



С. В. Бычков
serguei58@rambler.ru

ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В ПРОЦЕССЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. ВЗРЫВ ПОРОД ГОРНОГО МАССИВА КАК ИСТОЧНИК ТОЛЧКОВ, ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ И ГОРНЫХ УДАРОВ

CHEMICAL REACTIONS DURING EARTHQUAKES. ROCK MASSIF EXPLOSION AS A SOURCE OF SHOCKS, SUDDEN OUTBURSTS AND ROCK BURSTS

С. В. Бычков – горный инженер-сейсмолог,
Новокузнецк-Ванкувер

S .V. Bychkov - mining engineer and
seismologist, Novokuznetsk - Vancouver

Задача объяснения механизма возникновения землетрясений и их прогноза внесена ООН в десятку важнейших задач человечества. В данной статье даётся теоретическое обоснование причины возникновения землетрясений вне зависимости от их типа и характера, показан возможный механизм образования подземных толчков, представлена идентичность процессов землетрясений земной коры и внезапных выбросов в шахтах, указывающая на то, что это один процесс, происходящий в горном массиве вследствие самопроизвольного Деформационного взрыва пород земной коры за счёт накопленной потенциальной энергии горного давления и энергии цепных химических реакций газов, сорбированных горным массивом. В статье показана возможность прогноза и предотвращения как землетрясений, так и внезапных выбросов и горных ударов за счёт подавления цепных химических реакций в горном массиве.

В настоящий момент реализация задачи прогноза и предотвращения землетрясений затруднена ввиду ошибочности убеждения многих сейсмологов в принципиальной неразрешимости этой задачи.

The task of earthquake mechanism occurrence explanation and their forecast is included by the UN into top ten most important tasks of mankind. In this paper the theoretical explanation of earthquakes causes is given, regardless of their type and nature and a possible mechanism of underground shock formation is shown. The article shows the identity of the Earth's crust earthquake processes and of sudden outbursts in coal mines, indicating that this is a process that takes place in a rock massif as a result of spontaneous deformational explosion of the earth's crust rocks due to the rock pressure potential energy accumulation and the energy of chain chemical reaction of gases retained by the rock massif. The article shows the possibility of forecast and prevention of both earthquakes and sudden outbursts, and rock bursts due to the suppression of chain chemical reactions in the rock massif.

At present, implementation of earthquake forecast and prevention is difficult because of many seismologists' mistaken belief that this task is principally unsolvable.

Ключевые слова: ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ГОРНЫЙ УДАР, ВНЕЗАПНЫЙ ВЫБРОС, ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, ДЕФОРМАЦИОННЫЙ ВЗРЫВ, БЕШЕНАЯ МУКА, ТВЁРДЫЙ РАСТВОР ГАЗОВ, МЕТАН, ЦЕПНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ, РАДИОЛИЗ, СВОБОДНЫЙ РАДИКАЛ

Key words: EATHQUAKE, ROCK SHOCK, SUDDEN OUTBURST, ROCK PRESSURE, DEFORMATIONAL EXPLOSION, CRAZY FLOUR, SOLID GAS SOLUTION, METHANE, CHAIN CHEMICAL REACTION, RADIOLYSIS, FREE RADICAL

Землетрясения, регулярно происходящие на земле, стирают в пыль города и сёла, убивая при этом сотни тысяч людей. Человечеству крайне необходимо научиться прогнозировать это грозное явление. Но, не зная реальных причин землетрясений, мы лишены возможности сказать, где следует

ожидать следующее землетрясение, какой силы оно будет и в каком интервале времени, в течение которого оно произойдёт. Целью данной работы является обоснование теории происхождения землетрясений, горных ударов и внезапных выбросов в результате воздействия на земную поверхность ударной волны взрыва породы

в очаге землетрясения вследствие резкого изменения деформационных нагрузок в горном массиве, образования в нём лавины свободных радикалов газов, сорбированных горным массивом, приводящей к возникновению цепных химических реакций, в результате которых вся накопленная массивом энергия упругих деформаций и энергия цепных химической реакции реализуется в виде Деформационного взрыва, воздействующего на земную поверхность в виде сейсмических волн.

Существует большое количество теорий происхождения землетрясений, начиная от классической теории Упругой отдачи, разработанной ещё в 1910 г. Г. Рейдом [3] до различных экзотических теорий типа растрескивания земной коры от действия тёмной материи. В классическом понимании природы явления [1,2,5,20] с различными дополнениями и допущениями, сделанными за столетие после Рейда, землетрясение представляют собой подземные толчки и колебания земной поверхности, которые возникают в результате выделения внутренней энергии горных блоков, образующейся при тектонических и других смещениях в земной коре. Смещению пород в земной коре препятствует трение, вследствие чего энергия землетрясений накапливается в горном массиве в виде упругих напряжений. Когда деформационное напряжение плит или блоков массива достигает критической точки, превышающей силу трения пород, происходит их резкий разрыв со взаимным смещением, и накопленная энергия реализуется в виде волновых колебаний поверхности земли. Ряд факторов указывает на достоверность данной теории (наличие известных сейсмически активных зон, тектонических плит, зон разломов земной коры), но отсутствие результативных и надёжных методов прогноза землетрясений уже много лет отчаянно сигнализирует научному сообществу, что общепринятая теория или неверно отражает суть явления, или в её основе существует значительный пробел, который не позволяет понять реальную картину происходящих процессов внутри земли. Ярким примером такого пробела служат техногенные землетрясения, происходящие при наполнении водохранилищ, испытаниях ядерного оружия, добыче полезных ископаемых. Характер этих землетрясений существенно отличаются от классического сценария. Очевидно, что если техногенные землетрясения происходят не в зонах сейсмической активности, не в зонах движения тектонических плит, не в зонах разломов, не в пределах влияния вулканических сил, как это должно было быть по классическому

подходу к рассмотрению причин землетрясений, то это указывает на вторичность приведённых сейсмических факторов. Возникают и другие вопросы: к примеру, почему землетрясения происходят только по мере заполнения водохранилищ водой и почему прекращаются с окончанием заполнения? Ведь объём воды не уменьшился, а увеличился, и, следовательно, энергия деформации пород под водохранилищем увеличилась. Моменты увеличения активности землетрясений наблюдались в момент заполнения водохранилищ Нурекской, Токтогульской, Червакской гидроэлектростанций, Ингури ГЭС, Жинвали и других водохранилищ. Ярким примером события, связанным с наполнением водохранилища, является землетрясение, произошедшее 10.12.1967 с магнитудой 6,3 в районе плотины Койна в Индии и вошедшее в мировую историю, как классика возбужденной сейсмичности: город Койнанагар был разрушен на 80 %, погибло 200 и ранено более 1500 человек [22]. И обратите внимание на показательный факт - существует статистика произошедших толчков в момент слива воды из водохранилища. Данный научный факт серьёзно подтверждает теорию прохождения землетрясений именно в момент изменения горного давления в массиве. Очевидно и то, что за миллионы лет в земной коре сложилось равновесие всех сил и при разбалансировке какой-то части массива происходит реакция земной коры в виде землетрясений с целью приведения системы в равновесное положение. До сих пор нет ответа на вопрос, каков механизм морозобойных землетрясений [5] и почему низкие температуры вызывают подземные толчки? Речь идёт о таком типе малоизученных землетрясений, которые происходят при морозной погоде в районе минус 30 градусов в местностях, где основные породы покрывают мощные слои грунта, пропитанные влагой. Как объяснить связь между подземными толчками и морозом? До настоящего момента нет ясного ответа, почему происходят Вулканические землетрясения, то есть землетрясения, происходящие в районе расположения активного вулкана. Вулкан работает - в округе происходят толчки в земной коре, вулкан спит - толчки отсутствуют. (Ниже я постараюсь ответить на эти три вопроса).

В свете классической теории существуют тектонические, вулканические, обвальные, техногенные и морозобойные землетрясения. Если перечисленные типы землетрясений вызываются разными механизмами: тектонические – движением плит, вулканические – извержением вулканов, обвальные – обвалами, морозобойные

– низкими температурами, то возникает вопрос: это разные явления с разными механизмами и причинами возникновения или же механизмы разные, а причина одна? Вот ещё факты, которые нельзя объяснить классической теорией происхождения землетрясений. В статье [17] американские учёные из университета штата Техас в Остине приводят данные, согласно которым из 162 землетрясений, произошедших в Техасе в период 1975-2015 гг., примерно четвертая часть была вызвана добычей сланцевых углеводородов. Приведённая ими статистика свидетельствует о том, что за последние 40 лет, когда в штате начались активные работы по добыче сланцевой нефти и газа, частота подземных толчков возросла. Проанализировав данные, ученые установили, что в большинстве случаев эпицентры «сланцевого землетрясения» находились в непосредственной близости от скважин, а подземные толчки были спровоцированы закачкой большого количества воды в скважины. И дело здесь не в гидроразрыве горного массива, представляющего из себя цепь трещин в породе, которые не могут вызвать серьёзные толчки в земной коре, дело именно в изменении горного давления в горном массиве в связи с закачкой огромной массы воды в этот массив, что и отметили американские учёные. То есть и в этих случаях ни о каких сейсмозонах, тектонических плитах, обвалах, вулканах, морозах речь не идёт. Все дело в закачанной воде, которая нарушила прежний баланс деформаций. К этому следует добавить, что расположение очагов землетрясений в непосредственной близости от скважин указывает на их строжайшую зональность, которая никаким образом не связана ни с какими другими параметрами, а напрямую зависит от точки приложения нагрузки на массив. Это хорошо согласуется с наблюдениями за роем землетрясений, случившимися 1962 г. в США, в штате Колорадо, которые были вызваны закачкой отработанных радиоактивных вод в скважину, пробуренную до глубины 3671 м. Глубина очагов роя землетрясений составляла 4,5-5,5 км, а их эпицентры также располагались близ скважины. В рамках классической теории нет объяснения факту, почему энергия землетрясения выделяется всегда в одной точке (очаге), вместо того чтобы проявляться по всей длине соприкосновения плит, как например, при Калифорнийском землетрясении 1906 г., когда сдвиг грунта на поверхности земли наблюдался на расстоянии 477 км. Получается, будто энергия деформационных напряжений, вместо того чтобы реализоваться во всех точках по всей длине сдвига

тектонических плит неизвестным нам способом, из всех точек соприкосновения "перелилась" в одну единственную точку очага, где произошла её аккумуляция и реализация в виде ударной волны огромной мощности эквивалентной энергии взрыва мощностью несколько мегатонн тротила. Согласно военным сейсмологам, которые методом опытных ядерных взрывов определили мощность землетрясений (24), сейсмическая энергия, выделяемая при ядерном взрыве мощностью в 1 мегатонну (1 мегатонна = $4,184 \cdot 10^{15}$ Дж), эквивалентна землетрясению с магнитудой около 6. Очевидно, для того чтобы образовался распарывающий поверхность земли многокилометровый разлом, вначале должна быть затрачена энергия для образования этого разлома. Нам неизвестна сила, которая легко подбросила многокилометровую, супертяжёлую тектоническую плиту с такой энергией, чтобы она расползла землю огромным шрамом длиной в 477 км. Исходя из приведённых фактов напрашивается вывод: если очаг землетрясения находится в микроскопической по размерам относительно размеров тектонических плит точке земной коры и в этой точке происходит выделение энергии, определяющей характер землетрясения, то причина землетрясения находится именно в этой точке; движение тектонических плит, их трение, параметры напряжений и деформаций, геология и глубина горного массива, местоположение, природные факторы являются вторичными сейсмическими факторами, а реальная причина остаётся неизвестной. Похожее рассуждение высказал известный новозеландский сейсмолог Д. Эйби, который заявил, что возможно большая часть энергии землетрясения высвобождается не от разрядки упругих напряжений массива, а от чего-то другого, всё остальное только формы сейсмической активности [4 с.101]. Так что из себя представляет процесс в конкретной точке земной коры, который вызывает столь катастрофические последствия? Я полагаю, что причиной землетрясения является взрыв в горном массиве, ударная волна которого вызывает сейсмические волны. Но если допустить, что причиной землетрясения является взрыв, то уместно задать справедливый вопрос: что может взорваться в глубине земли? Ответ только один: в очаге землетрясения может взорваться только порода, так как под землёй, кроме неё, ничего нет. Следовательно, только самопроизвольный взрыв пород в горном массиве, который ввиду его характера я назвал Деформационный, может вызвать землетрясение. Причём, большие магнитуды землетрясений говорят за

то, что порода внутри земной коры взрывается с мощностью, приближённой к ядерному взрыву. Так что за процессы в земной коре приводят к тому, что обыкновенная порода, обыкновенный массив песчаника, базальта, гранита взрываться как ядерный заряд? Можно ли предотвращать Деформационные взрывы, а следовательно, и землетрясения? И можно ли их точно прогнозировать? Ответы на эти вопросы помогут человечеству найти способы противодействия Деформационным взрывам, которые навсегда избавят людей от трагических событий – землетрясений.

Чтобы ответить на поставленные вопросы, нам следует разобрать такое явление в горном деле, как Внезапный выброс пород и газа из горного массива [7,9,11,15] и понятие химической цепной реакции. В горном деле существует газодинамическое явление, которое называют Внезапным выбросом из горного массива газов и горной массы и его частный случай – Горный удар. Независимо от землетрясений, внезапные выбросы и горные удары сами по себе представляют огромную угрозу для жизни людей. Только на шахтах Донбасса за период с 1951 по 2005 гг. произошло 7230 внезапных выбросов, а в период с 1971 по 1980 гг. погибло по вине внезапных выбросов 259 шахтёров. Процесс Внезапного выброса сродни землетрясению – внезапно возникающая ударная волна в горном массиве. Если землетрясения – это реакция земной коры на разбалансировку напряжений в зональном массиве, то внезапный выброс – это реакция горных пород на разбалансировку напряжений в массиве в пределах шахтного поля. По всей видимости они являются одним событием. Это явление зафиксировано в подземных шахтах с 1738 г. (первый горный удар в истории) и с 1834 г. (первый внезапный выброс) и хорошо изучено ввиду его доступности для исследователей и огромного статистического материала, накопленного за многие годы изучения. Внезапный выброс сопровождается частичным или полным разрушением горной выработки, бурным выделением газов в выработку и образованием взвеси очень тонкой породной пыли в атмосфере горной выработки под названием "бешеная мука". Наличие породной муки тонкого помола указывает на разрушение горного массива не только от действия ударной волны, но и по причине внутримолекулярного разрушения самого горного массива. Самым мощным Внезапным выбросом в истории считается выброс 14 тысяч тонн угля и около 600 тысяч м³ газа метана, который произошёл в 1969 г. в Украине на шахте им. Ю. А. Гагарина на глубине 750 м. Горную выработку за-

сыпало выброшенным из пласта углём на протяжении 650 м. Основой выброшенного из горного массива газа является газ метан, водород, монооксид углерода, азот, сероводород, или их смеси, а также наблюдались небольшое присутствие аргона, сероводорода, водорода и гелия. Но в основном это газ метан. Это объясняется тем, что газ метан является основой для ряда его углеводородных компонентов – гомологов. Помимо выбросов угля, имели место выбросы песчаников, калийных солей, а при сооружении тоннеля Арпа-Севан в Армении имели место выбросы порфиринов. Таким образом, практически все виды пород могут участвовать в этом явлении. Исходя из этого мы можем сделать заключение, что общим условием для Внезапного выброса являются высокие упругие свойства пород горного массива и наличие углеводородных газов в поровом и межмолекулярном пространстве, т.е. в виде твёрдых растворов. Несмотря на то что этот процесс доступен для исследований, реально работающей теории внезапных выбросов не существует, а существует несколько теорий Внезапного выброса [6,8,10] и причин его проявления, отличающихся оценкой участия в внезапном выбросе газа, напряженно-деформированного состояния массива, а также физико-механических и физико-химических свойств породы. Внезапный выброс породы и газа рассматривается как процесс разрушения горного массива в результате взаимодействия высокого давления газа в порах и микротрещинах горного массива и быстрой деформации горного массива в зоне ведения горных работ. Упрощённо этот процесс представляют как взрыв ёмкости, находящейся под высоким давлением газа при нарушении её целостности, то есть первопричиной Внезапного Выброса, по мнению научных кругов, является энергия сорбированного в процессе формирования горного массива газа. В работе [19, Гл.7] приведены интересные результаты и выводы учёных СССР, производивших опыты по накачке пород газами. Наличие твёрдых растворов газов в породах доказали исследования учёных: И. Л. Гуфельда, А.Ю. Намиота, М.М. Бондарева, Л.Л. Шанина, В.В. Чердынцева. Опыты, проведённые этими учёными, подтвердили, что при повышенных температурах и давлениях газы, преодолевая энергетическое сопротивление кристаллических связей всех минералов и пород (включая алмазы), вторгаются внутрь их структур и переводят системы в метастабильную субстанцию. В работах сделан вывод, что любая накачанная газом порода – это физическая взрывчатка, где слово «физическая» го-

ворит о том, что взрыв породы носит именно физический вид и является результатом реализации потенциальной энергии сжатого газа. Это утверждение, по моему мнению, оказывается верно только отчасти. Если рассматривать процесс Внезапного выброса с самого начала, то есть от начала формирования горного массива, то за многие миллионы лет газы атмосферы, газы углеводородов, магматические и другие газы и продукты их химических реакций под действиями высоких температур, горного давления и многомиллионного периода дренирования в горном массиве сорбировались в него в виде адсорбции, абсорбции и хемосорбции. То есть молекулы газов образовывали связи с молекулами пород горного массива под действием сил молекулярного притяжения, диффузии и создавали молекулярные связи с образованием устойчивых химических соединений. Нам тяжело представить, что высокоплотные граниты и базальты могут "напитаться" газами до такой степени, что создадут с ними молекулярные связи в виде твёрдых растворов, но, как показывает практика, все представленные в земной коре породы в процессе метаморфизма могут стать абсорбентами газов. К примеру, базальты, обладающие высокой крепостью и плотностью и, казалось бы, не способные служить адсорбентом, в процессе метаморфизма становятся идеальными очагами землетрясения. Результаты бурения [18] сверхглубокой Тюменской скважины полностью подтверждают этот вывод. С глубины 6424 м. скважина вскрыла толщу базальтов, которые в отличие от аналогичных по возрасту и составу пород оказались сверхпористыми и превратились в идеальные адсорбенты. Современная горно-геологическая наука пока не нашла этому объяснение, но тем не менее это научный факт.

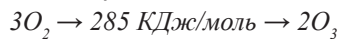
Механизм Деформационного взрыва хорошо понятен и объясним в сравнении с Холодным взрывом. Холодный взрыв [15] – это явление цепной химической реакции, происходящей при охлаждении до температур, близких к абсолютному нулю. Эффект был открыт в 1980 г. в Институте химической физики Академии Наук СССР. Первоначально реакция была обнаружена для смеси метил циклогексана и хлора, охлаждённой до температуры ~ 10 °K. Смесь быстро охлаждалась, и в диапазоне температур от 60 до 10 °K при иницировании лучом лазера происходил взрыв. Механизм возникновения и прохождения цепной реакции объясняется наличием в образце деформаций сжатия, возникающих при быстром охлаждении. В нашем случае процесс инициации лазером заменяется на резкую смену

горного давления, а дальше всё происходит как при Холодном взрыве - при резком понижении давления в горном массиве деформации в образце не успевают релаксировать, что приводит к образованию цепной реакции свободных радикалов. За доли секунды их число лавинообразно нарастает, что приводит к Деформационному взрыву, а он, в свою очередь, вызывает ударную волну. Из теории цепных химических реакций известно, что помимо лазера, образование свободных радикалов могут вызвать температура, свет, давление, удары, разломы и другие механические причины, иницирующие взрыв, излучение. То, что при изменении горного давления возможно образование свободных радикалов, говорит хотя бы тот неоспоримый факт, что при механическом воздействии на полимеры образуются свободные радикалы, следовательно, обыкновенный разлом пласта угля или плиты породы в результате горного давления приведёт к образованию свободных радикалов, необходимых для начала цепной реакции. Вопрос заключается в том, есть ли в породах естественные полимеры? Есть. Ещё в далёком 1957 г. в одной из марок угля нашли естественные полимеры Степановит и Жемчужниковит, следовательно, и в других марках угля можно допустить нахождение подобных полимеров. Следует добавить, что в породах на значительной глубине, где высокая температура и давление, идёт непрерывный природный крекинг углеводородов с образованием полимеров. К примеру, таких как Хитин, Бутилен и др. Из приведённой ниже химической формулы образования цепной реакции свободных радикалов мы можем сделать вывод, что основными участниками цепной химической реакции являются молекулы углеводородных газов и кислорода, хотя, как известно, цепная реакция может проходить и без участия кислорода, например, это газ – ацетилен, который может взрываться без участия кислорода от малейшего механического воздействия в виде удара, встряски и др. Может ли природа получить ацетилен подземным, природным крекингом из метана в условиях высокого давления, повышенной температуры и каталитического действия горной породы? Вполне, например, через дегидрирование газа метана до ацетилена и водорода:

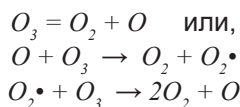


Правда, больших объёмов природного ацетилена никто не добывал, но для старта цепной химической реакции других углеводородных продуктов в качестве "запала" достаточно несколько грамм ацетилена. И дело не в каком-то конкретном веществе, дело в принципиальной

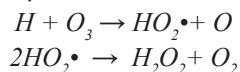
возможности прохождения подобных реакций в природе и получения подобных веществ с подобными физико-химическими свойствами естественным, природным путём. Говоря об образовании свободных радикалов, не следует забывать про "активные молекулы Аррениуса", которые всегда есть в любом веществе и которые ввиду их огромной кинетической энергии, по академику Семёнову [21], могут "работать" как свободные радикалы. Существует подозрение, что ещё одним из многих "запалов" в образовании свободных радикалов и молекул кислорода в процессе Деформационного взрыва может служить газ озон. Нам известно, что кислород, как и углерод, аллотропен (графит-алмаз, кислород-озон) и при избыточном давлении с энергией в 285 КДж/моль может перейти в озон, и, что немаловажно, эта реакция является обратимой.



Молекула озона устойчива, однако под влиянием катализаторов (а им может служить резкий сброс горного давления) она легко разлагается с выделением атомарного кислорода, который выступает активным центром начала цепной реакции.

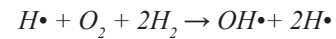
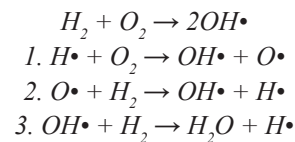


Подозрения, падающие на озон, как на начальный элемент цепной реакции, приобретает реальную форму в силу условий прохождения Морозобойных землетрясений, которые, как мы знаем, происходят при низких температурах, а озон прекрасно вступает в химическую реакцию с атомарным водородом и при низких температурах. При этом и это очень важно: реакция идёт с образованием радикала.

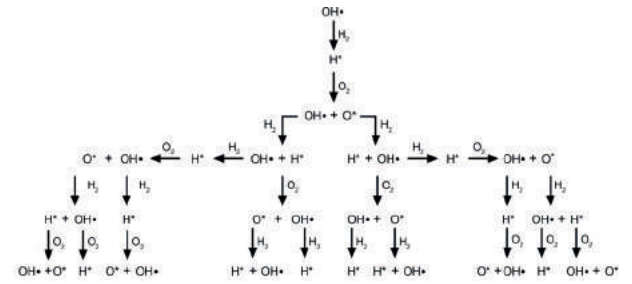


И, наконец, не стоит пренебрегать возможностью образования свободных радикалов в процессе радиолитиза, то есть в процессе разложения химических соединений под действием ионизации, вызванной радиоактивными элементами. Как хорошо известно, при радиолитизе воды образуются свободные радикалы H и OH, а воды и источников излучения в земной коре достаточно, и если добавить к ним углеводороды, то мы получим природную бомбу, готовую к действию.

В качестве примера эффективности и огромной энергетичности цепных реакций рассмотрим прохождение цепной реакции с содержащимися в породах газов молекул водорода и кислорода, в случае инициирования процесса резкой разгрузкой горного массива:



Мы получили три последовательные реакции с суммирующей реакцией, где одна активная частица превращается в три активных частицы: атомы кислорода O·, водорода H· и свободный радикал OH·. Уже через миллиардную долю секунды их будет миллиард!



где: O·, H·, OH·, H₂, O₂ – кислород, водород, их активные частицы и радикал.

Так как цепные реакции очень "капризны" к условиям, составу и прочим различным факторам, некоторые активные частицы могут погибнуть, не дав продолжения цепи, тогда приведённая схема реакции может выглядеть иначе. На самом деле подробная кинетическая схема химических реакций включает более 20 элементарных реакций с участием свободных радикалов в реагирующей смеси, а при наличии в системе соединений азота, углерода и других примесей число ветвей реакций существенно увеличивается. Не в этом суть, а в том, что даже одного радикала с незначительной энергией активации может хватить, чтобы число активных центров начало расти в геометрической прогрессии и реакция перешла во взрывной режим. Энергии одной маленькой искры всего в несколько мДж/моль достаточно, чтобы образовать свободный радикал газа, вызвать цепную реакцию метана и взорвать шахту. Естественно, предложенная выше химическая формула цепной реакции выражает общий принцип происхождения Деформационного взрыва. Как мы знаем из практического опыта внезапных выбросов, в этом процессе могут принимать участие не только метан и водород, но и другие химические вещества. К примеру, известны внезапные выбросы, в которых основным участником событий был диоксид углерода CO₂. Горные инженеры давно обратили внимание на то, что выбросы с участием газа CO₂ отличаются от метановых повышенной мощностью. Почему? Никто не знает. Вдобавок к этой загадке, существует ещё одна: если ди-

оксид углерода - продукт горения и гниения, то откуда в шахтах при внезапных выбросах он берётся в таких огромных количествах? И то если предположить, что в горном массиве происходит Деформационный взрыв за счёт цепной реакции монооксида углерода CO с выделением продукта этой реакции газа CO_2 , то всё встаёт на свои места. А что касается силы внезапного выброса, то это благодаря наличию у молекулы CO тройной связи и их энергии 1069 кДж/моль . Это больше чем у любых двухатомных молекул. Если взять метан, то энергия молекулярной связи составляет всего 412 кДж/моль , и становится понятно, почему при Внезапном выбросе диоксида углерода при одинаковых показателях сила выброса больше, чем у других газов. Проще говоря, если один единственный нейтрон в цепной ядерной реакции может привести к ядерному взрыву, то один свободный радикал в цепной химической реакции приведёт к землетрясению, горному удару или внезапному выбросу.

С учётом вышеизложенного рассмотрим схему образования очага землетрясения и Внезапного выброса. При формировании горного массива, газы земной атмосферы, газы химических реакций в горном массиве, углеводородные газы, вулканические и другие газы под действием высокой температуры и горного давления адсорбировались, абсорбировались и хемосорбировались в породы горного массива, заполняя не только межпоровое, но и межмолекулярное пространство породы, образуя с ней химические связи. Горное давление продолжало сдавливать электронные оболочки атомов, которые уменьшались в размере пропорционально обжатию и перестройки кристаллической решетки породы вследствие кулоновских сил. Так как процесс обжатия электронных оболочек пород происходил без разрушения, то есть являлся упругим, то вся энергия сжатия породы массивом перешла в потенциальную энергию электронных оболочек или в кулоновскую силу взаимодействия электронов и ядра, создав высокоэнергичные зоны будущих очагов землетрясения и внезапных выбросов. Получилась природная сжатая пружина, ждущая удобного момента, чтобы вернуться в исходное положение и согласно термодинамике вернуть энергию, затраченную на её сжатие. Теперь в этой зоне в случае инициирования процесса резким изменением горного давления начнётся цепная химическая реакция образования свободных радикалов и произойдёт Деформационный взрыв. Именно этот процесс происходит при землетрясениях и внезапных выбросах. Инициирование может произойти в нескольких

зонах горного массива, разнесённых по времени и мощности (форшоки и афтершоки). При этом форшоки могут служить инициаторами главного взрыва, а главный взрыв, в свою очередь, может служить инициатором афтершоков, так как каждый толчок землетрясения резко меняет деформационные нагрузки в горном массиве и инициирует появление лавины свободных радикалов. Далее, в какой-то момент прохождения цепной химической реакции образования свободных радикалов происходит разрушение активного центра цепной реакции. И цепь обрывается.

Механизм работы деформационного взрыва прост. Это не химический взрыв газов или твёрдых веществ в воздушном пространстве с выделением огромного количества тепла, дыма и пламени. Это происходящая с достаточно большой скоростью деформация горного массива за счёт потенциальной энергии горного давления пород массива, накопленная за многие миллионы лет и кинетической энергии газов адсорбированных, абсорбированных и хемосорбированных горным массивом. Понятно, что жёсткие связи между частицами твёрдого тела затрудняют движение атомов и молекул, и химические превращения идут с меньшим выходом продуктов реакции, совершенно другими скоростями, чем в жидкой или воздушной средах. И в этом человечеству повезло, иначе бы землетрясения происходили по пять раз в день в каждом городе. Но в какой-то момент времени, когда совпадают необходимые условия для возникновения Деформационного взрыва, происходит катастрофическое разрушение горного массива с трагическими последствиями в виде подземных толчков и внезапных выбросов. Самым простым и показательным примером возникновения Деформационного взрыва может служить процесс радиолиза в горном массиве, связанный с получением свободных радикалов посредством ионизации, который сводится к шаблону реакций:

Сорбированный и твёрдый раствор газов в массиве → Процесс ионизации горного массива → Образование ионов → Образование свободных радикалов → Образование продуктов цепной химической реакции → Переход газа в свободное состояние → Деформационный взрыв → Объёмное расширение пород и газа.

Горный массив, пропитанный газами, длительное время подвергался на большой глубине высокому давлению и температуре. Газы абсорбировались, адсорбировались (50 %) и хемосорбировались (50 %) в молекулярную структуру породы и постепенно превратились в твёрдый раствор газа. Вдобавок к этому, газ своим вне-

дрением в кристаллическую решётку породы искажил её структуру. На всё это ушло огромное количество потенциальной энергии, которую можно представить в виде гигантского пресса, сдавливающего горный массив много миллионов лет. В стабильном состоянии горного массива при наличии радиоактивных компонентов и в условиях постоянного горного давления реакция радиолиза и последующая реакция газа, ввиду больших энергетических затрат на преодоление горного давления, не могли перейти в цепной режим и протекали с мизерным образованием свободного состояния газа и без каких-либо последствий для массива, ввиду его малого объёма и достаточно быстрой дегазации из массива. В момент резкого падения горного давления в массиве начинаются процессы десорбции, фильтрации и миграции УВ газов и частичный переход их из твёрдого раствора в газообразный. В этот момент возникает возможность прохождения цепной химической реакции свободных радикалов, конечным итогом которой становится газ, взрывным образом перешедший из твёрдого раствора в своё первоначальное, в газообразное состояние. Те кубометры газа, которые существовали в породе в виде газообразного, сорбированного состояния и твёрдого раствора, вместо того чтобы постепенно дегазироваться из массива в течение часов, недель и месяцев или, как хемосорбированные газы, вообще никогда не покидать структурную решётку породы, вырвались из структуры породы за очень короткий промежуток времени, измеряемый временем прохождения цепной реакции, высвободив при этом всю накопленную энергию и превратив очаг реакции в "бешеную муку". Ничем иным нельзя объяснить случай на калийной шахте Менценграбен в Германии 7.07.1953, где произошёл внезапный выброс газа CO_2 . Точное количество выброшенного массивом газа определить не удалось, но то, что он с шумом и под давлением выходил через два ствола из шахты в течение 25 мин, говорит о том, что его было несколько сотен тысяч кубометров. Атомы породы-сорбента, освободившись от внедрённого в него газа, тут же постараются занять свои "положенные им по закону" места в решётке, которые они занимали до того, как их "нагло подвинули" молекулы газа. Вследствие этого порода объёмно расширится (возможно и сжатие породы, всё зависит от её структуры), вернув окружающему массиву потенциальную энергию сжатия. В результате объёмного расширения породы произойдёт резкий толчок в горном массиве и образование сейсмических волн. Объёмное расширение массива наглядно показал случай

внезапного выброса на шахте А.А. Скочинского 26.06.1980, когда целик угля 5 м на 25 м и мощностью 1,8 м. из груди очистного забоя был легко передвинут по горизонтальной плоскости неизвестной силой в призабойную часть лавы вместе с лавным конвейером, по ходу движения поставив его на ребро и расплющив рештачный став о стойки выемочного комплекса. А в двух образовавшихся кавернах выброса, на более чем 300 м², вспучилась почва лавы на 15-20 см.

Если мы рассматриваем внезапный выброс как один процесс с землетрясением, мы должны отметить, что уголь хотя и имеет какую-то радиоактивность, но такую слабую, что ею невозможно вызвать ионизацию и образование свободных радикалов. Но так как свободные радикалы природа может получить и другими путями, то процесс ионизации именно для внезапных выбросов неважен, хотя, как уже говорилось, он вполне может быть одним из главных факторов образования цепных реакций, вызывающих землетрясения земной коры. И ещё одно немаловажное замечание, которое очень хорошо подтверждается практикой – Деформационный взрыв в твёрдом растворе газов происходит в несколько стадий с нарастанием мощности, шаг за шагом, реакция за реакцией, что естественно, так как скорость реакций в твёрдом теле существенно ниже, чем в газообразной среде. Реакция повторяется и повторяется с выделением порций газообразного продукта реакций, которого становится всё больше и больше. Давление газа возрастает, и, следовательно, реакции как в твёрдом растворе, так и в газообразном идут всё быстрее и быстрее, пока в один момент не происходит мощный Деформационный взрыв. Вот почему перед горным ударом или внезапным выбросом происходит интенсивное выделение газа из массива, стрельяние забоя кусочками породы, выброс штыба из массива при бурении, заклинивание бурового инструмента, и этим же объясняется задержка выбросов после сотрясательных взрывов, которые в отдельных случаях доходили до нескольких суток. Кинетика Деформационного взрыва очень сложная. Необходимо учитывать энергию всех веществ, участвовавших в цепной реакции, потенциальную энергию массива, кулоновские силы взаимодействия электронов и атомов твёрдого раствора газов и массива, энергию десорбции и дехемосорбции, кинетическую энергию сжатых газов. В результате баланса всех источников энергии мы получим две главных силы в массиве: силу объёмного расширения горного массива и силу сжатого газа. Эти силы будут стараться образовать камуфлетную по-

лость в горном массиве. Вектор силы объёмного расширения массива будет всегда направлен к поверхности земли в зависимости от угла залегания напластований массива, вызывая подъём этих напластований и образуя трещины в земной коре, и в сторону наименьшего сопротивления массива, ослабленного по какой-то причине, например, горно-геологическим нарушением. То есть сейсмические волны могут распространяться как в продольном, так и в поперечном направлении, что хорошо согласуется с практикой. При внезапном выбросе в шахте вектора сил будут направлены в сторону наименьшего сопротивления горного массива, то есть в сторону горной выработки.

В свете изложенной теории происхождения землетрясений, можно легко ответить на три выше поставленные вопроса:

1. Почему техногенные землетрясения прекращаются при полном наполнении водохранилища и почему толчки возобновляются при сбросе воды из него? Можно констатировать, что после заполнения водой водохранилища в горном массиве под ним устанавливается равновесие деформационных сил и, следовательно, исчезает иницирующий фактор землетрясения. Соответственно, при сбросе воды равновесие вновь нарушается, происходит резкое изменение горного давления в массиве с последующим Деформационным взрывом.

2. Почему происходят Морозобойные землетрясения? Согласно данной теории причина землетрясений одна для всех типов подземных толчков – резкое изменение деформационных нагрузок в массиве. Дело в том, что при резком замерзании обводнённого грунта происходит его расширение. Вследствие этого его давление на подстилающие породы многократно возрастает. Затем, достигнув предела допустимых нагрузок, замороженный грунт растрескивается, и вследствие этого подстилающие его породы резко разгружаются с последующим Деформационным взрывом.

3. Почему происходят Вулканические землетрясения? При нагревании пород лавой происходит растрескивание массива и движение его отдельных блоков, следовательно, происходит резкое изменение горных нагрузок в слагающих его породах с последующим Деформационным взрывом. Таким образом, можно сделать первые очевидные прогнозы, которые в некоторых случаях уже подтверждены историческим опытом: в случае глобального потепления и поднятия уровня мирового океана, следует ожидать увеличение количества крупных и мелких земле-

трясений в океанах, морях и прибрежных районах. Второй прогноз – землетрясения, связанные с поднятием уровня океана, будут происходить до тех пор, пока уровень океана не стабилизируется. Но в таком случае правы ли окажутся те учёные, которые обосновывают теорию происхождения землетрясений от действия приливов и отливов? Нет, не правы, так как за многие миллионы лет земная кора адаптировалась к воздействию на неё приливных сил и резких деформаций тектонических плит не происходит. Третий прогноз – в случае резкого изменения приливных сил вследствие каких-то астрономических причин (к примеру, сближение и пересечение орбиты Земли крупным астероидом), по земле прокатится волна землетрясений. Так как мы лишены возможности визуально наблюдать за очагами землетрясений, то подтвердить теорию Деформационного взрыва горного массива можно только косвенными фактами. Например, [16], при Крымском землетрясении 1927 г. его очаг располагался в море, и рыбаки, находящиеся в этот момент в эпицентре, отметили вскипание моря и шум от выходящего из воды газа. Это указывает на то, что при землетрясении происходит резкая десорбция горного массива. Такая же картина происходит при Внезапных выбросах, что указывает на идентичность этих двух явлений. Следовательно, мы можем рассматривать их как идентичные природные явления, а опыт и статистику исследований Внезапного выброса применить к землетрясениям. К примеру, исследования Внезапных выбросов подтверждает их строгую зональность в зависимости от нахождения в горном массиве локальных областей с повышенным содержанием сорбированных газов, количество которых в свою очередь зависит от горно-геологических факторов: степень метаморфизма горного массива, сорбционная способность пород, пористость и газопроницаемость, глубина залегания, гидрогеология и некоторые другие величины. Всё это хорошо согласуется с экспериментальными данными, приведёнными в работах [12,13,14], в которых экспериментально показана наличие в массиве зон способных к выбросам.

Зная причину возникновения Деформационного взрыва пород, мы можем найти способы его иницирования. Например, Деформационный взрыв можно иницировать ударной волной сотрясательного взрыва. Это подтверждается статистикой Внезапных выбросов, произошедших после сотрясательного взрывания в шахтах и землетрясениями, случившимися после испытания ядерных зарядов. Проводя сотряса-

тельные взрывания, можно снимать деформационные нагрузки в угрожаемых местах и тем самым предотвращать мощные землетрясения. К сотрясательному взрыву можно приравнять резкую нагрузку в какой-нибудь точке земной коры: например, падение на землю небесного тела. Из этого можно сделать четвёртый точный прогноз - после падения на землю крупного небесного тела обязательно возникнет рой землетрясений. Вполне возможны и другие способы инициирования Деформационного взрыва, к примеру, резонансом массива. Наряду с этим возможны и способы предотвращения. Так, одним из перспективных способов предотвращения Внезапных выбросов и землетрясений может быть закачка в скважины растворов веществ, замедляющих или полностью исключающих образование свободных радикалов или такие вещества, которые способны разрушить активные центры цепной реакции по аналогии с примером, приведённым в работе [21, Гл.5], где ничтожная примесь $NaCl$ оказывает угнетающее действие на протекание цепных окислительных реакций углеводородов. Основываясь на подобии цепных реакций и практических результатах, приведённых в указанной работе, можно констатировать, что скорость протекания цепной реакции образования свободных радикалов пропорциональна квадрату концентрации метана. Значит, понижая концентрацию в массиве метана можно предотвратить землетрясение, что хорошо согласуется с опытом предотвращения Внезапных выбросов на шахтах путём дегазации опасных зон. Это легко объяснимо: чем меньше в горном массиве метана, тем меньше свободных радикалов, тем меньше активных центров образования реакций. В указанной выше работе сделано ещё одно важное заключение о том, что активные центры цепной реакции не только гибнут на стенках экспериментальных сосудов, но и образуются на них. Вывод сделан на основании того, что при увеличении поверхности сосуда повышалась скорость реакции вследствие сокращения периода индукции взрыва. Из этого вывода становится понятно, почему природные землетрясения и Внезапные выбросы происходят в зонах разломов, нарушений, в пористых, трещиноватых и перемятых породах. В этих зонах, по сравнению с монолитными горными породами, увеличена поверхность горного "сосуда", а значит, возможно образование множества активных центров цепной реакции, следовательно, многократно увеличена вероятность Деформационного взрыва. Если вернуться к сотрясательному взрыванию, то исследователи

отмечают необъяснимый факт разброса временных задержек выбросов после сотрясательных взрывов от долей секунд до нескольких минут, часов и даже суток. В свете изложенной теории это становится легко объяснимым: всё дело в периоде индукции Деформационного взрыва, который напрямую зависит от скорости цепной химической реакции, размеров зоны выброса, её геологии, концентрации в ней газов и других факторов. Что касается геологических характеристик горного массива, способного к Деформационному взрыву, то следует отметить, что все породы, способные сорбировать в себя газы, могут представлять из себя потенциальные очаги Деформационного взрыва. И ещё один немаловажный факт, отмеченный при бурении сверхглубоких скважин: с увеличением глубины бурения происходит повышение концентрации газа метана. Подобные результаты были получены при бурении сверхглубоких скважин по всему миру. Следует также отметить, что поднимаемые с большой глубины керны рассыпаются от активного выделения газа, так как не выдерживают резкой смены давлений. Вынуть прочный кусок керна удаётся только при очень медленном подъёме бурового снаряда, когда керн успевал релаксировать [19]. Можно представить, что произойдёт, если керн мгновенно поднять из скважины – он взорвётся, а взрыв будет носить явно выраженный Деформационный характер.

Вывод.

Землетрясения земной коры и внезапные выбросы пород и газов в шахтах – это один физико-химический процесс, являющийся результатом действия Деформационных взрывов пород горного массива в момент резкого перераспределения горного давления в земной коре, в результате чего в горном массиве возникает цепная химическая реакция в сорбированных породой газах, приводящая к разрушению межмолекулярных и межатомных связей в породах горного массива, высвобождению энергии упругих деформаций и возникновению ударной волны. На основе положений данной теории возможно разработать как надёжные способы прогноза, так и надёжные способы предотвращения землетрясений и внезапных выбросов. Многолетнее отсутствие каких-либо результатов в этой области говорит о том, что решение данной проблемы находится на стыках сейсмологии, геофизики, геологии, петрографии, минералогии, горной науки, химии, физики, математики, поэтому узким специалистам в каждой из перечисленных наук, какими бы они ни были опытными исследователями, правильного решения не найти. Со

всей очевидностью на сегодняшний день выступает задача в объединении различных специ-

алистов для решения столь важной и трудной задачи.


БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ohnaka, M. (2013). *The Physics of Rock Failure and Earthquakes*. Cambridge University Press.
2. Reid, H.F. (1910). *The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission, Vol.2*. Washington D.C.: Carnegie Institution of Washington.
3. Reid H.F. The elastik-rebound theory of earthquakes // *Bull. Department Geology. Univ. Calif. Publ.* 1911, vol. 6, N 19, p. 413–444.
4. Эйби Дж. А. Землетрясения. М.: Недра, 1982.
5. Никонов А.А. Морозобойные сотрясения как особый класс сейсмических явлений (по материалам восточно-европейской платформы). М.: Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2010. URL: <http://naukarus.com/morozoboynye-sotryaseniya-kak-osobyuy-klass-seysmicheskikh-yavleniy-po-materialam-vostochno-evropeyskoj-platformy>.
6. Петросян А.Э., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Теория внезапных выбросов. М. Наука, 1983. 152 с.
7. Jaeger, J. C., & Cook, N. G. (1971). *Fundamentals of rock mechanics*. London: Chapman and Hall.
8. Hargraves, A.J. (1992). Gas and gas-dynamic phenomena in coal and evaporates. *Coalbed Methane Symposium*, November 1992.
9. Бобин В.А. Роль сорбированного метана в иницировании процесса разрушения газонасыщенного угольного вещества // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1997. № 6. С. 96–99.
10. Колесниченко Е.А., Колесниченко И.Е.. Формирование физико-химической структуры угольного вещества с аномальными свойствами в очагах внезапных выбросов угля и газа // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000. № 5. С. 199–200.
11. Колесниченко Е.А., Артемьев В.Б., Колесниченко И.Е. Внезапные выбросы метана: теоретические основы. М.: Горное дело, 2013. Т. 9 Рудничная аэрология, кн. 6 (Библиотека горного инженера). С. 224–231
12. Колесниченко Е.А. Способы защиты рабочих от внезапных выбросов угля и метана // *Горная промышленность*. 2001. № 2.
13. Колесниченко Е.А. Генетическая теория формирования и прогнозирования выбросоопасных зон в угольных пластах // *Уголь*. 2000. № 9. С. 51 – 53.
14. Колесниченко Е.А. Геологические условия формирования выбросоопасной зоны в угольных пластах и основные принципы предотвращения внезапных выбросов // *Горная промышленность*. 2000. № 1. С. 18 – 21.
15. Кожушнер М.А. Холодный взрыв // *Квант*. 1983. № 2. С. 20.
16. Двойченко П.А. Черноморское землетрясение 1927 года в Крыму // *Черноморские землетрясения 1927 года и судьбы Крыма*. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. С. 77–99.
17. Frohlich C, DeShon H, Stump B, Hayward C, Hornbach M, Walter J. A Historical Review of Indused Earthquakes in Texas. *Seismological Research letters*, 2016-05-18.
18. Глубокое и сверхглубокое научное бурение на континентах (Попов В.С. Кременецкий А.А., *Науки о Земле* №11 1999г. Режим доступа: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/885.html>
19. Яницкий И. Н. Живая Земля. Состав и свойства вещества в недрах Земли. М.: РИЦ ВИМС, 2005. ISBN 5-901837-12-6. Режим доступа: http://uomk.narod.ru/vas2/sna/12_janitskiy/01_janitskiy_sostav-nedra-zemli.pdf.
20. Gufeld I.L., Matveeva M.I., Novoselov O.N. WHY WE CANNOT PREDICT STRONG EARTHQUAKES IN THE EARTH'S CRUST. *Geodynamics & Tectonophysics* . 2011.
21. Семёнов И.П. Цепные реакции. М.: Наука, 1986.
22. Ротэ Ж.П. Предисловие // *Плотины и землетрясения*. М.: Мир, 1979. С. 10–11.

REFERENCES

1. Ohnaka, M. (2013). *The Physics of Rock Failure and Earthquakes*. Cambridge University Press.
2. Reid, H.F. (1910). *The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission, Vol.2*. Washington D.C.: Carnegie Institution of Washington.
3. Reid, H. F. (1910). The elastik-rebound theory of earthquakes. *Bull. Department Geology. Univ. Calif.*, 6(19), 413-444.
4. Aiby G.A. (1982). *Zemlyatreseniya [Earthquakes]*. Moscow: Nedra [in Russian].
5. Nikonov A.A. (2010). Morozobojnye sotryaseniya kak osobyj klass seysmicheskikh javlenij (po materialam vostochno-evropejskoj platformy) [Frost shakes as a special class of seismic phenomena (on the materials of East-European platform)]. O.Yu. *Schmidt Institute of Physics, RAS*. Retrieved from: <http://naukarus.com/morozoboynye-sotryaseniya-kak-osobyuy-klass-seysmicheskikh-yavleniy-po-materialam-vostochno-evropeyskoj-platformy> [in Russian].
6. Petrosian A.E., Ivanov B.M., & Krupenia V.G. (1983). *Teoriya vnezapnih vybrosov [Theory of sudden outbursts]*. Moscow: Nauka [in Russian].
7. Jaeger, J. C., & Cook, N. G. (1971). *Fundamentals of rock mechanics*. London: Chapman and Hall.
8. Hargraves, A.J. (1992). Gas and gas-dynamic phenomena in coal and evaporates. *Coalbed Methane Symposium*, November 1992.
9. Bobin, V.A. (1997). Rol' sorbirovannogo metana v iniciirovanii processa razrusheniya gazonasyshhennogo ugol'nogo veshhestva [Role of retained methane in gas containing coal substance fracturing process initiation]. *Mining information analytical bulletin*, 6, 96-99 [in Russian].
10. Kolesnichenko, Ye.A., & Kolesnichenko, I.Ye. (2000). Rol' sorbirovannogo metana v iniciirovanii processa razrusheniya gazonasyshhennogo ugol'nogo veshhestva [Formation of coal substance physic-chemical

- structure with abnormal properties at the spots of sudden coal and gas outbursts]. *Mining information analytical bulletin*, 5, 199-200 [in Russian].
11. Kolesnichenko, Ye.A., Artemiev, V.B., & Kolesnichenko, I.Ye. (2013) *Vnezapnye vybrosy metana: teoreticheskie osnovy. T. 9 (Biblioteka gornogo injinera) [Sudden methane outbursts: theoretical basis. V. 9 (Mining engineer library)]*. Moscow: Gornoe delo [in Russian].
 12. Kolesnichenko, Ye.A. (2001). Workers protection means from sudden coal and methane outbursts. *Mining industry*, 2. [in Russian]
 13. Kolesnichenko, Ye.A. Genetic theory of coal seam outburst dangerous zones formation and forecast. (2000). *Coal - Ugol*, 9. 51-53. [in Russian]
 14. Kolesnichenko, Ye.A. (2000). Sposoby zashhity rabochih ot vnezapnyh vybrosov uglja i metana [Geological conditions of outburst dangerous zone formation in coal seams and the main principles to avoid sudden outbursts]. *Gornaja Promyshlennost' - Mining Industry*, 1, 18-21 [in Russian].
 15. Kozhushner, M.A. (1983). Cold explosion. *Kvant*, 2, 20. [in Russian]
 16. Dvoichenko, P.A. (1928). *1927 the Black Sea earthquake in the Crimea. 1927 the Black Sea earthquake and the Crimea's fate*. Simferopol: Krymgosizdat. 77-99. [in Russian]
 17. Frohlich, C, DeShon, H, Stump, B, Hayward, C, Hornbach, M, & Walter, J. A. (2016). Historical Review of Induced Earthquakes in Texas. *Seismological Research letters*, 2016-05-18.
 18. Deep and super deep research drillin on continents (Popov V.S., Kremenetsky A.A., Sciences about Earth No. 11 1999. Retrieved from: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/885.html> [in Russian]
 19. Yanitsky, I.N. (2005). Live Eath. *Composition and properties of substance in the Earth*. M.: RIC VIMS. Retrieved from: http://uomk.narod.ru/vas2/sna/12_janitskiy/01_janitskiy_sostav-nedra-zemli.pdf [in Russian].
 20. Gufeld, I.L., Matveeva, M.I., & Novoselov O.N. (2011). WHY WE CANNOT PREDICT STRONG EARTHQUAKES IN THE EARTH'S CRUST. *Geodynamics & Tectonophysics*.
 21. Semenov, I.P. (1986). *Chain reactions*. Moscow: Nauka [in Russian]
 22. Rote, Zh.P. (1979). *Preface. Dams and earthquakes*. Moscow: Mir, 10-11. [in Russian]



НИИ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА

*Безопасность горняков
- наша работа*

Научное обеспечение аварийно-спасательных работ в угольных шахтах

Экспертиза промышленной безопасности

Научное обеспечение и экспертиза предупреждения, локализации и тушения эндогенных пожаров

Аэрологическая съемка рудничной и промышленной атмосферы

Радоновая съемка атмосферы, промышленных, социальных и жилых помещений

Наши контакты:
650002, г. Кемерово, пр. Шахтёров, 14
Тел.: (38-42) 64-19-60, 64-25-71

на правах рекламы