

В.Н.Боков, В.Н.Воробьев

О СВЯЗИ ВЫБРОСОВ МЕТАНА С АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

V.N. Bokov, V.N. Vorobyev

CONNECTION BETWEEN METHANE EMISSIONS AND ATMOSPHERIC CIRCULATION

Представлены результаты исследований влияния преобразований атмосферной циркуляции на возникновение внезапных выбросов метана в угольных шахтах. Анализ 24 случаев показал, что преобразования атмосферной циркуляции являются инициатором внезапных выбросов метана. Предложен путь разработки краткосрочного прогноза выбросов метана.

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, синоптические условия, метан, выбросы метана, прогноз выбросов метана.

Results of investigations of the influence of changes of atmospheric circulation on the occurrence of sudden releases of methane in coal mines are presented. Analysis of 24 cases showed that the conversion of atmospheric circulation is the initiator of sudden methane emissions. A way of developing short-term forecast of methane emissions is being suggested.

Keywords: atmospheric circulation, synoptic conditions, methane, methane emissions, methane emissions forecast.

В последние годы увеличилось количество выбросов метана в шахтах [8]. Эти природные явления происходят обычно на малых глубинах и приводят к большим человеческим жертвам. Экономические прогнозы показывают, что через 15 лет миру нужно будет в два раза больше угля [9]. Однако все лежащие рядом с поверхностью запасы этого ископаемого практически уже исчерпаны. Поэтому придется копать глубже, где метана гораздо больше. Тогда количество взрывов будет расти, поскольку избавляться от метана будет сложнее. Чем ниже шахтеры спускаются под землю, тем больше они рискуют.

Механизм возникновения внезапных выбросов метана пока еще остается нерешенной проблемой. Выявление данного механизма является актуальной и важной задачей как с научной, так и практической стороны.

Предположения различных авторов о состоянии метана в угольных пластах лежат между противоположными или взаимоисключающими причинами: от полного отсутствия метана в пласте и его появления при техногенном воздействии или за счет подпитки флюидами из глубинных недр. Другие публикации на рассматриваемую проблему в

основном применяют подходы, принятые в горном деле [1, 5, 8]. Современные представления о содержании метана в угольных пластах основываются на том, что метан находится в угле в свободном, адсорбированном, абсорбированном виде [1, 5, 8]. Уголь обладает развитой трещиноватой и поровой системой. Предполагается, что в трещинах содержится свободный метан и метан, адсорбированный на поверхности пор. Считается, что большая часть метана внедрена в межмолекулярное пространство блока угля (твердый раствор). Такое распределение метана в угле произошло как в результате метаморфизма, так и при совместном воздействии газового давления и тектонических напряжений. Перечисленные виды состояний метана находятся в динамическом равновесии, которое может нарушаться, приводя к его выбросу [5, 8]. Считается, что формирование зон выбросов – это результат структурно-химических преобразований углей, обусловленных деформированием пласта при воздействии тектонических и техногенных напряжений. При этом в процессе выброса нарушаются наиболее слабые внутримолекулярные связи и происходит десорбция метана и активация его эмиссии [1, 5, 8].

В то же время представления о химических преобразованиях вещества углей с выделением или даже образованием метана не согласуются с фактами выбросов углекислого газа (которые в несколько раз мощнее выбросов метана), выбросов на калийных рудниках, выбросов породы и газа [5]. Остается неясным, почему одинаковые геомеханические ситуации не всегда завершаются выбросом метана. Также неясно, почему у одних тектонических нарушений происходят выбросы метана, а у подавляющего большинства нарушений – нет. Сейчас, уже принято, что выброс метана это необъяснимое природное явление, поскольку действительно необъяснимо и потому внезапно [5]. Не выяснив причин на поверхности земной коры, взоры многих исследователей обратились в космос.

Существуют предположения, что внезапные выбросы могли быть инициированы Луной [12]. В качестве примера приводятся сведения о том, что катастрофы на шахтах приходится на новолуние, полнолуние, около дат близких к весеннему или осеннему равноденствию. При этом были получены результаты, показывающие, что при положении Луны в перигее происходит 54% выбросов, а в апогее – 24%. Исходя из полученных результатов, выбросы метана в шахтах должны происходить почти каждое полнолуние и новолуние. Однако такого не наблюдается. Безусловно, в силу физических причин, влияние Луны проявляется на земной поверхности ежедневно. Поэтому полнолуния и новолуния в качестве добавочного фактора влияют на выбросы метана. К одной из основных причин, проливающих свет на внезапные выбросы метана в шахтах, мы относим региональные изменения атмосферной циркуляции.

В работе [2] отмечалось, что физика процесса образования горных ударов и выбросов метана, приводящих к трагедиям в шахтах, близка к процессам возникновения землетрясений. Резкое возрастание деформации земной коры под влиянием быстрой изменчивости атмосферного давления и наличие искусственных разломов (шахт) является основной причиной возникновения выбросов метана. В качестве примера на рис.1. представлены поля атмосферного давления за 8-10 апреля 2004 г., предшествующие трагедии на шахте «Тайжина» (Кемеровская область). Из рисунка видно, что в соседних районах расположения шахты в течение двух суток наблюдалось значительное изменение атмосферного давления более 1800 Па, а перепад давления между сопряженными антициклоном и циклоном составил $\Delta P > 3000$ Па.

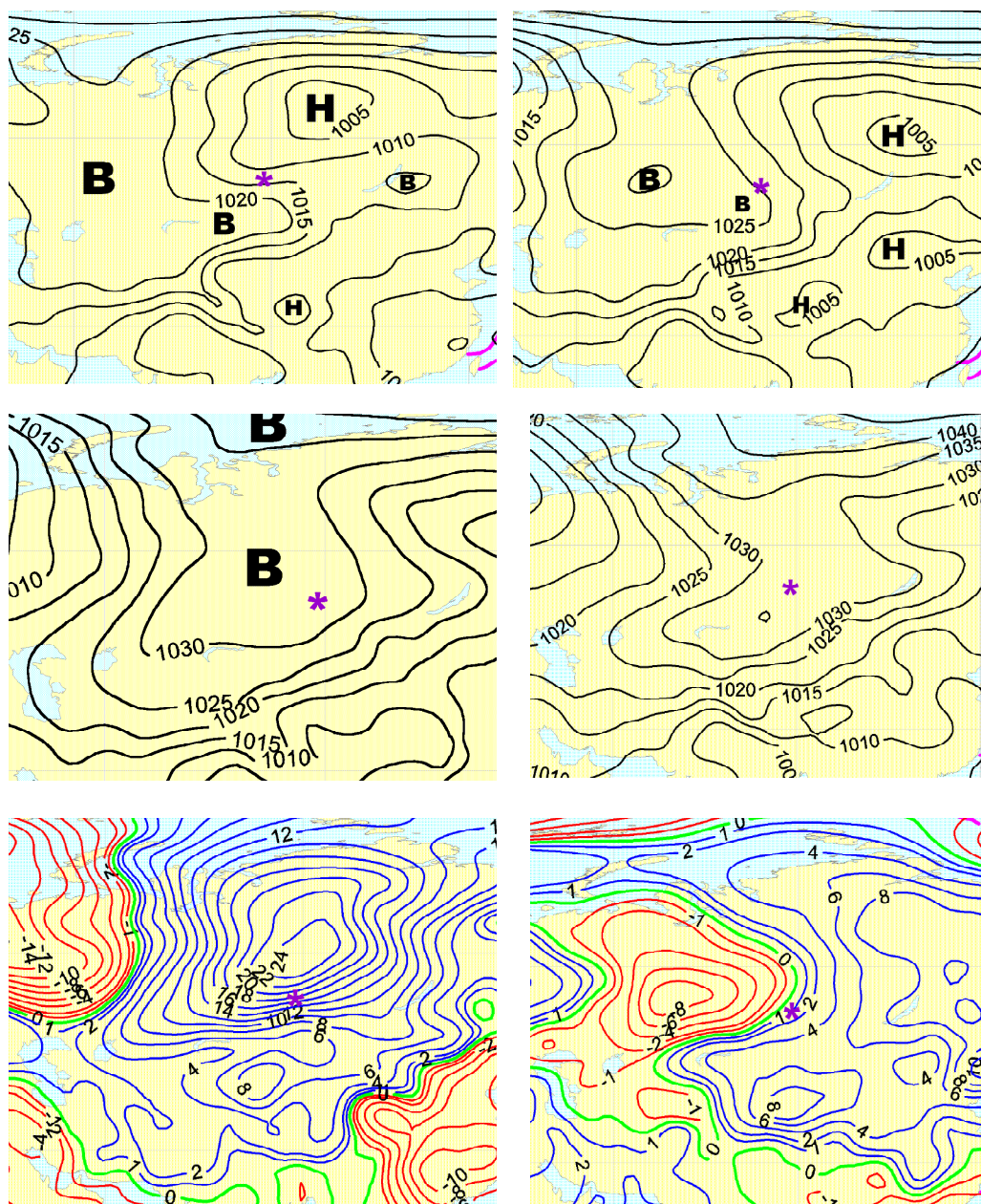


Рис.1. Поля атмосферного давления за 08.04.2004 (верхний слева), 09.04.2004 (верхний справа), 10.04.2004 (средний слева), 11.04.2004 (средний справа) и поля атмосферной нагрузки за 8-10.04.2004 (нижний слева), за 10-11.04.2004 (нижний справа). Звездочкой указано местоположение шахты «Тайжина», Кемеровская область.

Хорошо известно, что пространственные изменения атмосферных вихрей вызывают нагрузки на земную поверхность и приводит к прогибу земной коры, изменению силы тяжести и гравитационного поля Земли [6,7,10]. Задача о вертикальных смещениях земной поверхности под воздействием атмосферной нагрузки рассматривалась в ряде работ, в которых атмосферные вихри представляются в виде волн атмосферного давления. Один из первых исследователей Дарвин П. получил формулу для вертикальной составляющей смещения [6]:

$$W = P_0 / 4\pi\mu R \cos(2\pi x/R), \quad (1)$$

где P_0 — амплитуда волны давления, μ — модуль сдвига, R — длина волны давления, x — горизонтальная координата расчетных точек.

В этой модели нагрузка на земную поверхность осесимметрична относительно вертикальной оси z и антициклон представлен в виде купола / 6 /:

$$P(x) = P_0 / 2(1 + \cos(\pi x/R)), \quad (2)$$

$$\text{при } (|x| \leq R) \text{ и } P(x) = 0 \text{ при } |x| > R, \quad (3)$$

где $P(x)$ — превышение давления над нормальным, P_0 — давление в центре антициклона при $x=0$, R — радиус области под нагрузкой.

Расчеты, выполненные по данной модели и другим [4, 6, 7], показали, что вертикальные смещения могут достигать до 20 см и более в зависимости от реологических свойств и пространственной неоднородности верхних слоев земной коры. Под влиянием прогиба коры происходит увеличение литостатического давления на угольные пласты. Резкий выход опасного количества метана в шахту, в которой «перед аварией приборы показывали отсутствие в шахте опасного для жизни людей количества метана», вызван «выжиманием» метана в шахту из соседних угольных пластов.

В приводимом примере изменчивость атмосферного давления за 2 суток, на площадях занимаемых антициклоном и циклоном, обусловила возникновение в земной коре сил напряженности на величину около $10 \div 12 \cdot 10^8$ Па, что является характерной величиной для условия возникновения умеренных землетрясений. Отметим следующие этапы воздействия атмосферного давления на формирование избыточных масс метана в земной коре. В течение 3 суток на земную поверхность оказывалось существенное давление, что хорошо видно по полю атмосферной нагрузки за 8-10 апреля, и дополнительная нагрузка деформировала угольные пласты. Однако дополнительная нагрузка «заперла» подвижные массы метана. В день трагедии началось падение атмосферного давления над областью сформированных подвижных масс метана, что видно по полю атмосферной нагрузки за 10-11 апреля. Падение атмосферного давления «раскрыло» подвижные массы метана и обеспечило быстрое движение массы метана по трещинам земной коры.

Таким образом, механизм внезапного выброса газа условно можно разбить на три этапа. Первый этап — в результате прогиба коры происходит деформация угольного пласта. Второй этап — интенсивная диффузия метана из межмолекулярного пространства угля с образованием подвижной формы метана. Третий этап — быстрое

движение газа в область пониженных давлений с выбросом в ствол шахты. Подчеркнем, что перенос масс метана происходит в системе трещин и пор угля. Движущей силой движения выступает градиент давления газа. Для описания этого процесса применяют известное уравнение Дарси, которое для одномерного случая представляется в виде [1]:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{k}{\mu} \rho \frac{\partial P}{\partial x} \right], \quad (4)$$

где Q – количество молекул метана, содержащееся в единице объема пласта; k – коэффициент проницаемости; μ – динамическая вязкость метана.

При этом движение газа происходит как под воздействием продвижения антициклона, так и наличия большого горизонтального градиента давления метана от области десорбции в область пониженных значений давления.

В зоне нулевой атмосферной нагрузки, на границе циклона и антициклона [4], движение метана обладает наибольшей скоростью и если эта зона проходит над шахтой, то в шахте очень быстро накапливается газ, что и называется внезапным выбросом. Это хорошо видно на рис.1 по полю атмосферной нагрузки за 10-11 апреля. Из рисунка видно, что нулевая изолиния атмосферной нагрузки располагается в районе шахты.

В зависимости от геологических условий формирования угольных пластов и пространственной неоднородности верхних слоев земной коры синоптические условия выбросов метана, для относительно рядом расположенных шахт, будут отличаться. Так, на рис.2 представлены поля атмосферного давления за 05-08.05.2010, предшествующие трагедии на шахте «Распадская» в Кемеровской области. Сопоставляя поля атмосферного давления с первым случаем, отметим, что географическое расположение атмосферных вихрей в рассматриваемых случаях отличается. Однако общим остается сам процесс влияния атмосферы. Сначала деформация угольных пластов под высоким атмосферным давлением, затем быстрое движение массы метана по трещинам земной коры в результате падения атмосферного давления. Снова зона нулевой атмосферной нагрузки проходила над шахтой, что и привело к внезапному выбросу метана.

После внезапного выброса метана в трещиновато-поровом пространстве угольного пласта метана почти не остается [1]. Однако в блоках угля метан еще составляет около 50%. Предполагается, что после выброса около 50% метана можно уже и не ожидать следующих выбросов. Однако подобные случаи повторяются. Откуда же появляется дополнительный метан? Считается, что метан может поступать из глубин под воздействием тектонических процессов / 9 /. Действительно прогиб земной коры под антициклоном обеспечивает сжатие трещин и пор в породах, их частичное разрушение с последующим увеличением размера трещин. После смены антициклона на циклон прогиб земной коры направлен в противоположную сторону, обеспечивая тем самым расширение увеличенных трещин и интенсивную эмиссию метана с глубин. Продолжающийся на определенном периоде времени колебательный процесс смены циклонов и антициклонов формирует накопление метана в трещиновато-поровом пространстве угольного пласта в виде подвижных форм. При достижении необходимой концентрации метана в пласте угля и при наступлении характерной синоптической ситуации снова происходит выброс метана.

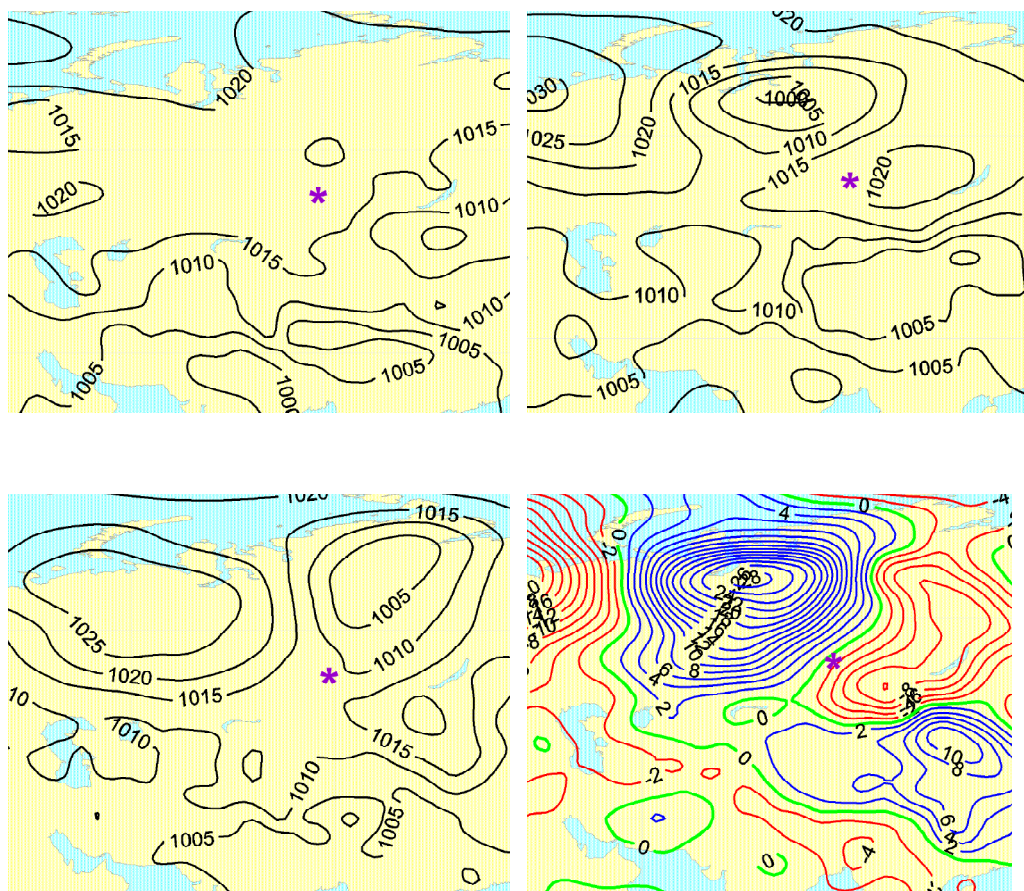


Рис.2. Поля атмосферного давления за 05.05.2010 (верхний слева), 07.05.2010 (верхний справа), 08.05.2010 (нижний слева) и поле атмосферной нагрузки за 05-08 мая (нижний справа). Звездочкой указано местоположения шахты «Распадская», Кемеровская область.

Часто, в качестве обоснования влияния Луны на выбросы в шахтах, приводят довод о синхронности взрывов в шахтах, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. Однако, как уже говорилось в публикациях [2, 3], наиболее часто природные явления катастрофического характера происходят при ярко выраженных меридиональных процессах атмосферной циркуляции.

Рассмотрим случай изменения барических полей, предшествующих выбросу метана на украинской шахте имени Засядько в Донецке и в Карагандинской области Казахстана на шахте имени Ленина. На рис. 3 представлено барические поля за 17 и 20 сентября 2006 г. Выброс метана произошел около 6-7 ч. утра 20 сентября в двух шахтах. Анализ барического поля показывает, что 17 сентября атмосферное давление над месторасположением шахты в Донецке было высоким, над месторасположением шахты в Казахстане находился центр циклона. 20 сентября атмосферное давление

над месторасположением шахты в Донецке было средним, а над шахтой в Казахстане находился антициклон. Изменение атмосферного давления над месторасположением шахты в Казахстане за 2 суток и 6 ч. составило $\Delta P = 2300$ Па. Над месторасположением шахты в Донецке атмосферное давление уменьшилось. Относительно шахты в Донецке барическое поле изменилось таким образом, что вместо области высокого давления 17 сентября, которое располагалось на западе, область высокого давления 20 сентября образовалось на востоке. Опять мы наблюдаем схожие атмосферные процессы, которые привели к деформации угольных пластов под высоким атмосферным давлением, а затем быстрое движение массы метана по трещинам земной коры в результате падения атмосферного давления. Снова зоны нулевой атмосферной нагрузки проходили над шахтами, что привело к внезапному выбросу метана.

Рассмотренные выше случаи позволяет достаточно уверенно считать не Луну в качестве основной причины выбросов метана, а изменения атмосферного давления.

Представленные результаты исследований позволяют определить пути разработки технологии прогнозов выброса метана. С этой целью необходимо провести полное исследование синоптических условий каждого случая выброса метана для каждой шахты. После определения характерных синоптических условий можно выделить зоны переноса метана. Установить несколько скважин с автоматическими газоанализаторами в зонах переноса метана. Далее вести мониторинг данных со скважин и анализировать прогнозы барических полей на предмет повторения характерных синоптических условий. В случае прогнозирования характерных синоптических условий и резкого увеличения содержания метана в скважинах, необходимо принять меры для спасения шахтеров.

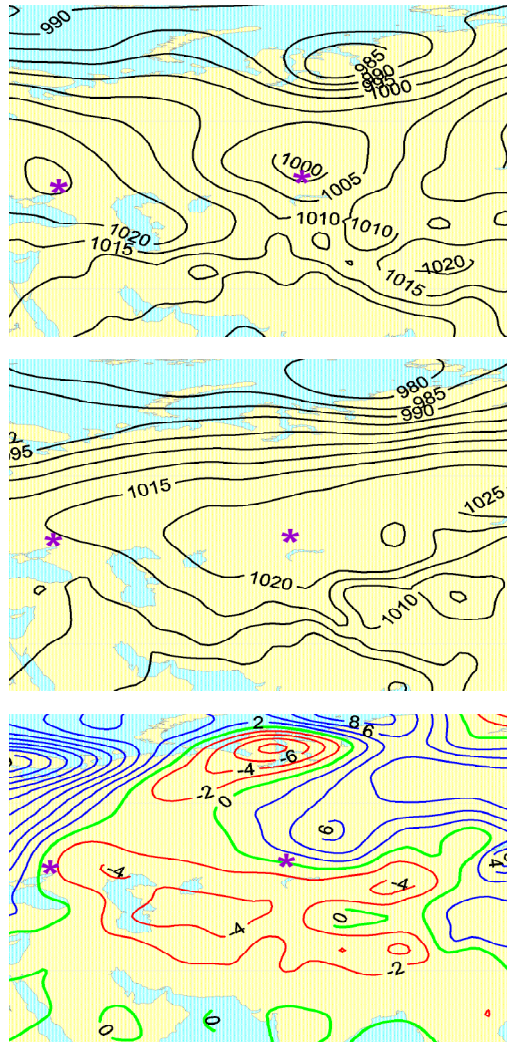


Рис.3. Поля атмосферного давления за 17.09.2006 (верхний), 20.09.2006 (средний) и поле атмосферной нагрузки за 20-21.09.2006 (нижний). Звездочкой указано местоположения шахт Казахстана и Украины.

Литература.

1. *Алексеев А.Д., Василенко Т.А., Гуменник К.В., Калугина Н.А., Фельдман Э.П.* Диффузионно-фильтрационная модель выхода метана из угольного пласта / Журнал технической физики, том 77, вып. 4, 2007, с. 65-74.
2. *Боков В.Н.* О перспективах использования солнечно-атмосферных связей в прогнозировании сейсмичности Земли // Известия РГО РАН, Т.132, вып. 4, 2000, с. 38 - 46.
3. *Боков В.Н., Воробьев В.Н.* О связи сильных землетрясений с атмосферной циркуляцией в сезонном и межгодовом диапазонах изменчивости // Сборник трудов конференции «Юбилейные Чтения памяти А.Л.Чижевского, посвященные 110-летию ученого» 27-30 ноября 2007, Санкт-Петербург, изд. Политех. Университета, 2007, с.51-56.
4. *Боков В.Н., Гутшабаш Е.Ш., Потиха Л.З.* Атмосферные процессы как триггерный эффект возникновения землетрясений // Ученые записки, №18, РГГМУ, 2011, с.173-184.
5. *Грицко Г. И.* Внезапные выбросы в шахтах / <http://www-sbras.nsc.ru/HBC/hbc.phtml?17+428+1>.
6. *Латынина Л.А., Васильев И.М.* Деформация земной коры под влиянием атмосферного давления // Физика Земли, № 5, 2001, с. 45-54.
7. *Перцев Б.Н., Ковалева О.В.* Оценка влияния колебаний атмосферного давления на наклоны и линейные деформации земной поверхности // Физика Земли, № 8, 2004, с. 79-81.
8. *Кулаков Г.И., Метакса Г.П.* Распределение внезапных выбросов угля и газа в пределах обобщенного недельного цикла на шахтах Карагандинского бассейна./ Уголь, №1, 2010, с.28-30.
9. Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах./ Серия публикаций ЕЭК по энергетике, №31, ООН, Нью-Йорк и Женева, 2010, с.87.
10. *Сидоренков Н.С.* Атмосферные процессы и вращение Земли.- СПб: Гидрометиздат, 2002. — 360 с.
11. *Жекамухов М. К., Жекамухова И. М.* К проблеме внезапных выбросов угля и газа в шахтах/ Электронный журнал «Исследовано в России», 3, 2003, с. 526-538
12. <http://berg-privileg.com/archive/detail.php?ID=196>.