

ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

О. Хоменко¹, М. Кононенко^{1*}, И. Миронова²

¹Кафедра подземной разработки месторождений, Национальный горный университет, Днепр, Украина

²Кафедра экологии и технологий защиты окружающей среды, Национальный горный университет, Днепр, Украина

*Ответственный автор: e-mail kmn211179@gmail.com, тел. +380676626205

ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF IRON-ORE UNDERGROUND MINING

O. Khomenko¹, M. Kononenko^{1*}, I. Myronova²

¹Underground Mining Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine

²Ecology and Environmental Protection Technologies Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail kmn211179@gmail.com, tel. +380676626205

ABSTRACT

Purpose. To substantiate drilling-and-blasting technologies allowing to reduce the amount of hazardous substances affecting the level of ecological safety during underground ore mining.

Methods. The laboratory research of atmospheric air condition in the vicinity of mine were conducted by means of the physical-chemical analysis. The normative technique for calculation of harmful substances concentration in the atmospheric air was used for defining peculiarities of ecologically hazardous substances dispersion in the atmosphere from mine ventilation shafts.

Findings. The research into ecological condition of the atmospheric air in the vicinity of iron-ore mine allowed to reveal the regularities of changing the ground level concentration of ecologically hazard substances depending on the distance to the ventilation shaft. Values of hazard indices were determined for different distances from the emission source in the cases of TNT-based and emulsion explosives application.

Originality. Regularities of hazard index change depending on the ground level concentration of ecologically hazardous substances and the distance to emission sources were established.

Practical implications. The new technology of drilling-and-blasting operations using eco-friendly emulsion explosives during ore deposits mining by means of square-chamber system is proposed. It will allow to lessen ecological hazard indices of harmful substances effect.

Keywords: emission source, ground level concentration, ecologically hazardous substances, physical-chemical analysis, emulsion explosives, hazard index

1. ВВЕДЕНИЕ

Мировые запасы железных руд оцениваются в 180 млрд метрических тонн, что составляет порядка 8 млрд тонн чистого железа. Из этих разведанных запасов около 30 млрд метрических тонн принадлежат Украине. По содержанию железа в руде Украина (9 млрд тонн) занимает четвертое место после Бразилии (16 млрд тонн), Австралии (15 млрд тонн) и России (14 млрд тонн). Запасы железных руд Украины сосредоточены в 52 месторождениях, из которых в настоящее время разрабатываются 24. По производству товарных железных руд (4.9% мировых) Украина занимает 7-е место в мире, уступая лишь Китаю,

Бразилии, Австралии, Индии, России и США (Plotnikov & Petrusenko, 2003). Наиболее значимыми месторождениями железной руды в Украине являются следующие: Криворожский железорудный бассейн, Кременчугский железорудный район, Белозерский железорудный район, Конкский район магнитных аномалий, Приднепровский железорудный район, Приазовский железорудный район, Одесско-Белоцерковский железорудный район и Керченский железорудный бассейн (Kholodov, Golubovskaya, & Nedumov, 2014; Kurilo, 2014). Из перечисленных месторождений железных руд в настоящее время открытым и подземным способами разрабатываются Криворожско-Кременчугская железорудная зона

(бассейн) и подземным способом Белозерский железорудный район. Руды Криворожского бассейна разрабатываются 9 карьерами и 7 шахтами, Кременчугский железорудный район – 2 карьерами, Белозерский железорудный район – 2 шахтами (Peregudov, Gritsina, & Dragun, 2010).

Многолетняя эксплуатация месторождений сопровождается отрицательным воздействием на окружающую среду, затрагивая практически все ее элементы, и привела к повышению уровней загрязненности атмосферного воздуха, водных объектов, земельных угодий, а также накоплению значительного количества промышленных отходов в горнодобывающих регионах Украины (Lozynskyi, Dychkovskyi, Falshtynskyi, Saik, & Malanchuk, 2016). Масштабы техногенного воздействия на биосферу зависят от объема основного производства и в связи с возможным увеличением добычи руды имеют тенденцию к дальнейшему росту. Такая ситуация приводит к изменению естественных условий существования живых организмов, включая человека, уменьшению биоразнообразия, повышению уровня заболеваемости и сокращения продолжительности жизни населения. Поэтому разработка и внедрение высокоэффективных природоохранных технологий (Saik, Dychkovskyi, Lozynskyi, Malanchuk, & Malanchuk, 2016), которые позволят повысить уровень экологической безопасности при добыче полезных ископаемых и улучшить состояние объектов окружающей среды является актуальной задачей.

2. ВЫБОР ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

По уровню образования и объемам выбросов вредных веществ в атмосферу горнорудная промышленность является одной из отраслей, наиболее загрязняющих воздушный бассейн. В результате деятельности горнорудных предприятий техногенным влиянием на воздушный бассейн оказывают организованные и неорганизованные выбросы в атмосферу экологически опасных веществ, что приводит к запылению и загрязнению атмосферы в рабочей зоне и прилегающих территорий, росту заболеваемости и негативному влиянию на живые организмы (Gorova & Klimkina, 2007). При этом характер и масштабы этого влияния в каждом конкретном случае различны и определяются производственно-техническими и зонально-климатическими особенностями разрабатываемых месторождений.

С целью снижения негативного влияния на окружающую среду во время проведения взрывных работ все карьеры Украины переведены на эмульсионные взрывчатые вещества (ВВ), при взрывании одного килограмма которых в воздух выбрасывается всего двадцать литров газа, что почти в четырнадцать раз меньше, чем при использовании тротилосодержащих ВВ. При подземных горных работах в железорудных шахтах использование эмульсионных ВВ составляет около 5%, что связано с разработкой технологии ведения подземных горных работ и зарядных машин для использования этих ВВ. Поэтому на сегодняшний день на железорудных шахтах Украины до сих пор в качестве основных ВВ используются тротилосодер-

жащие ВВ (Рис. 1). После проведения взрывных работ в подземных условиях загрязненный воздух из шахт через вентиляционные стволы выбрасывается в атмосферу без очистки. Это связано с тем, что на сегодняшний день не существует эффективного оборудования и очистных устройств для улавливания и очистки газов, которые выдаются на поверхность в значительных объемах. В зависимости от расположения шахт и их вентиляционных стволов, выбрасываемая струя воздуха негативно воздействует на все объекты окружающей среды на прилегающей территории.



Рисунок 1. Использование разных типов ВВ на железорудных шахтах Украины

Анализ технических показателей производственной деятельности железорудных шахт Криворожского бассейна и Белозерского железорудного района позволил установить, что шахтами “Эксплуатационная” и “Проходческая” Частного акционерного общества “Запорожский железорудный комбинат” (ЧАО “ЗЖРК”) для добычи железных руд используется в среднем до 30000 т ВВ в год, что в 5 – 7 раз больше, чем на каждой железорудной шахте Кривбасса в отдельности. На основе распределения выбросов экологически опасных веществ из вентиляционных стволов железорудных шахт Украины (Рис. 2) на долю ЧАО “ЗЖРК” приходится 36% выбросов. Поэтому промышленная площадка ЧАО “ЗЖРК” и прилегающая к ней территория представляет собой актуальный полигон для проведения исследований.



Рисунок 2. Распределение выбросов экологически опасных веществ из вентиляционных стволов железорудных шахт Украины

3. АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На протяжении 2006 – 2010 гг. производился отбор проб воздуха в канале вентиляторов главного проветривая с использованием пробоотборника, полиэтиленовых мешков для проб и переносной пневматической установки с автономным питанием. Мешки с отобранными пробами анализируемого воздуха доставляли в лабораторию ЧАО “ЗЖРК”, где определяли концентрации оксида углерода с помощью электрохимического газоанализатора “Палладий-3М”, а оксиды азота – газоопределителем ГХ-М, результаты измерения концентраций экологически опасных веществ в полном объеме представлены в работе (Gorova & Myronova, 2011). В результате проведенных измерений установлены зависимости изменения концентрации окиси углерода и оксидов азота от удельного годового расхода тротилосодержащих ВВ. Дальнейшие исследования позволили получить методику, позволяющую определить концентрацию экологически опасных веществ в загрязненной струе воздуха канала вентилятора в зависимости от удельного годового расхода ВВ для каждого вентиляционного ствола.

Авторами в работе (Mironova & Pavlichenko, 2013) представлены результаты исследования качества атмосферного воздуха в районе размещения ЧАО “ЗЖРК”. Определение рассеивания экологически опасных веществ в атмосфере от источников выброса выполнялось с использованием методики расчета в атмосферном воздухе концентраций экологически опасных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86.

Определение приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ позволило:

- установить влияние приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ расстояние от источника выброса от удельного годового расхода ВВ;

- выявить закономерности изменения приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ с увеличением расстояния от вентиляционных стволов шахты и удельного расхода ВВ;

- разработать методику определения приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ от расстояния до источников выброса и удельного годового расхода тротилосодержащих ВВ.

С помощью методов оценки состояния компонентов окружающей среды и биологических объектов производились исследования состояния атмосферного воздуха методом биоиндикации (Mironova & Boyrsovs'ka, 2014). Тест-полигоны располагались у трех вентиляционных стволов ЧАО “ЗЖРК” в четыре стороны света на расстоянии 50, 100, 300, 500, 1000 и 2000 м. Эти расстояния приняты таким образом, чтобы были исследованы наиболее опасные участки вблизи источников загрязнения. По результатам исследования построены поля условного показателя повреждаемости (УПП) индикаторов на промышленной площадке и территории прилегающей к ЧАО “ЗЖРК” за 2009, 2010 и 2011 гг. Дальнейшие исследова-

ния позволили установить график зависимости УПП индикаторов от расстояния до источника выброса и выявить закономерности изменения УПП индикаторов от удельного годового расхода ВВ и расстояния до источника выброса.

Полученные результаты исследования токсикомутагенного фона промышленной площадки и прилегающих территорий к ЧАО “ЗЖРК” за период 2009 – 2011 гг. позволили установить корреляционную зависимость между УПП и приземной концентрацией суммарного воздействия экологически опасных веществ, а также выявить закономерность изменения УПП от приземной концентрации суммарного воздействия. Дальнейшие исследования позволили установить зависимости изменения линейных размеров, массовых показателей и биологической урожайности озимой пшеницы от расстояния до источника выброса. Исследования биологических признаков озимой пшеницы позволили установить корреляционную зависимость изменения биологической урожайности от величины приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ и выявить закономерность изменения биологической урожайности от величины приземной концентрации суммарного воздействия.

Анализ результатов исследования атмосферного воздуха вблизи вентиляционных стволов ЧАО “ЗЖРК” с помощью физико-химического анализа и биологической оценки позволили установить, что рудничный воздух, исходящий из стволов, насыщенный экологически опасными веществами, образующихся в результате ведения подземных горных работ, а в частности буровзрывных работ, оказывает существенное влияние на окружающую флору. В результате анализа выполненных исследований установлено, что приземная концентрация суммарного воздействия изменяется по экспоненциальной зависимости от источников выброса. Далее в результате биологической оценки также установлено, что исходящий воздух из вентиляционных стволов негативно влияет на развитие и развитие как высших растений, так и зерновых культур. С увеличением расстояния от источников выброса влияние рудничного воздуха на флору снижается. Поэтому проведенные исследования обуславливают необходимость применения современных экологически чистых эмульсионных ВВ и разработки новых технологий ведения буровзрывных работ как при проведении горных выработок, так и при выполнении очистных работ.

4. ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЯТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Добыча железных руд подземным способом в подавляющем большинстве связана с ведением буровзрывных работ, которые во многом определяют эффективность разработки месторождений (Petlovanyi, 2016). Учитывая высокую стоимость промышленных тротилосодержащих ВВ (аммонит № 6 ЖВ, граммонит 79/21, граммонит А), их опасность при транспортировании, особенно больших объемов, и перспективы развития горнодобывающих предприятий, целесообразно применение ВВ, изготавливаемых непосред-

ственно на местах ведения взрывных работ. Это связано не только с безопасностью ведения горных работ, но и с меньшими объемами выделения продуктов взрывания. В качестве такого ВВ авторами предлагается применение эмульсионного ВВ типа Украинит-ПМ-2Б. Так при взрывании 1 кг предлагаемого ВВ в облаке образовывается 0.056 моль СО или 1.25 л оксида углерода. Выделение оксидов азота термодинамически маловероятно. Кроме того, наличие в продуктах взрыва оксида кальция (СаО) обеспечивает поглощение окислов азота, которые могут образовываться при нарушении стехиометрического соотношения компонентов или неполного реагирования компонентов при взрывном превращении зарядов.

Исходя из рецептурного состава и соотношения компонентов, можно утверждать, что в продуктах взрыва украинит-ПМ-2Б не содержится токсичных оксидов азота. Выделение угарного газа СО в количестве до 1.25 л на 1 кг эмульсионного ВВ в 2 раза меньше, чем при применении тротило-содержащих ВВ. Из практики ведения взрывных работ и анализа научно-технических данных известно, что качественный и количественный состав вредных газов и твердых продуктов реакции взрывчатого превращения заряда зависит как от типа ВВ, так и от условий взрывания (химического состава ВВ, физико-механических свойств горных пород, технологии взрывных работ). Несмотря на то, что рецептурный состав тротило-содержащих ВВ сбалансированный на нулевой кислородный баланс, фактически они являются источниками выделения больших объемов оксидов углерода и азота.

В 2001 году для условий разработки запасов руды в интервале глубин 640 – 1040 м Южно-Белозерского месторождения исследователями НИГРИ Государственного ВУЗ “КНУ” был разработан вариант этажно-камерной системы разработки с расположением камер вкрест простирания залежи и последующей закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Опираясь на существующую технологию ведения очистных работ, принятой на комбинате, разработку запасов руд в этажах ниже горизонта 640 м осуществляют первичными и вторичными очистными камерами. Камеры первой очереди отработки по простиранию представляют собой прямоугольно-ромбовидную форму, а вкрест простирания месторождения камеры имеет наклонное днище в сторону пород висячего бока. Камеры второй очереди отработки по простиранию имеют идентичную форму, как и камеры первой очереди, а вкрест простирания месторождения представляют собой форму в виде перевернутого прямоугольного треугольника.

В производственную стадию очистных работ при отработке запасов руд входят такие комплексы рабочих процессов как подсечка, отрезка и непосредственно отбойка запасов блока. Подсечка запасов блока осуществляется разворотом воронок вокруг выпускных выработок. Отрезка запасов блока производится следующим образом. На каждом подэтажном горизонте по почве отрезного штрека бурят нисходящие параллельные пучки скважин в направ-

лении бурового орта. Для образования вертикальной отрезной щели по всей высоте будущей камеры взрывают пучки параллельных скважин на отрезной восстающей. Отбойка руды в блоках осуществляется следующим образом. Из подэтажных буровых ортов по всей длине образования камер бурят вертикальные восходящие веера глубоких скважин, которые располагаются параллельно отрезной щели. Отделение и дробление руды производится путем взрывания вееров скважин на заранее образованную отрезную щель. На откаточном горизонте отбитую руду выпускают из камер и грузят в вагонетки с помощью виброустановок.

Проведя анализ технологии ведения очистных работ в добычных блоках можно сделать вывод, что технология отбойки руды при камерной системе разработки предусматривает использование значительных объемов тротило-содержащих ВВ. Поэтому для усовершенствования ведения очистных работ предлагается усовершенствовать технологические параметры ведения буровзрывных работ, а именно предложить новую технологию ведения очистных работ с использованием эмульсионных ВВ при отработке залежей любой мощности. Авторами для усовершенствования ведения очистных работ при камерных системах разработки было предложено усовершенствовать существующую методику расчета параметров буровзрывных работ для отбойки руды с применением эмульсионных ВВ (Khomenko, Kononenko, & Myronova, 2013). Сущность предлагаемой технологии отбойки руды заключается в том, что бурение вееров скважин осуществляют в направлении нижележащего подэтажа. После чего нисходящие веера скважин заряжают эмульсионными ВВ (Рис. 3, 4).

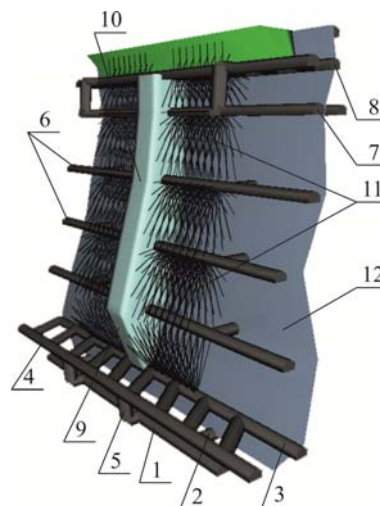


Рисунок 3 Технологическая схема ведения очистных работ с использованием эмульсионных ВВ для рудных залежей мощностью 5 – 25 м (Khomenko, Kononenko, Myronova, & Maltcev, 2015): 1 – полевой откаточный штрек; 2 – погружной заезд; 3 – штрек подсечки; 4 – штрек доставки; 5 – рудоспуск; 6 – подэтажный буровой штрек; 7, 8 – вентиляционно-буровые штреки; 9 – подсечное пространство; 10 – отрезная щель; 11 – веера нисходящих скважин; 12 – лежащий бок месторождения

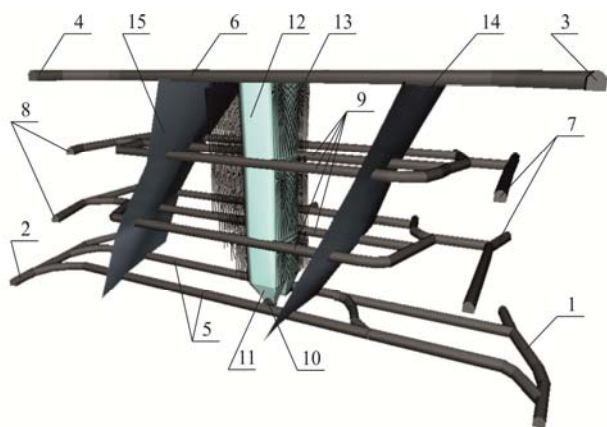


Рисунок 4. Технологическая схема ведения очистных работ с использованием эмульсионных ВВ для рудных залежей мощностью больше 25 м (Kononenko, Khomenko, & Myronova, 2013): 1 – откаточный штрек лежащего бока; 2 – откаточный штрек висячего бока; 3 – вентиляционный штрек лежащего бока; 4 – вентиляционный штрек висячего бока; 5 – откаточный орт; 6 – вентиляционно-буровой орт; 7 – подэтажный штрек лежащего бока; 8 – подэтажный штрек висячего бока; 9 – буровой орт; 10 – заезд под вибрационную установку; 11 – приемная воронка; 12 – отрезная желвак; 13 – веера нисходящих скважин; 14 – лежащий бок месторождения; 15 – висячий бок месторождения

5. ВЫПОЛНЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Начиная с 2013 года на ЧАО “ЗЖРК”, для отбойки руды применяют эмульсионные ВВ. Представленные выше результаты исследования состояния атмосферного воздуха выполнялись при использовании на комбинате для очистных работ тротилок содержащих ВВ, поэтому научный интерес представляют исследования состояния атмосферы на промышленной площадке и прилегающих территориях ЧАО “ЗЖРК” после применения при подземных горных работах эмульсионных ВВ.

В ходе исследований определяли состояние рудничного воздуха в исходящей струе каналов вентиляторов главного проветривания северного, южного и дренажного вентиляционных стволов. Отбор проб анализируемого воздуха осуществляли в междусменный перерыв после проведения взрывных работ в шахте. Полученные результаты концентраций экологически опасных веществ в отобранных пробах рудничного воздуха в 2016 году представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерения концентрации экологически опасных

| Экологически опасное вещество | Концентрация вещества, мг/м ³ |
|--------------------------------------|------------------------------------------|
| Северный вентиляционный ствол (СВС) | |
| СО | 10.0 |
| NO _x | 1.7 |
| Дренажный вентиляционный ствол (ДВС) | |
| СО | 11.0 |
| NO _x | 1.5 |
| Южный вентиляционный ствол (ЮВС) | |
| СО | 6.0 |
| NO _x | 1.6 |

Далее производили расчет интенсивности выброса для каждого вентиляционного ствола шахты, результаты расчета представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета интенсивности выброса

| Производительность вентилятора, м ³ /с | Скорость движения воздуха, м/с | Интенсивность выброса | | | |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------|-----------------|------|
| | | СО | | NO _x | |
| | | г/с | кг/ч | г/с | кг/ч |
| Северный вентиляционный ствол (СВС) | | | | | |
| 217 | 14.47 | 2.2 | 7.92 | 0.37 | 1.33 |
| Дренажный вентиляционный ствол (ДВС) | | | | | |
| 232 | 14.50 | 2.6 | 9.36 | 0.35 | 1.26 |
| Южный вентиляционный ствол (ЮВС) | | | | | |
| 257 | 14.95 | 1.5 | 3.70 | 0.41 | 1.48 |

Далее определяли приземную концентрацию экологически опасных веществ суммарного воздействия, которая необходима для получения качественной и количественной оценки распространения суммарного воздействия веществ на атмосферный воздух. В качестве примера исследовали формирование полей приземных концентраций суммарного воздействия экологически опасных веществ в долях единиц (д.е.) ПДК от источника выброса. К расчету принимались следующие исходные данные: коэффициент стратификации атмосферы $A = 200$, коэффициент рельефа местности $\eta = 1.03$, средняя максимальная температура воздуха наиболее жаркого месяца года равная 33.8°C, средняя максимальная температура воздуха наиболее холодного месяца года равная -4.3°C, среднегодовая скорость ветра – 9 м/с. Расчетный полигон представляет собой квадрат с размером сторон 4000 м, в центре которого размещается источник выброса. В расчетном квадрате топографическими знаками обозначены все попавшие в него объекты. Источники выброса: СВС: высота – 4.6 м, диаметр – 5.87 м, расход воздуха – 217 м³/с и температура воздуха – 20°C; ЮВС: высота – 4.6 м, диаметр – 5.87 м, расход воздуха – 257 м³/с, температура воздуха – 20°C; ДВС: высота – 4.6 м, диаметр – 4 м, расход воздуха – 232 м³/с, температура воздуха – 20°C. Экологически опасные вещества: оксид углерода – ПДК м/р равная 5 мг/м³, класс опасности – 4, коэффициент оседания – 1, коэффициент потенцирования – 0.9; оксид и диоксид азота – ПДК м/р равная 0.085 мг/м³, класс опасности – 2, коэффициент оседания – 1, коэффициент потенцирования – 1.3.

Рассмотрим результаты формирования полей приземных концентраций суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг каждого источника выброса (вентиляционных стволов) в 2016 году, которые соответствуют неблагоприятным метеорологическим условиям с учетом среднегодовой скорости ветра (Рис. 5а – в).

Основные поля приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг СВС в радиусе 150 м равны 0.36 д.е. от ПДК и уменьшаются до 0.08 на расстоянии 1875 м от источника выброса (Рис. 5а). Уменьшение приземной концентрации в среднем происходит через каждые 140 – 200 м на 0.03 – 0.05 д.е. от ПДК. Основные поля приземной концентрации суммарного воздействия экологически

опасных веществ вокруг ДВС в радиусе 175 м равны 0.22 д.е. от ПДК и уменьшаются до 0.08 на расстоянии 1750 м от источника выброса (Рис. 5б). Уменьшение приземной концентрации в среднем происходит через каждые 125 – 250 м на 0.01 – 0.02 д.е. от ПДК.

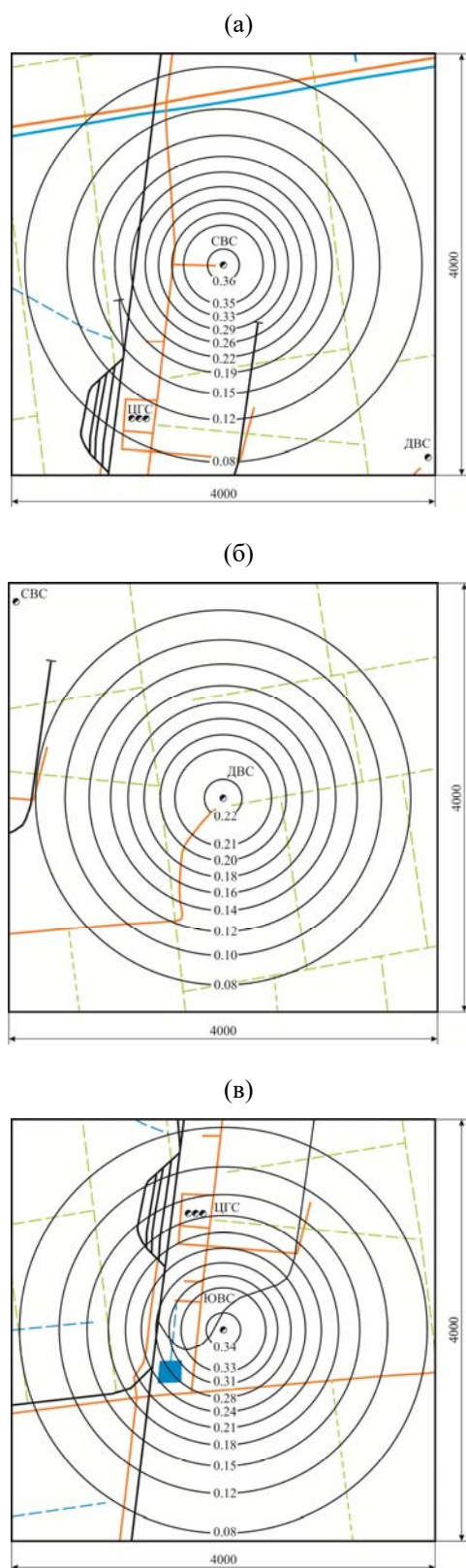


Рисунок 5. Поля приземных концентраций суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг северного (а), дренажного (б) и южного (в) вентиляционных стволов

Основные поля приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг ЮВС в радиусе 162.5 м равны 0.34 д.е. от ПДК и уменьшаются до 0.08 на расстоянии 1925 м от источника выброса (Рис. 5в).

Уменьшение приземной концентрации в среднем происходит через каждые 110 – 220 м на 0.04 – 0.05 д.е. от ПДК. Общую картину изменения величины приземной концентрации оксида углерода, оксидов азота и их суммарного воздействия с увеличением расстояния от источника выброса можно наблюдать по изменению их концентрации в долях единиц от ПДК (Рис. 6а – в). Выполненный анализ значений приземных концентраций суммарного воздействия экологически опасных веществ позволил установить, что с увеличением расстояния до 2000 м от источника выброса значения концентраций уменьшаются в 3 – 5 раз.

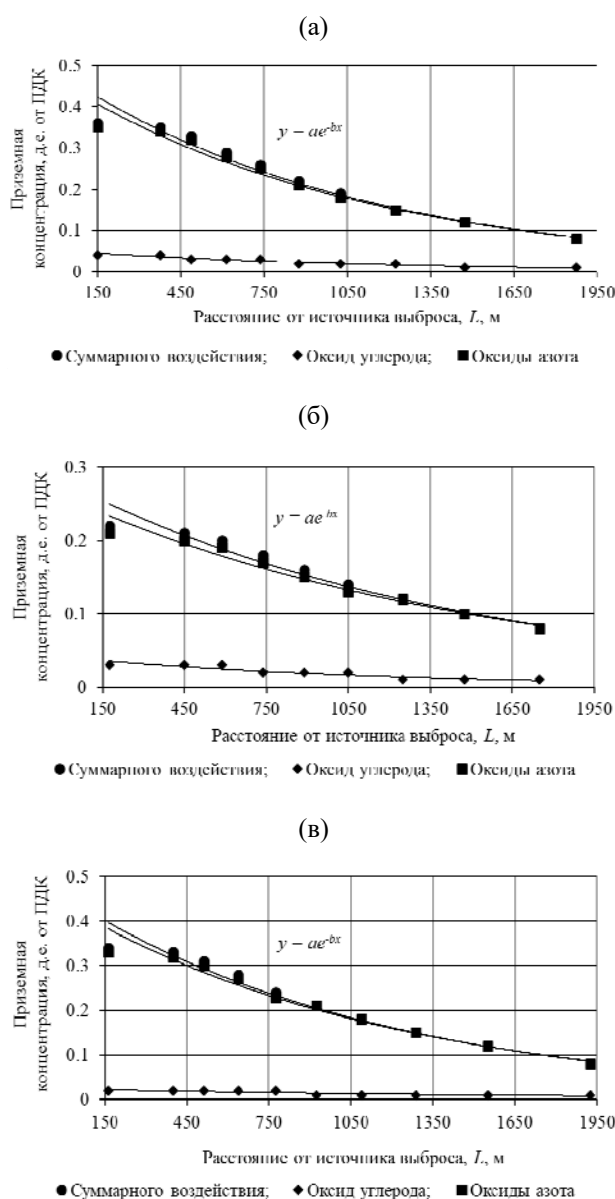


Рисунок 6. Характер изменения приземных концентраций экологически опасных веществ от расстояния до СВС (а); ДВС (б); ЮВС (в)

В результате проведения аппроксимации максимальных значений получены эмпирические уравнения зависимости приземной концентрации экологически опасных веществ от расстояния до источника выброса.

Для СВС эмпирические зависимости имеют вид:

– величина приземной концентрации суммарного воздействия:

$$C_{\text{сум.в}} = 0.48 \cdot e^{-0.0009 \cdot L}, \quad (1)$$

где:

L – расстояние до источника выброса;

– величина приземной концентрации оксида углерода:

$$C_{CO} = 0.05 \cdot e^{-0.0009 \cdot L}; \quad (2)$$

– величина приземной концентрации оксидов азота:

$$C_{NO_x} = 0.46 \cdot e^{-0.0009 \cdot L}. \quad (3)$$

Для ДВС эмпирические зависимости имеют вид:

– величина приземной концентрации суммарного воздействия:

$$C_{\text{сум.в}} = 0.28 \cdot e^{-0.0007 \cdot L}; \quad (4)$$

– величина приземной концентрации оксида углерода:

$$C_{CO} = 0.04 \cdot e^{-0.0009 \cdot L}; \quad (5)$$

– величина приземной концентрации оксидов азота:

$$C_{NO_x} = 0.26 \cdot e^{-0.0006 \cdot L}. \quad (6)$$

Для ЮВС эмпирические зависимости имеют вид:

– величина приземной концентрации суммарного воздействия:

$$C_{\text{сум.в}} = 0.47 \cdot e^{-0.0009 \cdot L}; \quad (7)$$

– величина приземной концентрации оксида углерода:

$$C_{CO} = 0.02 \cdot e^{-0.0006 \cdot L}; \quad (8)$$

– величина приземной концентрации оксидов азота:

$$C_{NO_x} = 0.44 \cdot e^{-0.0008 \cdot L}. \quad (9)$$

Определение приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ позволило установить, что на приземную концентрацию экологически опасных веществ влияет расстояние от источника выброса, а также выявить закономерности изменения приземной концентрации экологически опасных веществ с увеличением расстояния от каждого вентиляционного ствола шахты. Выполнив сравнение полученных результатов исследования с представленными в работе (Gorova, Kolesnyk, & Myronova, 2014) можно сделать вывод, что при использовании при подземных горных работах эмульсионных ВВ концентрация экологически опасных веществ, исходящих в атмосферу из источников выброса, снижается до 40%.

6. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В результате выполненных исследований установлено снижение концентрации экологически опасных веществ, выделяющихся в атмосферный воздух при проведении буровзрывных работ после применения эмульсионных ВВ. Начиная с 2010 года для проведения горных выработок на шахтах ЧАО “ЗЖРК” применяется эмульсионное ВВ типа Украинит-ПМ-2Б, в количестве около 5% от всего объема используемых ВВ год. С конца 2013 года на ЧАО “ЗЖРК” эмульсионное ВВ типа Украинит-ПМ-2Б применяют и для ведения очистных работ, что составляет около 45% от всего объема используемых ВВ год. Поэтому возникает необходимость в определении количественной оценки повышения уровня экологической безопасности после увеличения объемов применения эмульсионных ВВ. Определение уровня экологической опасности осуществляли с помощью методики, учитывающей риск для здоровья населения, подвергающегося негативному влиянию загрязняющих веществ, которые выделяются при применении ВВ. Согласно методики определяли и сравнивали коэффициенты и индексы опасности при использовании тротилосодержащих и эмульсионных ВВ.

Коэффициент экологической опасности возможного появления у живых организмов неканцерогенных эффектов от влияния рассматриваемых загрязняющих веществ:

$$HQ_i = \frac{C_i}{RfC}, \quad (10)$$

где:

C_i – уровень влияния i -ого вещества;

RfC – безопасный уровень влияния.

Индекс опасности от комбинированного воздействия экологически опасных веществ:

$$HI = \sum HQ_i. \quad (11)$$

Результаты расчета коэффициентов и индексов опасности для объектов окружающей среды при использовании на подземных горных работах тротилосодержащих и эмульсионных ВВ представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчетов коэффициентов и индексов опасности

| Показатель | Расстояние от источника выброса, м | | | | |
|----------------------|------------------------------------|------|------|------|------|
| | 100 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 |
| Тротилосодержащие ВВ | | | | | |
| $HQ(NO_x)$ | 0.59 | 0.41 | 0.26 | 0.17 | 0.11 |
| $HQ(CO)$ | 0.16 | 0.11 | 0.07 | 0.04 | 0.02 |
| HI | 0.75 | 0.52 | 0.33 | 0.21 | 0.13 |
| Эмульсионные ВВ | | | | | |
| $HQ(NO_x)$ | 0.42 | 0.29 | 0.19 | 0.12 | 0.08 |
| $HQ(CO)$ | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| HI | 0.47 | 0.32 | 0.21 | 0.13 | 0.09 |

По результатам расчета коэффициентов и индексов опасности построен график зависимости индекса опасности от расстояния до источника выброса (Рис. 7).

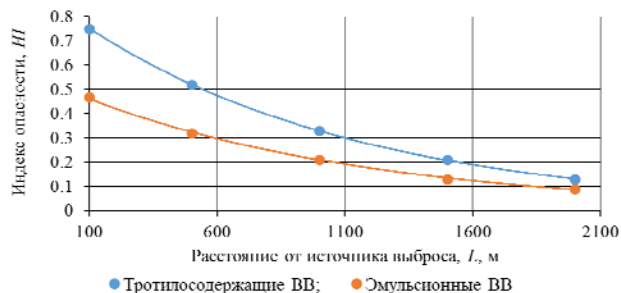


Рисунок 7. Характер изменения индекса экологической опасности от расстояния до источника выброса

Анализ данных Таблицы 3 и Рисунка 7 показал, что при использовании тротилосодержащих ВВ наблюдаются наибольшие значения коэффициентов и индексов опасности для всех анализируемых экологически опасных веществ. При этом, по мере удаления от источников выброса происходит снижение коэффициентов и индексов опасности.

Применение эмульсионных ВВ на подземных работах в условиях ЧАО “ЗЖРК” позволило снизить коэффициенты и соответственно индексы экологической опасности на 31 – 38%.

7. ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований с помощью экспресс-метода физико-химического анализа и расчета концентраций экологически опасных веществ, поступающих в атмосферный воздух из вентиляционных стволов шахт, установлены закономерности изменения приземной концентрации этих веществ с увеличением расстояния от источников выброса. Получены эмпирические уравнения приземной концентрации экологически опасных веществ как в отдельности, так и их суммарного воздействия. Определен индекс экологической опасности от расстояния до источника выброса при использовании тротилосодержащих и эмульсионных ВВ. Установлено, что после применения при подземных горных работах в условиях ЧАО “ЗЖРК” эмульсионных ВВ индекс экологической опасности снизился на 38%.

БЛАГОДАРНОСТЬ

За предоставление исходных данных и оказанную поддержку при проведении лабораторных исследований авторы выражают благодарность директору по производству В.Ю. Усатому и главному специалисту по охране окружающей среды В.Ю. Самойлову ЧАО “Запорожский ЖРК” (г. Днепропетровское).

REFERENCES

- Gorova, A., & Klimkina, I. (2007). Methodology of Socio-Ecological Monitoring Using Cytogenetic Methods. *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*, 91-102.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6335-0_7
- Gorova, A., & Myronova, I. (2011). Determination of the Concentration of Harmful Substances in Outgoing Jet of the Mine Air. *Collection of Scientific Works of NMU*, 36(1), 192-200.
- Gorova, A., Kolesnyk, V., & Myronova, I. (2014). Increasing of Environmental Safety Level during Underground Mining of Iron Ores. *Mining of Mineral Deposits*, 8(4), 473-479.
<https://doi.org/10.15407/mining08.04.473>
- Kholodov, V.N., Golubovskaya, E.V., & Nedumov, R.I. (2014). Origin and Prospects of the Cimmerian Iron Ore Basin in Ukraine and Russia. *Lithology and Mineral Resources*, 49(5), 359-380.
<https://doi.org/10.1134/s0024490214050046>
- Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2013). Blasting Works Technology to Decrease an Emission of Harmful Matters into the Mine Atmosphere. *Mining of Mineral Deposits*, 231-235.
<https://doi.org/10.1201/b16354-43>
- Khomenko, O.E., Kononenko, M.M., Myronova, I.G., & Maltcev, D.V. (2015). *Method of Mineral Deposits Extraction by Blasting Method*. Patent No 108639, Ukraine.
- Kononenko, M.M., Khomenko, O.E., & Myronova, I.G. (2013). *Method of Mineral Deposits Extraction by Blasting Method*. Patent No 101217, Ukraine.
- Kurilo, M. (2014). Commercial Significance of Associated Minerals of Iron Ore Kryvbas Deposits (Ukraine). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 3(1), 107-111.
<https://doi.org/10.5593/sgem2014/b13/s3.015>
- Lozynskyi, V.G., Dychkovskiy, R.O., Falshtynskiy, V.S., Saik, P.B., & Malanchuk, Ye.Z. (2016). Experimental Study of the Influence of Crossing the Disjunctive Geological Fault on Thermal Regime of Underground Gasifier. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 21-29.
- Mironova, I., & Borysovs'ka, O. (2014). Defining the Parameters of the Atmospheric Air for Iron Ore Mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 333-339.
<https://doi.org/10.1201/b17547-57>
- Mironova, I., & Pavlichenko, A. (2013). Analysis of Air Pollution Levels during Underground Ore Mining. *Mining of Mineral Deposits*, 7(3), 261-266.
<https://doi.org/10.15407/mining07.03.261>
- Peregudov, V.V., Gritsina, A.E., & Dragun, B.T. (2010). Current State and Future Development of Iron-Ore Industry in Ukraine. *Metallurgical and Mining Industry*, 2(2), 145-151.
- Petlovanyi, M. (2016). Influence of Configuration Chambers on the Formation of Stress in Multi-Modulus Mass. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 48-54.
<https://doi.org/10.15407/mining10.02.048>
- Plotnikov, O.V., & Petrusenko, I.Yu. (2003). Structure of World's Iron Reserves and Tendencies in Development of Iron-Ore Mineral and Raw Material Base in Ukraine. *Metallurgicheskaya i Gornorudnaya Promyshlennost*, (1), 79-83.
- Saik, P.B., Dychkovskiy, R.O., Lozynskyi, V.G., Malanchuk, Z.R., & Malanchuk, Ye.Z. (2016). Revisiting the Underground Gasification of Coal Reserves from Contiguous Seams. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 60-66.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Обосновать технологии выполнения буровзрывных работ, позволяющих снизить количество опасных веществ, влияющих на уровень экологической безопасности при подземной разработке руд.

Методика. Лабораторные исследования состояния атмосферного воздуха в районе расположения шахты выполнялись с помощью физико-химического анализа. Для определения особенностей рассеивания экологически от вентиляционных стволов шахты использовалась нормативная методика расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе.

Результаты. Исследование экологического состояния атмосферного воздуха вблизи железорудной шахты позволило выявить закономерности изменения приземной концентрации экологически опасных веществ от расстояния до вентиляционного ствола. Установлены значения индексов опасности при изменении расстояния от источника выброса при использовании тротилосодержащих и эмульсионных взрывчатых веществ.

Научная новизна. Установление закономерностей изменения индекса опасности в зависимости от приземной концентрации экологически опасных веществ и расстояния до источников выброса.

Практическая значимость. Предложена новая технология ведения буровзрывных работ, которая предполагает использование экологически чистых эмульсионных взрывчатых веществ при отработке рудных залежей с помощью камерных систем разработки, что позволит снизить индексы экологической опасности влияния вредных веществ.

Ключевые слова: источник выброса, приземная концентрация, экологически-опасные вещества, физико-химический анализ, эмульсионные взрывчатые вещества, индекс опасности

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Обґрунтувати технології виконання буропідричних робіт, які дозволили знизити кількість небезпечних речовин, що впливають на рівень екологічної безпеки при підземній розробці руд.

Методика. Лабораторні дослідження стану атмосферного повітря в районі розташування шахти виконані за допомогою фізико-хімічного аналізу. Для визначення особливостей розсіювання екологічно небезпечних речовин від вентиляційних стволів шахт використана нормативна методика визначення концентрацій шкідливих речовин в атмосфері.

Результати. Дослідження екологічного стану атмосферного повітря поблизу залізорудної шахти дозволили встановити закономірності зміни приземної концентрації екологічно небезпечних речовин від відстані до вентиляційного ствола. Встановлено значення індексів безпеки при зміні відстані від джерела викиду при використанні тротиловістких і емульсійних вибухових речовин.

Наукова новизна. Встановлені закономірності зміни індексу безпеки у залежності від приземної концентрації екологічно небезпечних речовин і відстані до джерел викиду.

Практична значимість. Запропоновано нову технологію ведення буропідричних робіт, яка передбачає використання екологічно чистих емульсійних вибухових речовин при розробці рудних покладів за допомогою камерних систем розробки, що дозволило знизити індекси екологічної безпеки впливу шкідливих речовин.

Ключові слова: джерело викиду, приземна концентрація, екологічно-небезпечні речовини, фізико-хімічний аналіз, емульсійні вибухові речовини, індекс безпеки

ARTICLE INFO

Received: 25 January 2017

Accepted: 5 June 2017

Available online: 30 June 2017

ABOUT AUTHORS

Oleh Khomenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/58, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: koordin@rudana.in.ua

Maksym Kononenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/58, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: kmm211179@gmail.com

Inna Myronova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Ecology and Environmental Protection Technologies Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 10/705, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: mig220879@gmail.com