

A.V. Zorin

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

A.V. Zorin

INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON SOME ASPECTS OF MINING OPERATIONS

Рассматривается волнообразный характер распространения вредных газовых примесей в атмосфере карьера после проведения массового взрыва. Показано неблагоприятное взаимовлияние близко расположенных объектов горнодобывающей промышленности. Анализируется природа распространения ударных воздушных волн при инверсионном состоянии пограничного слоя атмосферы.

Ключевые слова: инверсия, ударные воздушные волны, массовый взрыв, стратификация атмосферы.

Wave-like character of harmful gaseous admixtures in open-pit atmosphere after a bulk blast is investigated. Negative interaction of close located objects of mining industry is shown. Character of air-blast waves' distribution during inversion state of boundary atmospheric layer is analyzed.

Key words: inversion, air-blast wave, bulk blast, stratification of atmosphere.

Одним из источников поступления в атмосферу карьера вредных примесей являются массовые взрывы. При их проведении образуется значительное газовое облако, которое распространяется в объеме карьера и за его пределами. Естественно, что его распространение зависит от конкретных метеорологических условий. При определенных условиях проветривание карьера значительно ухудшается и требует гораздо большего времени, чем нормативные сроки [1].

Распространение газового облака в атмосфере карьера после проведения массового взрыва.

На рис. 1, 2 приведены результаты анализов проб карьерного воздуха после проведения массового взрыва и графики их распределения по расстоянию и времени. Данные исследования проводились неоднократно в течение длительного времени на разных карьерах. Из приведенного материала наглядно видно, что распространение газов после массового взрыва носит волнообразный характер. Рассмотрим на примере окислов азота. Взрыв произведен в 11 ч 10 мин. Так, на расстоянии 100 м от взрываемого блока через 25 мин после взрыва концентрация окислов азота незначительно увеличилась, а через 35 мин достигла своего максимума и далее значительно снизилась, однако оставаясь выше, чем до взрыва. На расстоянии 300 м от блока картина та же, только максимум был достигнут через 50 мин после взрыва. Для того чтобы преодолеть 200 м в данных метеорологических условиях в горизонтальной плоскости карьера, объему максимальной концентрации окислов азота потребовалось 15 мин. С окислами углерода картина иная. Отмечается их равномерная концентрация на всем рас-

стоянии (300 м) от блока через 25 мин после взрыва, затем резкое возрастание до максимума во второй точке через 50 мин после взрыва с последующим снижением и рост концентрации в первой точке. В данном случае при проведении замеров не успели захватить начало волнового движения. Окислы углерода, как более легкие, быстрее распространялись в атмосфере карьера и быстрее рассеивались. Распространение вредных примесей имеет волновой характер. Волна (объем максимальной концентрации) вредных примесей распространяется радиально от источника выброса до тех пор, пока температура волны не сравняется с температурой окружающего воздуха. На волнообразный процесс рассеивания вредных веществ в атмосфере карьера накладывается и процесс атмосферной диффузии.

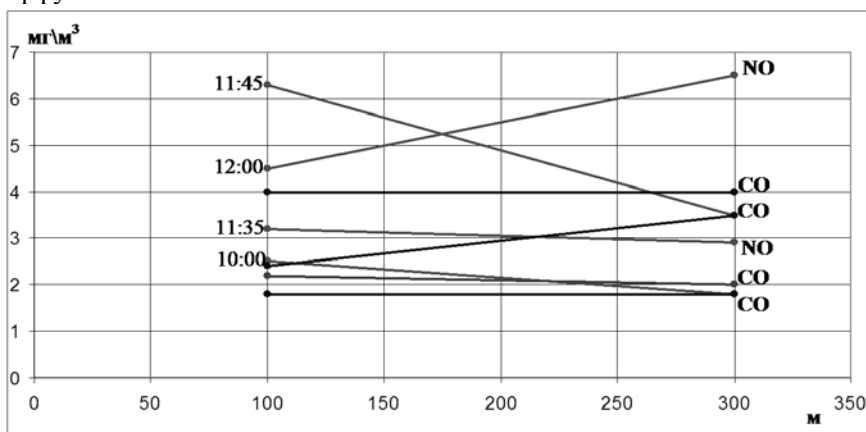


Рис. 1. Концентрация CO и NO_x в двух точках по расстоянию после МВ

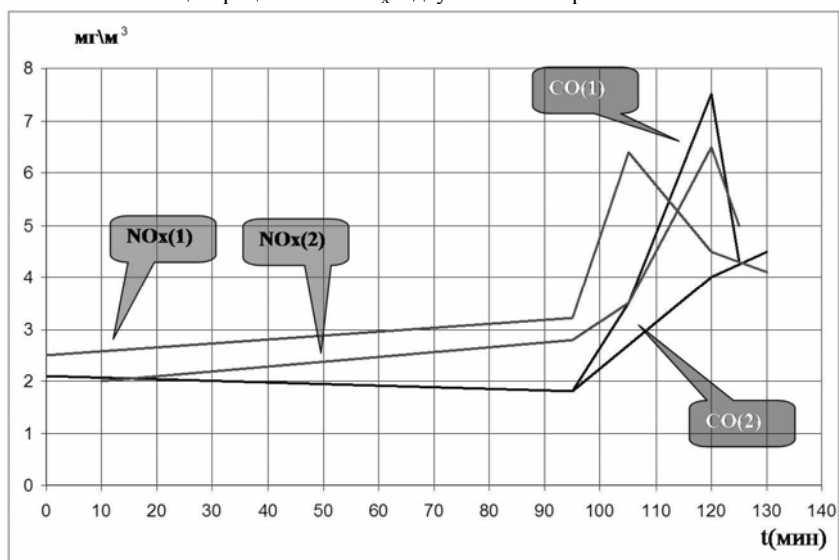


Рис. 2. Концентрация CO и NO_x в двух точках по времени после МВ

Легко диффузирующие вещества рассеиваются быстрее, и максимальные концентрации распространяются на меньшее расстояние. Волна более тяжелых веществ за счет меньшей диффузии распространяется на большее расстояние.

После проведения массового взрыва происходит два основных процесса с образовавшимися газообразными продуктами взрыва. Часть газообразных продуктов взрыва (около 50 %) расходится по трещинам в толще горных пород, другие 50 % выбрасываются из скважин подобно выстрелам. В каждом конкретном случае количество и состав газовой смеси зависит от типа применяемого взрывчатого вещества. Выброс газовой струи происходит на значительное расстояние в очень короткое время. Так как атмосфера достаточно инерционная система, то распределение газового облака в ней после массового взрыва можно разбить на две части. Первая часть – это вылет газовой смеси из шпура, на этом этапе действуют следующие силы: сам взрыв и вылет газовой струи из шпура. Здесь на очень коротком временном отрезке (мс) и незначительном расстоянии (м) резко падает температура газовой струи (до 20 °С) [2] и скорость ее распространения гаснет.

На втором этапе происходит уже взаимодействие газовой струи и окружающей атмосферы. Так как температура струи выше, чем температура окружающего воздуха (зимой разница больше, летом меньше), то за счет сил плавучести газообразные продукты взрыва будут продолжать подниматься в окружающей атмосфере, одновременно, рассеиваясь до полного выравнивания их температур. Это при штилевых условиях, при ветре картина усложнится за счет горизонтального переноса и турбулентности, при достижении уровня выравнивания температур газовой смеси и окружающей атмосферы подъем облака прекратится. В дальнейшем будут преобладать процессы атмосферных диффузий, переноса и осаждения примесей. Для примера приведем случай, когда температура атмосферного воздуха –10 °С и наблюдается изотермическое состояние атмосферы. В этом случае высота подъема облака составит около 2800 м. Расчеты проводятся по аэрологической диаграмме [3]. В случае неустойчивой стратификации подъем будет еще более значительным. При инверсии, наоборот, уменьшится. Здесь речь идет не об уровне подъема зоны предельно допустимой концентрации в облаке, а о максимальном подъеме самого облака.

Для ускорения процессов расчета разработана и применяется программа расчета времени проветривания карьерного пространства после массового взрыва. Данная программа позволяет автоматически рассчитывать и определять время проветривания карьера после массового взрыва с учетом природных и технологических факторов. Назначением программного продукта является:

- определение влияния технологических и природных факторов на время проветривания;
- расчет радиуса распространения пылегазового облака (ПГО);
- расчет высоты подъема ПГО;
- расчет скорости выноса ПГО из карьера.

Взаимовлияние горнодобывающих предприятий

Комбинированная (открыто-подземная) отработка на горнодобывающих предприятиях Кольского полуострова является перспективным способом добычи полезных ископаемых на мощных, крутопадающих месторождениях, где рудные тела уходят на большие глубины. В переходный период горные работы одновременно ведутся как в карьере, так и на подземном руднике и при этом оказываются взаимосвязанными. Влияние подземного рудника на работу карьера заключается в том, что газы от взрывных работ, выброшенные на поверхность, могут достигать района ведения горных работ в карьере, и наоборот, пылегазовое облако от массовых взрывов в карьере может засасываться через вентиляционные выработки и обрушения в подземное пространство, вызывая повышенное содержание вредных компонентов в рудничной атмосфере. Кроме этого, работающие на открытых горных работах мощные карьерные автосамосвалы при определенных условиях расположения открытых и подземных горных выработок и метеоситуациях также могут загазовывать подземные работы своими выхлопными газами [4].

Комбинированная отработка применяется на Расвумчоррском и Центральном рудниках ОАО "Апатит". Взаимное влияние вентиляционных систем подземного рудника и карьера определяется двумя основными факторами: расположением открытых и подземных выработок относительно друг друга на поверхности, т.е. орографией местности и метеорологической характеристикой района – направлением и скоростью ветра, температурой воздуха, условиями возникновения инверсии. Расположение рудников ОАО "Апатит" представлено на схеме (рис. 3).



Рис. 3. Промышленная зона АОА "Апатит"

Эпизодически повторяющиеся случаи появления вредных примесей в воздухе горных выработок Расвумчоррского рудника через значительный (в несколько часов) период времени после производства массовых взрывов на Центральном карьере говорят о том, что в определенных метеорологических ситуациях газообразные продукты взрывов проникают в выработки через нарушенный взрывами и геолого-разведочными работами (разведочными скважинами) массив горных пород. Обращает на себя внимание и то обстоятельство, что концентрации газовых примесей появляются в выработках в тех случаях, когда метеорологическая ситуация (в первую очередь, направление ветра), казалось бы, не вызывает опасных загрязнений в долине и районе Расвумчоррского рудника, а в карьере Центрального рудника наблюдались штиль или температурные инверсии. Следует отметить, что попадающие в выработки ядовитые газовые примеси состоят преимущественно из окислов углерода при отсутствии окислов азота. Указанное обстоятельство характерно при движении газовых примесей в каналах, трещинах и порах многих видов горных пород, где грунтовые воды активно растворяют окислы азота.

В данной ситуации, когда движение примесей происходит с малой скоростью в течение длительного времени, создаются условия для полного растворения окислов азота массивом по пути движения от карьера к рудничным выработкам. Процесс движения вредных газовых примесей представляется в таком виде. В момент массового взрыва на Центральном карьере за счет высокого давления часть взрывных газов, имеющих высокую начальную концентрацию (помимо работы по разрушению), вдавливаются в поры, трещины, скважины массива. Давление это быстро падает, и начинается процесс основного движения газа (в сторону выработок), если метеоситуация в карьере создает направленное в сторону выработок движение воздуха (за счет естественной тяги).

В конкретных зафиксированных ситуациях наблюдалась следующая картина распределения окислов азота и окиси углерода в атмосфере долины и подземных выработок Расвумчоррского рудника. Окислы азота присутствовали в 15 % случаев, и всегда их концентрации достигали ПДК и выше. В остальных 85 % их не отмечалось совсем. В местах отбора проб воздуха окись углерода отмечалась в 99 % случаев, при этом 77 % концентрация превышала ПДК, а в 22 % была ниже ПДК. Подземные выработки загазовывались в 78 %, а долина – в 56 % случаев. Столь редкое присутствие окислов азота можно объяснить их растворением в воде, но не атмосферного характера, а иного.

Анализ результатов наблюдений приводит к выводу, что Расвумчоррская долина загазовывается от массовых взрывов на Центральном руднике:

- в холодное время года при изотермии и умеренных ветрах восточной четверти или штилях;
- в теплое время года при мощных приземных инверсиях и слабых ветрах восточной четверти.

В рассмотренных случаях в данном районе в основном наблюдалась облачная погода с атмосферными осадками и ветром. Сама долина в этом случае загазовывается в зимний период, подземная часть Расвумчоррского рудника страдает в летний период. Одновременное их загрязнение происходит в летне-осенний период.

Похожая картина складывается и в системе Центральный – Восточный рудники. Расвумчоррский, Центральный рудники и Коашвинский карьер Восточного рудника находятся примерно на одной прямой с запада на восток. При анализе материалов по сверхнормативному проветриванию карьера Центрального рудника после массового взрыва выяснилось, что в 50 % случаев это происходит в те дни, когда в карьере Коашвинский Восточного рудника тоже был произведен совпадающий по времени массовый взрыв или ранее взрыва на Центральном, или сразу после него. Наблюдения показали, что 70 % простоев на Коашвинском карьере происходят в одно время с простоями на карьере Центрального рудника, так как метеоситуации формируют одни и те же погодные условия. Это стало происходить с 1999 г. В результате производственной деятельности изменился рельеф местности между двумя карьерами. Засыпали ущелье "Дразнящего эхо", срыли борт и понизили уровень отвалов северо-восточной части Центрального карьера в сторону долины реки Вуоннеймиок, где находится Коашвинский карьер. В результате конвективные потоки, особенно при юго-восточном переносе, беспрепятственно заносят газовое облако после массового взрыва в Коашвинском карьере в атмосферу Центрального карьера, а при мощной и продолжительной инверсии в пограничном слое загрязняющие вещества из атмосферы Центрального карьера поступают в Коашвинский карьер.

При проектировании и эксплуатации следует учитывать возможности влияния расположенных близко друг к другу объектов горнодобывающей промышленности, чтобы избежать ненужных производственных осложнений.

Распространение ударных воздушных волн при инверсиях

Развитие инверсий оказывает определенное влияние на характер распространения ударных воздушных волн (УВВ), возникающих при проведении массовых взрывов. Распространение слабых (с превышением давления на фронте до полуторного значения от атмосферного) УВВ изменяется в зависимости от знака вертикального градиента температуры воздуха [5, 6, 7]. Если при нормальном распределении температуры воздуха волна уходит вверх, то увеличение температуры с высотой ведет к увеличению скорости звука, поэтому температурные изменения в атмосфере на расстоянии 1000–1500 м от поверхности над районом взрыва могут вызвать фокусирование УВВ, что приведет к росту давления в некоторых районах поверхности, результатом которого могут быть непредвиденные последствия (например, растрекление). Особенно неприятны моменты с инверсиями в пограничном слое и ее сочетание со значительными

сверхадиабатическими градиентами в верхней части карьера и инверсией в нижней части также со значительным градиентом. Основным параметром, характеризующим действие УВВ, является избыточное давление на фронте волны, которое определяется по формуле

$$\Delta P = 4,7 \cdot 10^5 K_m K_M (\sqrt[3]{Q}/r)^{1,5},$$

где ΔP – избыточное давление на фронте УВВ, Па; Q – эквивалентная масса заряда, кг; r – расстояние, м; K_m – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств взрывааемых пород; K_M – коэффициент, учитывающий метеоусловия.

Влияние метеоусловий рассматривается на изменение скорости звука с высотой. Так, изменение скорости звука в зависимости от температуры воздуха определяется по формуле [7]:

$$c = 20,1 \sqrt{T} \approx 331,6 + 0,6t,$$

где c – скорость звука, м/с; T, t – температура воздуха, К и °С.

Для учета метеоусловий на УВВ используется коэффициент K , который меняется в зависимости от распределения температуры воздуха с высотой. Поскольку скорость звука прямо пропорциональна температуре, то в литературе K рассматривается в зависимости от изменения скорости звука с высотой [7]. Исследования показали, что в период с ноября по март на Кольском полуострове возможны случаи, соответствующие $K = 100$ с вероятностью от 0,2 до 0,3, в феврале она равна 0,5. Необходимо учитывать изменения температуры воздуха не только на поверхности карьера, но и от места взрыва, т.е. от какой-то глубины карьера. Поэтому для определения K необходимо знать распределение температуры воздуха как в пограничном слое, так и в атмосфере карьера.

Значение K в зависимости от профиля скорости звука в атмосфере

| Тип профиля | Постоянный отриц. градиент температуры | Однородный слой изотермии | Постоянный положит. градиент | Слой положит. градиента на слой отриц. | Слой большого положит. градиента на слой меньшего | Слой положит. градиента на однородном слое | Слой отриц. градиента между двумя слоями положит. |
|-------------|--|---------------------------|------------------------------|--|---|--|---|
| K | ≤ 1 | 1 | 5 | 100 | 25 | 10 | 100 |

Рассмотрим распространение УВВ на примере карьеров Восточного рудника ОАО «Апатит». Карьеры расположены в долине реки Вуоннеймиок. Карьер Коашвинский находится в горном цирке, наиболее низкий борт (отметки 280–300) на СВ. Карьер Ньоркпахский расположен на склоне горы, ориентирован на ЮЗ. Анализировались данные за 2005, 2006, и 2007 гг. Рассматривались периоды наиболее продолжительного инверсионного состояния атмосферы пограничного слоя, которые повторяются из года в год. Это периоды «рождественских» и «крещенских» морозов.

Синоптическая ситуация в это время определяется устойчивой антициклональной деятельностью с классическим ультраполярным вторжением арктических масс воздуха на Европейскую территорию России. Стояла тихая малооблачная погода.

Масса заряда составляла от 32 до 240 т. Инверсионные градиенты были незначительными – от $0,14^{\circ}/100$ м до $1,15^{\circ}/100$ м. Взрывные работы проводились в период с 12 до 16 ч мск времени.

Даже при таких незначительных инверсионных процессах во всех случаях УВВ от этих взрывов фиксировались на полигоне в 50 км от карьеров по направлению ЗЮЗ через 10–12 мс.

Инверсионное распределение температуры воздуха влияет на многие процессы, протекающие в атмосфере. Наличие инверсионных слоев в тропосфере позволяет самолетам экономить горючее. Инверсионные слои способствуют созданию волноводов для дециметровых и метровых радиоволн, благоприятствуют распространению звука.

Литература

1. *Аюрзанайн Б.А.* Физические процессы формирования и распространения пылегазового облака при взрывных работах на карьерах / Б.А. Аюрзанайн, Н.З. Битколов, В.И. Пичуев // Борьба с силикозом: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1981. Т. 12, с. 114-118.
2. *Барышев А.С.* Механизм формирования и расчет зоны отбора газов при взрывных работах [Текст] / А.С. Барышев, А.П. Казаков // Вентиляция шахт и рудников: межвузовский сб. – М., 1980. Вып. 7, с. 99-105.
3. *Гурин А.А.* Ударные воздушные волны в горных выработках / А.А. Гурин, П.С. Малый. – М.: Недра, 1983. – 223 с.
4. Руководство по защите рудничной атмосферы от загрязнения (открытые горные работы) [Текст]. – Кривой Рог: ВНИИБТГ, 1988. – 175 с.
5. *Успенский Б.Д.* Новая аэрологическая диаграмма и применение ее при диагнозе и прогнозе погоды / Б.Д. Успенский, Г.К. Веселова. – М.: Гидрометеиздат, 1969. – 120 с.
6. *Цейтлин Я.И.* Влияние метеоусловий и интенсивность слабых ударно-воздушных волн взрывов // Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых, 1980, № 3, с. 51-56.
7. *Цейтлин Я.И.* Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я.И. Цейтлин, Н.И. Смолий. – М.: Недра, 1981. – 192 с.