и, соответственно, крайне низким содержанием в них свободного газа.

Но именно это-то и является важнейшим условием, необходимым для подготовки газодинамического выброса, обеспечивающим саму возможность накопления значительного количества свободного газа за этими породами (в направлении горного массива от свободной поверхности выбрасываемых пород) и возникновения аномально высоких пластовых давлений газа в его природных скоплениях опять же за этими породами.

Соответственно, именно там, в газоносных породах-коллекторах, за газоупорным барьером выбрасываемых пород (а не в слагающих этот барьер породах), существовали и, по возможности, должны определяться и учитываться все основные характеристики газового фактора, энергетически-силовое воздействие которого на горные породы привело к их внезапному газодинамическому выбросу, – количество газа, его состав, формы нахождения, вероятные источники, время и интенсивность его поступления в ловушку, величина давления газа и скорость его нарастания до момента выброса (что должно быть объектом инструментального бароконтроля и краткосрочной оценки газорывороопасности) и т.д.

При всей специфике выбросоопасности угольных пластов, «часто, особенно на больших глубинах, газопроницаемость выбросоопасных пластов является нулевой (или практически нулевой)» [Москаленко, Николин, 1981, с. 28–29], что сближает природную картину выбросоопасности в этих пластах с картиной, существующей в соляных и ледовых отложениях. Дополнительную роль в сохранении высокого

давления свободного газа и возрастания его величины в газоугольных и, возможно, других природных системах может играть и эффект Клинкенберга, согласно которому «газопроницаемость угольного пласта должна в значительной степени зависеть от величины давления газа, уменьшаясь с увеличением давления» [Айруни, 1981, с. 96]. Вполне вероятно при этом и отмечаемая иногда «запечатывающая» (кольматирующая) роль тонкодисперсных углистых (углеродистых) частиц (так называемой «бешеной муки»), в огромном количестве образующихся в результате измельчения (диспергирования, милонитизации) углистого и иного по составу материала, главным образом, под действием высокого (сверхвысокого) давления газа (см. ниже).

В дополнение к изложенному в данной статье (и ранее [Бергер, 2008, с. 93 и далее]) необходимо сделать также некоторые замечания относительно роли (и вообще участия) сорбированного и других форм связанного газа в газодинамических выбросах, поскольку, в отличие от существовавших ранее (и ни в какой их части не опровергнутых, никем даже не поставленных под сомнение до сих пор) глубоко обоснованных детально разработанных представлений [Петухов, Линьков, 1983; Петросян и др., 1983 и др.], в последнее время в отечественной литературе преобладающими являются представления об основной роли в этих выбросах газа, находящегося в связанном состоянии и переходящего в свободное состояние непосредственно в момент выброса, после его запуска под действием горного давления и, возможно, других факторов.

1. К газодинамическим выбросам пород, обладающих крайне низкой сорбционной способностью (соли, песчаники и др., в том числе лед), эти представления неприменимы.

2. Количество свободного газа в угольных пластах (в приложении к которым разработаны эти представления) и сопутствующих углям породах весьма значительно [Бергер, 2008, с. 96–97; и др.] и этот газ, безусловно, самым непосредственным образом участвует в газодинамических явлениях.

3. В условиях лабораторных экспериментов количество свободного газа в угольных пластах неопределимо, что признается и исследователями газоносности углей [Эттингер, Шульман, 1975, с. 64].

4. Внезапным газодинамическим выбросам всегда предшествует различная по продолжительности подготовительная стадия, многие проявления которой также имеют газодинамический характер, т. е. обусловлены активным воздействием на горный массив высоконапорных (сжатых), безусловно, свободных природных газов. Находящийся же в связанном состоянии газ не может в качестве активного, действующего фактора принимать участие в подготовительной стадии газодинамических выбросов, не может обусловить ее протекание и определить ее особенности.

5. Причины, условия, продолжительность и количественные масштабы перехода газа из связанного состояния в свободное малоизучены и обычно не рассматриваются.

6. Что касается скорости такого перехода, то известно [Эттингер, Шульман, 1975, с. 62], что «сорбированному метану, для того чтобы выделиться из угля, необходимо затратить определенное время для перехода из сорбированной фазы в газовую... Задержка во времени между переходом из сорбированного в свободное состояние может быть иногда значительной...» (см. также [Петросян и др., 1978, с. 47]). Соответствующие данные получены в результате проведения специальных

экспериментальных исследований. Совершенно очевидно, что такой газ не может быть причиной запуска и весьма скоротечного, почти мгновенного протекания газодинамических выбросов.

Все приведенные замечания весьма существенны, имеют принципиальный характер и должны в полной мере учитываться при разработке теории газодинамических и газогляциодинамических явлений.

* * *

В дополнение к сказанному выше можно отметить, в частности, следующее.

Как показало изучение газодинамического выброса ледника Колка 2002 г. и предшествующих ему событий [Бергер, 2007а, с. 31 и 54–55; Бергер, 2007в и др.], важнейшим краткосрочным предвестником такого выброса является сопровождающееся интенсивным поверхностным и близповерхностным трещинообразованием быстрое и значительное устойчивое (не сопровождающееся оттоком льда) локальное поднятие уровня поверхности ледника, его «вздутие», особенно в его тыльной части, главным образом, вследствие резко возросшего, устойчиво сохранявшегося и пульсационно увеличивавшегося давления природных газов в подледниковом пространстве, экранированном пластическим газоупорным ледниковым барьером.

Так что устойчиво сохраняющееся вплоть до выброса ледника значительное вздутие, вспучивание, выдавливание, выжимание ледника вверх (в сторону открытой поверхности), а также связанное с этим интенсивное трещинообразование внешней поверхности и приповерхностной зоны ледника, эпизодические, в том числе очень мощные, акустические и сейсмоакустические эффекты (гул, треск, удары) в преддверии катастрофы на леднике Колка – не признаки, свидетельствующие о подвижке ледника, как полагают некоторые гляциологи, а предвестники, предупредительные признаки его газодинамического выброса. По данному автором [там же и др.] определению и введенному обозначению, это – весьма характерное для подготовительной стадии газодинамических выбросов проявление *эффекта газового дамкрата* (специальное рассмотрение данного вопроса предпринято в отдельной работе).

Собственно говоря, подобное явление, только гораздо интенсивнее и быстрее, происходит и при выбросе породы взрывом [Покровский, 1973, с. 136–140].

Подобное же, принципиально аналогичное по своей сути явление хорошо известно и многократно описано в горной геомеханике (в области изучения подземных внезапных газодинамических выбросов) и его газодинамическая природа (как и предвестниковое значение) не вызывает сомнений.

В частности, В.И. Николин с соавторами [1967, с. 5] еще около полувека тому назад отмечали, что предвестниками («предшественниками») газодинамических выбросов пород в угольных шахтах Донбасса считаются наблюдающиеся при проходке стволов шахт *быстрые поднятия пород* (плитчатых аргиллитов, известняков и др.), сопровождающиеся их растрескиванием, при приближении забоя на 2–5 м к газоносным угольным пластам или пропласткам. Подобные явления известны, естественно, и в других угольных бассейнах, в том числе за рубежом.

Весьма показательны и другие предвестники газодинамических явлений. Вот, например, как описывают А.М. Морев и др. [1992, с. 9] предупредительные признаки некоторых из них: «Характерными признаками, предшествующими внезапно-му разрушению толщи пород, залегающих в подошве выработки или почве пласта,

следует считать кратковременные глухие удары в глубине массива, переходящие в сильный шум или нарастающий гул с последующим поднятием почвы горных выработок. Внезапное разрушение пород сопровождается звуковым эффектом, аналогичным взрыву или пушечному выстрелу, упругими колебаниями почвы выработок и воздушным толчком. При этом в почве выработок образуется одна или несколько зияющих трещин...». Свидетельства принципиально подобных явлений зафиксированы и на подготовительной стадии внезапного газодинамического выброса ледника Колка в 2002 г. [Десинов, 2004 и др.] (хотя принимаемые гляциологами объяснения этих явлений, естественно, не предполагают их газодинамической природы).

Весьма важным и показательным предвестником газодинамического выброса ледника является появление еще за несколько недель до него фумарольных газовыделений, но, естественно, не над самим ледником, выполнявшим в это время функцию пластического газоупорного барьера, а за его пределами – в выходящей на земную поверхность трещинно-разрывной разломной зоне во вмещающей ледник приледниковой «раме». Для весьма специфических, пространственно ограниченных условий подземных горных выработок проявления аналогичного предвестника неизвестны, тем не менее, как отметил еще В.В. Ходот [1961, с. 338], и в этих условиях наблюдается усиление газовыделения, что является одним из важных предвестников внезапного выброса. Впрочем, в силу пульсационного, неравномерного характера развития подготовительных процессов и специфики подземных условий, в некоторых случаях внезапных выбросов отмечался предвестник противоположного характера – уменьшение газовыделения [Ходот, 1961, с. 339].

Зато на посткатастрофическом этапе весьма близкая аналогия газодинамических (особенно – наиболее масштабных, наиболее сильных из них) и газогляциодинамических явлений совершенно очевидна: она выражается в проявлении и в том, и в другом случаях постепенно затухающих поверхностных струйных газовыделений в эпицентральной зоне выброса и в непосредственной близости от нее.

* * *

При оценке возможной выбросоопасности (газовыбросоопасности) ледника (в частности, ледника Колка), определении литофизических свойств (в частности, газозкранирующей способности) ледника, как и любого пласта или его части со свободной поверхностью, и его способности выполнять функции газового (газонепроницаемого) барьера имеет значение его проницаемость, разумеется, не на внешней (свободной) поверхности («кромке пласта»), соприкасающейся со свободным воздушным пространством, и вблизи от нее, а на внутренней поверхности (или вблизи от нее), соприкасающейся со скоплением природных газов (разумеется, свободных), обладающих тем или иным, в том числе в некоторых случаях аномально высоким, пластовым давлением.

При этом наличие поверхностной (наблюдаемой на внешней поверхности) трещиноватости льда и перекрытие его слоем рыхлообломочных отложений, естественно, не исключают выполнение ледником функции непроницаемого барьера для поступающих снизу природных газов в результате их восходящей миграции, в том числе концентрированного, сосредоточенного прорыва потока газов из нижних горизонтов коры и подкорового пространства. Происходящие (особенно при газодинамическом локальном вздутии ледника) процессы трещинообразования, локального разрушения верхней части ледника не снимают экранирующего (газо-

упорного) действия его основной по мощности (толщине) нижней части, не ведут к падению давления газа в подледниковом пространстве, а лишь утоняют «газовый барьер», уменьшают его вес, силы его сцепления с боковыми породами и прочность на разрыв. И дальнейшее развитие этих процессов (особенно в условиях пульсационного возрастания количества и давления газов в подледниковом пространстве) неизбежно приводит к газодинамическому выбросу ледника. Совершенно очевидно, что действие именно газового фактора, именно газовое давление – основной фактор, основная причина взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника.

Аналогичным образом, высокая проницаемость пласта (в частности, угольного) у его кромки не означает отсутствие газонепроницаемого барьера на том или ином удалении от нее и не исключает наличия газовых скоплений за этим барьером. В этих условиях, соответственно, существует возможность проявления газодинамического выброса при приближении к газовому скоплению, утоньшении непроницаемого барьера, экранирующего это скопление (перемычки между этим скоплением и свободным пространством), уменьшении сил сцепления непроницаемого барьера с вмещающими породами либо при достаточно быстром возрастании в этом скоплении количества газа и величины газового давления.

В свете изложенного, высокая фильтрационная способность поверхностной части ледника и его перекрытие («бронирование») даже значительным по толщине слоем обломочного (в том числе рыхлообломочного) материала поверхностной морены не исключают возможности подготовки и проявления газодинамического выброса ледника и ледник Колка уже неоднократно демонстрировал это в своей истории [Бергер, 2007б]. Сказанное имеет аналогию и с газоугольными выбросами.

Уже давно было установлено [Лидин, Айруни, 1963, с. 5; и др.], что угольный массив в прилегающей к очистному забою зоне разбит трещинами, раздавлен, и метан из угля выделяется по трещинам в призабойное пространство лав и выработанное пространство участка.

Какая-то часть выделившегося метана изначально (до техногенного воздействия на угольный массив) могла находиться в виде свободной фазы, какая-то – в той или иной связанной форме и выделиться в свободную фазу лишь в процессе разрушения угля либо после него.

Но в данном случае это не имеет сколько-нибудь существенного значения: выделившийся таким образом метан не находится в сжатом состоянии, не является высоконапорным, не обладает аномально высоким давлением и, естественно, не может быть причиной внезапного газодинамического (газоугольного) выброса.

Для возникновения выбросоопасной ситуации существенное значение имеет лишь сжатый газ, находящийся в трещинно-поровом или ином пустотном пространстве *за газонепроницаемым барьером*, отделяющим это пространство от нарушенной горными работами газопроницаемой трещиноватой зоны со свободной поверхностью.

При этом важнейшее значение, во многом определяющее газовыбросоопасность пласта, имеют величина градиента (перепада) газового давления между двумя поверхностями газопорного барьера и его «кромки» – внешней, открытой (обнаженной) и внутренней, находящейся внутри массива, закрытой (необнаженной), а также скорость изменения величины этого градиента, в частности, в ходе подвигания забоя, количество свободного газа и величина его давления за газонепроницаемым

барьером, толщина и литостатическое давление барьера, его напряженно-деформированное состояние, физико-механические свойства и силы его сцепления с вмещающими породами.

Ограничиваясь рассмотрением лишь угольных пластов, И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 255 и др.] приводят многочисленные факты, свидетельствующие о резком снижении и устранении выбросоопасности при дегазации угля (уменьшении количества свободного газа в угольном пласте), снижении газового давления и уменьшении его градиента вне зависимости от горного давления и о повышении выбросоопасности при повышении газового давления и создании большого градиента газового давления также вне зависимости от горного давления, в том числе вообще без всякого участия горного давления, при его отсутствии (в лабораторных экспериментах). При этом они замечают [Петухов, Линьков, 1983, с. 243], что «для отделения частиц более прочного материала нужны более высокие градиенты давления газа». В целом же, «для механизма выброса весьма существенна роль газа в процессе отделения и выноса частиц, обуславливающая в значительной степени специфические черты выбросов» [Петухов, Линьков, 1983, с. 246]. Об этом, как отмечают авторы [Петухов, Линьков, 1983, с. 257], свидетельствуют не только приведенные ими факты, но и «многие другие сведения, касающиеся особенностей выбросов», которые «являются наглядным свидетельством участия газа не только в выносе материала, но и в процессе его дробления».

В этом плане один из признаков, наглядно свидетельствующих о сходстве механизма взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка с внезапными газодинамическими выбросами в подземных условиях, – образование при выбросе ледника огромного количества углеродистой пыли и ледяной крошки – безусловно-го полного аналога так называемой «бешеной муки» внезапных выбросов. Авторы [Петухов, Линьков, 1983, с. 243], в частности, пишут: «Важными отличительными особенностями выбросов являются высокая степень диспергирования материала и участие газа в его дроблении и выносе. При выбросах угля, например, материал дробится до «бешеной муки» – частиц размером до 0,01 мм и менее; при выбросах более прочной породы – песчаника основная масса отрывааемых элементов представляет собой чешуйки толщиной 1–2 мм; сильному дроблению подвергаются при выбросах и соли». Глубокое измельчение (диспергирование) ледово-каменного материала (но, разумеется, не всего) при взрывоподобном газодинамическом выбросе ледника Колка также хорошо известно. При этом, в силу специфики конкретных локальных условий, в частности, местоположения и особенностей залегания отдельных частей горного массива, некоторые части подвергшегося газодинамическому выбросу пласта могут быть не затронуты («обогнуты») волной послойного отделения частиц либо затронуты волной разрушения и выброса лишь в небольшой степени, что приводит к сохранению или лишь к небольшому смещению местоположения этих частей (некоторых так называемых останцов в случае выброса ледника Колка, к которым в наибольшей мере подходит такое определение). Предшествующий же многим выбросам, особенно большой силы (интенсивности), горный удар производит сотрясательное воздействие на массив и может инициировать выброс, в том числе с тем или иным запаздыванием. Именно такой случай, по-видимому, имел место 20 сентября 2002 г., примерно за 18 часов до газодинамического выброса ледника Колка, с учетом событий этого дня в данных автором [Бергер, 2007а, с. 38–42] их расшифровке и интерпретации.

Сам же газодинамический выброс, при всей его крайней скоротечности, даже в масштабах горной выработки, несравнимо меньших масштабов ледника Колка, представляет собой, как правило, нестационарное движение смеси газа и частиц из-за неоднородности материала, изменчивости величины сил его сцепления с вмещающими породами, колебаний давления и плотности за фронтом волны дробления, в силу чего процесс затухает в одних местах поверхности фронта и охватывает другие участки [Петухов, Линьков, 1983, с. 245 и 263].

В качестве других особенностей газодинамических выбросов И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 243–245] выделяют ударную воздушную волну, опережающую поток смеси частиц и газа, и своеобразные формы образующихся при выбросах полостей, весьма различные, особенно для пород различного литологического типа. Безусловно, весьма специфической по своей морфологии (но, конечно, вполне естественной и закономерной) является и полость выброса ледника Колка, несущая следы газодинамического воздействия на массив [Бергер, 2012а, б].

Согласно энергетически-силовой теории внезапных газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1976, 1978, 1983; Петросян и др., 1983], для проявления таких выбросов существенное значение имеет не только аномально высокое (сверхвысокое) давление природных газов, но и наличие достаточного количества высоконапорных газов. При этом, как отмечают А.Э. Петросян и др. [1983, с. 72] (со ссылкой на работу [Бувич, Минаев, 1975]), «при расходе газа, меньшем критического, со стороны свободной поверхности отрывается элемент породы конечной длины, а при расходе, большем критического, – вся масса породы» (слагающей газоупорный барьер. – М.Б.). В случае газодинамического выброса ледника Колка это соответствует практически основной части ледника, отделенной от ледникового ложа силлоподобной залежью высоконапорных поствулканических газов, прорвавшихся непосредственно под ледник в августе-сентябре 2002 г. на заключительных этапах подготовки взрывоподобного газодинамического выброса ледника [Бергер, 2007а, с. 54; Бергер, 2008, с. 37 и 43].

Согласно И.М. Петухову и А.М. Линькову [1983, с. 246], проявление взрывного разрушения зависит от наличия достаточно больших начальных трещин в горных породах и от внешних воздействий, способствующих образованию и распространению трещин. Без выполнения таких дополнительных условий сама по себе «большая энергия не приводит к взрыву. Если же условия роста трещин оказываются выполненными, то происходит катастрофа – громадный избыток энергии, запасенный в газе, вызывает взрыв».

В этой связи необходимо заметить, что взрыв, точнее, взрывоподобный внезапный газодинамический выброс ледника Колка 2002 г., как известно [Бергер, 2006а,б; 2007а; 2008, с. 119 и др.], в течение, по меньшей мере, двух месяцев интенсивно готовился, в том числе и в отношении образования достаточно больших начальных трещин в леднике, и в отношении сильных сотрясательных сейсмо-ударных и обвально-ударных внешних воздействий на ледник, способствующих образованию и распространению трещин в леднике. Этому же способствовали и интенсивно проявившиеся в тыльной зоне ледника на заключительном этапе подготовительной стадии выброса процессы куполообразования [Тутубалина и др., 2005; и др.].

Важно подчеркнуть и такую аналогию между подземными внезапными газодинамическими выбросами и газодинамическим выбросом ледника Колка. Как отмечает Ю.М. Бирюков [2011, с. 6], «внезапные выбросы угля и газа происходят не

мгновенно – процесс выброса длится несколько минут». Тем более не мог быть (и, безусловно, не был) совершенно мгновенным гигантский по захваченной им площади, объему выброшенного материала, дальности его выброса, протяженности зоны аккумуляции в пределах Геналдонского ущелья, площади и объему образовавшегося навала, а также некоторым другим показателям газодинамический выброс ледника Колка. Все это (а также отмечаемый Ю.М. Бирюковым [там же] скачкообразный (пульсационный) характер подготовки и развития (протекания) выбросов с различными по продолжительности интервалами между скачками), естественно, не могло не отразиться, в частности, на сейсмических записях Колкинской катастрофы [Заалишвили и др., 2004, 2005, 2007, 2012, 2014 и др.; Заалишвили, Мельков, 2012; Процесс схода..., 2009; Годзиковская и др., 2004; и др.] (многочисленные полученные в этой области сведения наиболее полно представлены в сборнике [Ледник Колка..., 2014]). Отметим также, что происходящая в ходе подготовки выброса трансформация состояния, структуры и свойств расположенного за газоупорным барьером полупространства и внешней, приповерхностной зоны этого барьера (в частности, повышение трещиноватости горных пород на предкатастрофическом этапе выброса ледника) неизбежно ведет к снижению амплитуды регистрируемых при выбросе сейсмических волн [Родионов и др., 1971, с. 103].

В исключительно важной области расшифровки и интерпретации сигналов сейсмического сопровождения взрывоподобных газодинамических и газогляциодинамических явлений, как и собственно взрывных явлений различного типа и генезиса, при всей значительности полученных к настоящему времени результатов, существует еще большой простор для исследований.

* * *

Наряду с взрывоподобными, безусловно, невулканическими природно-техногенными газодинамическими явлениями в подземных горных выработках и поствулканическими (и, вероятно, собственно постмагматическими) поверхностными чисто природными взрывоподобными газогляциодинамическими явлениями, в природе, как известно, существуют геодинамически и, в какой-то мере, генетически, каузально (по характеру основного действующего фактора – высоконапорных природных газов) близкие им вулканические газодинамические явления – также взрывоподобные (взрывные, эксплозивные) вулканические извержения, имеющие иногда направленный характер.

Г. Макдоналд [1975, с. 125] следующим образом генетически характеризует эти явления: «мгновенные или длительные, слабые или сильные – все вулканические эксплозии являются результатом выделения газа, который находился под давлением».

В геодинамическом же отношении, «согласно наиболее распространенному представлению, эксплозия – это внезапный очень непродолжительный сильный взрыв, по существу один короткий импульс, подобный взрыву, который выбрасывает снаряд из орудия. Некоторые вулканические эксплозии имеют именно такой характер, но многие гораздо продолжительнее и представляют собой непрерывные взрывы стремительно выделяющегося газа, которые продолжаются несколько секунд или минут, а иногда даже несколько часов» [там же].

В плане развития газогляциодинамической сейсмологии, заложенной трудами В.Б. Заалишвили и его сотрудников [2014 и др.], представляется весьма важным и

перспективным сопоставление результатов сейсмологических исследований взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка 2002 г. (по другим подобным газогляциодинамическим явлениям сейсмологические данные отсутствуют) с имеющимися многочисленными данными вулканической сейсмологии, характеризующими сейсмическое сопровождение подготовки и проявления вулканических извержений, особенно эксплозивных извержений различного типа (прежде всего, направленных), включая фреатические.

При таком сопоставлении, естественно, необходимо учесть и длительную подготовительную стадию газодинамического выброса ледника Колка, и запечатленную, в частности, на многочисленных снимках также довольно продолжительную стадию его постпароксимального завершения, выразившегося, прежде всего, в интенсивном многодневном пульсационном поверхностном газовыделении в эпицентральной зоне выброса и вблизи от нее.

Что же касается непроницаемых барьеров, то их роль в подобных случаях выполняют молодые лавовые образования жерловой фации, более древние (резургентные) вулканогенные породы, а иногда и ледники. В последнем случае есть основания говорить о вулканических газогляциодинамических явлениях. Соответственно, при этом в какой-то мере фактически смыкаются газогляциодинамика и вулканология.

* * *

Таковы лишь некоторые (но наиболее существенные или одни из наиболее существенных) общие вопросы изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений, определяемые значительной общностью многих условий подготовки и протекания этих явлений, вытекающей из принципиального сходства их многочисленных особенностей (диагностических признаков), фактуально подтверждающего значительную общность этих условий.

Не повторяя известные положения механики внезапных газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1983; и др.], отметим лишь, что, в своей основе, многие из этих положений, как в какой-то мере показано выше, так или иначе, с теми или иными коррективами, безусловно, приложимы и в области изучения газогляциодинамических явлений – взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов ледников.

Изложенное показывает важнейшие особенности геологического строения и функционирования сложных полиэлементных выбросоопасных газодинамических и газогляциодинамических природных систем и функциональную роль их различных элементов в процессах подготовки и проявления взрывоподобных газодинамических выбросов, принципиально сходные при всех различиях конкретных геологических условий протекания динамических процессов и состава выбрасываемого материала. Осознание этого сходства чрезвычайно важно для выявления газогляциодинамических явлений, их доказательной идентификации, прогнозирования и успешного углубленного изучения.

Главное же состоит в том, что вышеизложенное, в соответствии со сформулированными ранее положениями [Бергер, 2015], переводит пароксимальные взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников из числа экзогенных склоново-гравитационных явлений гляциального генезиса, к которым их до сих пор ошибочно причисляли, в категорию эндогенных газодинамических явлений по-

ствулканического (или, более широко, постмагматического) генезиса.

При этом совершенно иными оказываются геомеханические и многие другие аспекты их изучения, а изучающая эти явления газогляциодинамика, выделенная в качестве новой области исследований в науках о Земле лишь в XXI в., обнаруживает много общего с широко проводимыми в течение уже около двух столетий исследованиями газодинамических явлений и, соответственно, в какой-то мере может опираться на некоторые полученные при их исследовании результаты.

Изложенное дает основание для последующего более расширенного, детального и углубленного рассмотрения затронутых вопросов и содержит предпосылки для постановки и решения многих других вопросов в данной области.

Литература

1. Абрамов Ф.А., Шевелев Г.А. Исследование фильтрационных и газодинамических процессов в выбросоопасных породах // Вопросы теории выбросов угля, породы и газа / Материалы семинара (Днепропетровск, июнь 1970 г.). Киев: Наукова думка, 1973. С. 167–175.
2. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. М.: Недра, 1981. 335 с.
3. Аникиев К.А. Геодинамическая теория сверхвысокой пластовой энергии разбуриваемых нефтегазоносных недр Земли // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 205–217.
4. 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.
5. Бергер М.Г. Геологические предпосылки внезапных газодинамических выбросов в подземных горных выработках // Горно-добывающий комплекс России: состояние, перспективы развития. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Героя Социалистического труда, академика Михаила Ивановича Агошкова. Владикавказ, 2005а. С. 43–47.
6. Бергер М.Г. О газовом факторе как основной причине внезапных газодинамических выбросов // Горно-добывающий комплекс России: состояние, перспективы развития. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Героя Социалистического труда, академика Михаила Ивановича Агошкова. Владикавказ, 2005б. С. 47–50.
7. 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, 2006а. С. 41–49.
8. Бергер М.Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2006б. Т. 6. № 2. С. 33–37.
9. Бергер М.Г. Об условиях выбросоопасности горных пород (К теории внезапных газодинамических выбросов) // Сборник научных трудов Северо-Осетинского отделения АН ВШ РФ. № 4. Владикавказ: Терек, 2006в. С. 3–9.
10. Бергер М.Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 года – внезапный

газодинамический выброс ледника. М.: Изд-во ЛКИ, 2007а. 248 с.

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

12. Бергер М.Г. О предвестниках внезапного газодинамического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 года // Материалы VI Международной конференции «Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий». Владикавказ, 28–30 мая 2007 г. Владикавказ: Терек, 2007в. С. 194–208.

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

14. Бергер М.Г. О воронке выброса ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. 2012а. № 2. С. 55–64.

15. Бергер М.Г. О некоторых следах, оставшихся на месте ледника Колка, как показателях характера Колкинской катастрофы 2002 года // Геология и геофизика Юга России. 2012б. № 4. С. 75–85.

16. Бергер М.Г. Газогляциодинамика – новая область исследований ледников и связанных с ними эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня // Геология и геофизика Юга России. 2015. № 4. С. 18–46.

17. Бирюков Ю. М. Техногенная газодинамика. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. 159 с.

18. Бувевич Ю.А., Минаев Г.А. О переходе зернистого слоя в псевдооживленное состояние (теория) // Инженерно-физический журнал. 1975. № 5. С. 773–780.

19. Валуконис Г.Ю., Ходьков А.Е. Геологические закономерности движения подземных вод, нефтей и газов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1973. 304 с.

20. Глушко В.Т., Зорин А.Н., Рубан Д.Б. К вопросу влияния некоторых факторов на выбросы пород // Выбросы породы и газа. Киев: Наукова думка, 1971. С. 63–67.

21. Годзиковская А.А., Бугаевский А.Г., Габсатарова И.П. Сейсмологическая составляющая в катастрофическом движении ледника Колка // URL: <http://zeus.wdcb.ru/sep/kolka/index.ru.html>. Last revision. November, 11, 2004.

22. Григорян С.С. Механика ледников // Механика и физика льда. Серия «Прочность и вязкоупругопластичность». М.: Наука, 1983. С. 101–107.

23. Десинов Л.В. Результаты реконструкции последней подвижки ледника Колка // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23–26 июня 2004 г. Владикавказ: Изд-во «РЕМАРКО», 2004а. С. 15–16.

24. Десинов Л.В. Пульсация ледника Колка в 2002 году // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2004б. Т. 4. № 3. С. 72–87.

25. Жатнуев Н.С. Трещинные флюидные системы в зоне пластических деформаций // Доклады Академии наук. 2005. Т. 404. № 3. С. 380–384.

26. 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.

27. 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. Т. 5. № 3. С. 43–54.

28. 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.

29. Заалишвили В.Б. К 10-летию схода ледника Колка: результаты анализа инструментальных сейсмических данных // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды III Международной научно-практической конференции, приуроченной к 10-летию схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. / ред. В.Б. Заалишвили. Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2012. С. 15–31.

30. 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.

31. Заалишвили В.Б., Харебов К.С. Исследование процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. по динамическим характеристикам инструментальных записей // 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. 159–174.

32. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2009. 328 с.

33. Кравцов А.И. Геология и геохимия природных газов в зонах глубинных разломов и формирование месторождений горючих газов и нефти // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 189–199.

34. 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. 429 с.

35. Лидин Г.Д., Айруни А.Т. О теории дегазации угольных пластов // Вопросы дегазации угольных пластов. М.: Госгортехиздат, 1963. С. 3–69.

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

37. Мейер М. Опыт определения терминов бюджета массы ледников // Вопросы динамики и современной эволюции ледников. Сборник статей. М.: Прогресс, 1964. С. 114–125.

38. Морев А.М., Скляр Л.А., Большинский И.М., Клойзнер С.М., Водолазский В.Т., Шерсткин В.В. Внезапные разрушения почвы и прорывы метана в выработки угольных шахт. М.: Недра, 1992. 174 с.

39. Москаленко Э.М., Николин В.И. Борьба с внезапными выбросами. Учеб. пособие. Ч. II. М.: Изд-во МГИ, 1981. 94 с.

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

41. Николин В.И., Лысиков Б.А., Ярембаш И.Ф. Газоносность пород больших глубин. Донецк: Изд-во «Донбасс», 1969.

42. Остапенко Н.С. Саморазвитие экранированных гидротермальных систем и гидроразрыв в структуро- и рудообразовании (общая модель формирования гидротермальных месторождений) // Доклады Академии наук. 2005. Т. 400. № 6. С. 789–792.

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

44. Петросян А.Э., Яновская М.Ф., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Исследование процессов возникновения внезапных выбросов угля и газа. М.: Наука, 1978. 112 с.
45. Петухов И.М., Линьков А.М. Теоретические предпосылки предупреждения внезапных выбросов и мер борьбы с их вредными последствиями // Выбросы угля, породы и газа. Киев: Наукова думка, 1976. С. 3–18.
46. Петухов И.М., Линьков А.М. Механизм развязывания и протекания выбросов угля (породы) и газа // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. М.: Недра, 1978. С. 62–91.
47. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983. 280 с.
48. Покровский Г.И. Взрыв. 3-е изд. М.: Наука, 1973. 182 с.
49. Процесс схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. / Отв. ред. В. Б. Заалишвили. Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2009. 165 с.
50. Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н., Николаевский В.Н., Ромашов А.Н., Цветков В.М. Механический эффект подземного взрыва. М.: Недра, 1971. 224 с.
51. Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 169 с.
52. 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.
53. Уолтхэм Т. Катастрофы: неистовая Земля. Л.: Недра, 1982. 223 с.
54. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. М.: Мир, 1981. 436 с.
55. Ходот В.В. Основные направления научного поиска в области борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах // Вопросы теории выбросов угля, породы и газа. Киев: Наукова думка, 1973. С. 3–18.
56. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. М.: Госгортехиздат, 1961. 363 с.
57. Шок Р. Поведение горных пород под действием больших напряжений // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 26. Удар, взрыв и разрушение. Сб. статей. М.: Мир, 1981. С. 116–130.
58. Эттингер И.Л., Шульман Н.В. Распределение метана в порых ископаемых углей. М.: Наука, 1975. 112 с.
59. Wang Dong-sheng. Meitan jishu // Coal Technol. 2010. V. 29. № 10. P. 88–89.

DOI: 10.23671/VNC.2016.1.20711

SOME COMMON QUESTIONS OF INVESTIGATION GAS-DYNAMIC AND GAS-GLACIAL-DYNAMIC PHENOMENA

© 2016 M.G. Berger, Sc.Doctor (Geol. Min.), prof.

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

Some aspects of investigation gas-dynamic and gas-glacial-dynamic phenomena are considered. There was a community of the many features of these phenomena, indicating a major role of gas ratio in their preparation, launch, flow and ending. The specifics of gas-glacial-dynamic phenomena is obtained.

Keywords: gas-dynamic phenomena gas-glacial-dynamics, gas-glacial-dynamic phenomena, sudden gas-dynamic emissions, catastrophic explosive directed gas-dynamic emissions of glaciers, abnormally high strata pressure of natural gases, emission hazard (gas emission hazard), Kolka glacier, Kolka catastrophe of 2002, forecast of gas emission hazard of glacier, precursors of emission