

*Е.К. Бабец, канд.техн.наук, с.н.с., член-корреспондент АГНУ, директор
Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»*

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Обоснована возможность геофизического обеспечения методами ЕИЭМПЗ и РАП техногенной безопасности открытой разработки железистых кварцитов в зонах влияния подземных горных работ. Приведены результаты геофизических исследований геодинамического состояния породного массива подработанного подземными горными работами.

Ключевые слова: открытая и подземная разработка, геофизика, породный массив, электромагнитные и акустические поля, геодинамические процессы.

Обґрунтована можливість геофізичного забезпечення методами ПЕМПЗ і РАП безпеки відкритої розробки залізистих кварцитів в зоні впливу підземних гірничих робіт. Наведено результати геофізичних досліджень геодинамічного стану породного масиву підробленого підземними гірничими роботами.

Ключові слова: відкрита і підземна розробка, геофізика, породний масив, електромагнітні та акустичні поля, геодинамічні процеси.

The possibility of providing geophysical methods natural pulsed electromagnetic field of the earth (NPEFE) and resonant acoustic profiling (RAP) and technological safety of open development of ferruginous quartzite in the areas of influence of underground mining. Shown results of geophysical researches of geodynamic state of rock massif undermined by underground mining.

Key words: open and underground mining, geophysics, rock mass, electromagnetic and acoustic field, geodynamic processes.

Введение. Криворожский железорудный бассейн является основным горнодобывающим регионом, который обеспечивает до 70% производства товарного железорудного сырья Украины.

Разработка Криворожского месторождения железных руд осуществляется с 1881 г. За это время добыто около 4,5 млрд. т товарной железной руды, для чего было изъято из недр более 6 млрд. м³ (около 17 млрд.т) горной массы.

Вследствие длительного производства горных работ, в Кривбассе произошли масштабные нарушения состояния недр и земной поверхности. Техногенные нарушения земной поверхности превышают 300 км² и составляют в длину около 100 км, а в ширину до 3-5 км. Эти нарушения

представлены карьерами глубиной до 300 м, шахтами глубиной до 1500 м, мульдами сдвига и зонами обрушения пород, непогашенными подземными пустотами. Вдоль территории с техногенными нарушениями расположены: отвалы вскрышных пород высотой до 120 м; хвостохранилища, в которых накоплено около 5 млрд. м³ горной массы и отходов обогащения руд; защитные дамбы шламоохранилищ с высотой до 90 м. Рядом с этими объектами расположены промышленные предприятия и жилые массивы.

Создалась ситуация, когда в верхней части земной коры Кривбасса образовались выемки и пустоты антропогенного происхождения, а параллельно им размещаются огромные техногенные объекты с массой в миллиарды тонн. Это привело к созданию значительной концентрации неуравновешенного напряжения земной коры, которое ежегодно возрастает по мере углубления горных работ. Общие объемы земной коры, которые подвержены антропогенным геомеханическим процессам в Кривбассе, составляют около 16-17 млрд. м³ (возможно до 20 млрд. м³) массой около 50 млрд. т при интенсивности нарушений 1 млрд. м³ каждые 8 лет. Ежегодная интенсивность нарушений возрастает и в самом ближайшем времени может возрасти еще на 15-20 %.

Основная часть. В настоящее время отработка залежей железных руд Кривбасса ведется открытым и подземным способами в условиях техногенной нагрузки на геологическую среду, аналогов которой не знает мировая практика.

В ряде случаев открытая и подземная разработка ведется на одном участке месторождения, что создает определенные трудности, влияет на технико-экономические показатели горнодобывающих предприятий, безопасность ведения горных работ, экологическую ситуацию в регионе.

Комплексное использование открытого и подземного способа разработки позволит более полно использовать разведанные запасы железных руд, снизить капитальные затраты и инвестиции на развитие производства, улучшить экологическую обстановку в регионе.

Зачастую открытая разработка проводится на участках месторождений подработанных подземными горными работами.

Возможность выемки железных руд открытым способом в зонах влияния подземных горных работ подтверждается опытом украинских и зарубежных горнодобывающих предприятий [1-3].

По мнению Л.И. Барона, открытую разработку в зонах влияния подземных горных работ необходимо считать назревшей задачей для многих месторождений руд черных металлов. Автор утверждает, что есть все основания расценивать эту задачу как важную и новую проблему горной науки [4].

При этом самой главной составляющей этой проблемы является обеспечение безопасности отработки карьером массива горных пород, подработанного подземными горными работами.

В настоящее время в Кривбассе разработка природно-богатых руд открытым способом в зонах влияния подземных горных работ осуществляется карьером «Южный» бывшего рудоуправления им. С.М. Кирова (ныне горный цех шахтоуправления по подземной добыче руды ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»), карьером «Северный» бывшего рудоуправления им. Дзержинского (ныне горно-обоганительный комплекс «Укрмеханобр» ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича»), а также наиболее мощным карьером №1 ПАО «ЦГОК», который осуществляет добычу железистых кварцитов.

Месторождение железистых кварцитов, расположенное в центральной части Криворожского бассейна и разрабатываемое карьером №1 ПАО «ЦГОК», имеет свои характерные особенности. В тектоническом отношении месторождение приурочено к Саксаганской синклинали и Саксаганской антиклинали, в которых сосредоточены основные запасы руды в Кривбассе. Западное крыло синклинали и восточное крыло антиклинали почти полностью уничтожены Саксаганским надвигом.

Богатые руды 2-го Саксаганского пласта, залегающие в восточном крыле синклинали, обрабатываются шахтами «Октябрьская» (ПАО «Кривбассжелезрудком») и им. Фрунзе (ПАО «ЕВРАЗ СУХА БАЛКА»). Руды Глееватского и Червоно-компанейского пластов и руды 2-го Саксаганского пласта, залегающие в центральной части синклинали и в западном крыле антиклинали, обрабатываются карьером №1 ПАО «ЦГОК».

Поле карьера №1 вскрыто тупиковыми траншеями с продольными и поперечными заходками. Очистные работы ведутся по транспортной системе с применением буровзрывных работ и погрузкой руды и вскрышных пород на автомобили и в думпкары.

Карьер имеет вытянутую по простиранию форму и в настоящее время его глубина составляет 350 м, длина – около 4000 м, ширина – 1700 м. Годовая производительность карьера по сырой руде составляет 5,6 млн.т. Углы наклона бортов карьера составляют 30-40°. Высота уступов в наносах 10 м, в скальных породах – 15 м. Ширина рабочих площадок равна 40-60 м.

Согласно «ТЭО определение дальнейшего способа разработки карьера №1 предусматривается работа карьера на глубину 500 м, с извлечением балансовых запасов железистых (магнетитовых) кварцитов и активным вовлечением в отработку восточного борта карьера.

Доступ к горизонтам для расконсервации Восточного борта осуществляется с севера с горизонта 95 м. Далее, по мере разноса борта и

углубки горных работ, по восточному борту формируется система съездов для связи с горизонтами северного и южного бортов.

Восточный борт карьера подрабатывается шахтами «Октябрьская» и им. Фрунзе. Наличие в массиве горных пород Восточного борта карьера, зон влияния подземных горных работ, осложняет технологию открытой разработки железистых кварцитов.

В Криворожском бассейне при отработке подземным способом залежей железных руд образуется выработанное пространство. При этом в массиве горных пород и на земной поверхности происходит развитие процесса деформаций. Наиболее опасными проявлениями последних являются провалы и воронки обрушения земной поверхности [5].

Реальный массив горных пород имеет сложное строение и обладает существенной анизотропией физико-механических свойств. Внутри и на границе структурных элементов массива связи существенно отличаются, что проявляется в ассоциировании (объединении) их в целостный элемент (кластер). Вследствие этого в массиве существует иерархически упорядоченная структура совокупности кластеров, связь между которыми обусловлена не только силами, связывающими элементы внутри кластера, но и силами, действующими на контактах его с другими кластерами. Очевидно, что силы связи между кластерами в ассоциате существенно слабее, чем внутри кластеров, что является необходимым условием устойчивости внутренней структуры ассоциатов, а также возможности перераспределения внешних силовых воздействий (перколяции сил) по структурным связям (взаимодействиям) внутри.

Исходя из изложенной кластерно-перколяционной модели массива горных пород деформирование последнего вокруг выработанного пространства в зонах максимальной концентрации напряжений приводит к образованию сети микро и макротрещин в этих зонах. Эти процессы лежат в основе явления дезинтеграции породного массива в зоне влияния подземных горных работ [6].

Данное положение является чрезвычайно важным при выборе геофизических методов, которые можно эффективно использовать в рамках геофизического изучения структуры и состояния массива горных пород в зоне влияния подземных горных работ [7-9].

Для изучения процессов изменения структуры и состояния названного массива горных пород, при использовании разработанной в НИГРИ ГВУЗ «КНУ» методики и мобильных технических средств удалось, в рамках натуральных исследований, реализовать идею применения геофизических методов ЕИЭМПЗ и РАП для наблюдения и оценки состояния породного массива в зоне влияния подземных горных работ. Используемая

методика и технические средства относятся к геофизическим методам неразрушающего контроля.

Методологической основой применения метода ЕИЭМПЗ для оценки деформационного состояния горного массива служит существование связи между процессом механического (пластично-хрупкого) разрушения горных пород и возникновением при этом импульсов электромагнитного излучения.

По повышенным значениям ЕИЭМПЗ выделяются зоны сжимающих напряжений, а по пониженным – зоны растяжения и трещиноватости. Относительная величина аномалии позволяет качественно судить об интенсивности проявления сжатия или растяжения природно-техногенной среды.

Основным графическим материалом, представленным в результате полевых работ, являются карты эквипотенциальных линий и графики величин значений параметров ЕИЭМПЗ. Аномальные зоны выделяются в результате анализа карт и графиков измеренных компонентов поля. Реальной считается аномалия, интенсивность которой больше трехкратной величины средней квадратичной погрешности съемки (для амплитуд и количества импульсов). Аномальные зоны меньшей интенсивности заслуживают внимания лишь в том случае, когда они подтверждаются повторными съемками.

Участки со своеобразной геофизической характеристикой отличаются специфическим геологическим строением. Зоны, в которых возможны образования воронок, имеют напряженное состояние по замкнутому контуру (круг, овал и т.д.), так называемый краевой эффект. Поэтому можно сделать вывод о целесообразности применения рассматриваемого метода для определения возможных опасных участков массива горных пород в зоне влияния подземных горных работ.

Метод РАП используется для получения информации о естественном акустическом поле Земли, а именно – поле акустического резонанса, возникающее в толще горных пород под влиянием различных внешних факторов. Внешними факторами являются источники сейсмической активности земной коры, механические колебания, возникающие в результате напряжений земной толщи, движения планет и многое другое. Под влиянием вышеперечисленных внешних факторов в слоистой толще возникают поперечные упругие колебания.

Поперечные упругие волны возникают только в телах, в которых возможны упругие деформации сдвига. Существование поперечных поверхностных волн является следствием взаимодействия продольных и (или) поперечных упругих волн при отражении этих волн от плоской границы между различными средами. Границей между средами могут быть

поверхности ослабленного механического контакта между средами, обусловленные:

- резкой сменой пород изучаемого разреза;
- прослоями различного генезиса (углистыми, глинистыми и т.п.);
- перерывами в осадконакоплении;
- интрузивными и экструзивными контактами;
- тектоническими нарушениями;
- подземными пустотами.

Чем слабее контакты – тем большая возможность взаимного перемещения соседних слоев, и, следовательно – больше амплитуда возникающих собственных колебаний.

В результате, поверхностные волны локализуют энергию возмущений, созданных на поверхности, в сравнительно узком слое. Именно это свойство поверхностных волн приводит к резонансным явлениям. В случае «граница твердого тела и жидкости» возникает незатухающая поверхностная волна, что характеризуется повышением амплитуды колебаний. Возможно искусственное усиление амплитуды принимаемых собственных колебаний (приведение акустического датчика в состояние резонанса) путем механического его возбуждения, при этом мощность источника возбуждения не имеет особого значения.

При возбуждении (ударе в непосредственной близости от датчика) в датчике наводятся акустические колебания широкой полосы частот, которые, при совпадении с частотами собственных акустических колебаний подповерхностных объектов, вызывают усиление их амплитуды. Частота колебаний обратно пропорциональна мощности колеблющегося «слоя». Под «слоем» понимается толща горных пород, находящаяся между поверхностью наблюдений и поверхностью «ослабленного механического контакта» (ОМК).

Натуральные исследования на основе применения методов ЕИЭМПЗ и РАП проводились на восточном борту карьера №1 ПАО «ЦГОК», который находится в зоне влияния подземных горных работ шахт «Октябрьская», «Большевик», «Фрунзе».

На основании проведенных исследований были построены карты аномальных зон, выделенных по результатам наблюдений методами ЕИЭМПЗ и РАП на восточном борту карьера №1 ПАО «ЦГОК».

В результате проведенных работ были выявлены два типа аномальных зон:

- зона активных приповерхностных разуплотнений с повышенными значениями резонансного сигнала на глубине до 200 м;
- зона повышенной трещиноватости и сдвижения с активным разуплотнением на глубине более 200 м.

Аномальные зоны первого типа представляют наибольшую опасность в связи с возможным выходом воронок обрушения. В восточном борту карьера №1 выделено 4 такие аномалии.

Первая находится в зоне влияния подземных выработок ш. Большевик в районе маркшейдерских осей (МО) 60-100 южнее существующей воронки обрушения. Аномалия ограничена зонами влияния двух разломов сложной конфигурации. Юг зоны расположен на границе целик – выработанное пространство, север опирается на проекцию зоны разлома, пересекающего выработки на глубине 500 м. Участок, примыкающий к воронке обрушения, отмечается повышенной трещиноватостью и процессами сдвижения.

Остальные зоны расположены в маркшейдерских осях шахты «Октябрьская».

Вторая зона находится в МО 65-90. Ограничена разломом и проекцией его пересечения с горными выработками мощностью до 100 м. Южная граница опирается на изменение структуры рудного тела с уменьшением мощности суммарного подработанного пространства со 120 до 60 м.

Третья зона расположена в МО 100-125. В северных границах совпадает с положением выхода старых воронок, сдвигаясь к югу на 100 м.

Четвертая зона расположена в МО 135-165. Является продолжением зоны влияния воронок обрушения и пустот ш. Северная (восточнее).

Зоны второго типа:

МО 15-42 зона старых воронок обрушения под влиянием поперечного разлома, активные процессы разуплотнения.

МО 50-75 зона влияния подземных выработок различной мощности и глубины с близким расположением нескольких целиков между ними. Активные процессы разуплотнения и просаживания до приповерхностного слоя.

МО 123-138 зона повышенной трещиноватости и разуплотнения.

МО 135-165 зона повышенной трещиноватости и разуплотнения под влиянием активной зоны №4.

Зона расположена на участке ш. им. Фрунзе в МО 35-20. Представлена приповерхностным разуплотнением на контактах пород.

Проведенные геофизические наблюдения показали, что внутри и на границах структурных элементов массива над отработанной железорудной залежью силы связи существенно отличаются. Применяя метод синергетического подхода к вопросу деформирования горных пород, следует исходить из того, что они должны рассматриваться как открытые, сильнонеравновесные в локальных зонах концентрации напряжений системы, в которых протекают неравновесные локальные структурные

преобразования. Последние развиваются на разных масштабных уровнях и отличаются по характеру, энергии, протяженности в объеме, скорости протекания.

Полученные результаты геофизических исследований мониторинга массивов горных пород методами ЕИЭМПЗ и РАП позволяют сделать вывод, что наблюдаемые массивы представляют многогранговую иерархическую структуру. Это проявляется в том, что в структурах элементов массивов горных пород существуют связи, обусловленные не только связывающими элементами структуры внутри определенной зоны дезинтеграции, но и с силами действующих на контактах с другими зонами дезинтеграции.

В исследуемых массивах зоны дезинтеграции разделены по глубине тектоническими нарушениями. Исключение представляет верхняя зона дезинтеграции массивов. Данная зона дезинтеграции находится ближе к поверхности и на развитие микротрещин и расслоений в ней существенно влияют подземные воды.

До проведения НИГРИ ГВУЗ «КНУ» системных наблюдений методами ЕИЭМПЗ и РАП и оценки состояния породного массива в зоне влияния подземных горных работ предполагалось, что данный массив горных пород квазиоднороден и развитие процесса его дезинтеграции будет проходить монотонно стабильно. Проводимые наблюдения и анализ полученных результатов показали, что процессы дезинтеграции происходят локально как в верхней части массива, так и в нижележащих зонах.

Данные положения позволили уточнить применительно к структурно и текстурно-сложным породным массивам в зоне влияния подземных горных работ критерии опасности для оценки безопасной эксплуатации объектов, находящихся в зоне влияния подземных горных работ.

Выводы.

1. Горные работы в Кривбассе ведутся как открытым, так и подземным способом в течение более 130 лет практически одновременно на одном месторождении.

2. В настоящее время отработка залежей железных руд Кривбасса ведется в условиях как совместных открытых и подземных горных работ, так и в условиях отработки открытым способом в зонах, подработанных подземными горными работами.

3. Процесс сдвижения подработанных шахтами толщ не завершён – фронты работ карьеров наступают на зоны еще не вышедших на контуры карьеров воронок, террас и трещин, мульды сдвижения продолжают развиваться.

4. Открытые горные работы ведутся в зоне влияния подземных, подземные горные работы ведутся в зоне влияния открытых.

5. Выполненные исследования показали, что изложенная комплексная система наблюдения метолами ЕИЭМПЗ и РАП являются эффективной и информативной применительно к изучению строения и оценки состояния породного горного массива в зоне влияния подземных горных работ.

6. Использование настоящей системы в рамках обеспечения безопасности эксплуатации объектов различного назначения позволяет, применительно к исследуемому породному массиву, экспрессно решать следующие инженерно-геомеханические задачи:

- изучать с земной поверхности по возмущению природного электромагнитного и акустического поля характер распределения напряженного состояния массивов горных пород, вызванного как природными, так и техногенными факторами;
- оперативно осуществлять прогнозирование природных и техногенных геодинамических явлений;
- определять с земной поверхности динамику или режим необратимых деформаций в породном массиве;
- качественно и количественно оценивать уровень геотехнологической безопасности породного массива относительно объектов, попадающих в зону риска, обусловленного наличием выработанного пространства представленного отработанным подземным способом железорудными залежами.

Список использованных источников

1. Полищук А.К. Открытая повторная разработка железорудных месторождений /А.К. Полищук. – К.:Вища школа, 1978. – 192 с.

2. Ботанцев И.В. Технологические аспекты повторной разработки крутопадающих месторождений открытым способом //Сб.научн. трудов ИППЭ «Экология и природопользование». – Днепропетровск, 2008. – Выпуск 11. – С.26-30.

3. Шапарь А.Г., Ботанцев И.В., Романенко В.Н. Повторная разработка природно-богатых потерянных и разубоженных руд в Кривбассе открытым способом //Горный информационно-аналитический бюллетень.- МГТУ – М. – 2008. - №2. – С.239-244.

4. Барон Л.И. О повторной разработке рудных месторождений /Научные сообщения, вып. VII. – М.: Гостехиздат, 1961. – 30 с.

5. Кузнецов И.А., Акимов А.Г., Кузьмин В.И. и др. Сдвигание горных пород и земной поверхности на рудных месторождениях. – М: Недра, 1971. – 224с.

6. Коган И.Ш. Самоорганизация горной породы вокруг неоднородностей. Издательство ЮжКаз ЦНТИ, 1985 г.

7. Бахов Н.И. Явление электризации горных пород при механическом нагружении. Институт геофизики НАН Украины. -Киев, Украина, 2006г.

8. Довбнич М.М., Белых И.С., Кузина Г.И., Стовас Г.С. Некоторые аспекты применения метода наблюдения естественного импульсного электромагнитного поля земли (ЕИЭМПЗ) для решения геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач. ДО УкрГГРИ – г.Днепропетровск, Украина, 2006г.

9. Туманов В.В., Компанец А.И., Сухина Е.В., Савченко А.В. Исследование аномальных зон подработанного массива горных пород комплексом наземных геофизических методов. //Научные труды УкрНИИМИ НАНУ, №3, 2008 г., с. 61-79.

Рукопись поступила 03.04.2015

УДК 622.011:622.012

С.О. Попов, докт.техн.наук,професор,
ДВНЗ «Криворізький національний університет»
Э.К. Бабец, канд.техн.наук, с.н.с., член-кореспондент АГНУ, директор
Науково-дослідний гірничорудний інститут ДВНЗ «КНУ»
В.О. Колосов, докт.техн.наук,професор,
Генеральний директор асоціації «Укррудпром»
Г.І. Рудько, докт.г.-м.наук, докт.г.наук., докт.техн.наук,професор,
Голова Державної комісії України по запасах корисних копалин

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

Досліджено сучасний стан і перспективи розвитку виробничої діяльності залізорудної гірничодобувної промисловості України, її місце у гірничодобувному виробництві світу, оцінена ресурсна база і основні характеристики її функціонування.

Ключові слова: залізо, гірничодобувна промисловість, стан, місце, значення, перспективи розвитку.

Исследовано современное состояние и перспективы развития производственной деятельности железорудной горнодобывающей промышленности Украины, ее место в горнодобывающем производстве мира, оценена ресурсная база и основные характеристики ее функционирования.

Ключевые слова: железо, горнодобывающая промышленность, состояние, место, значение, перспективы развития.

Investigational the modern state and prospects of development of production activity of iron-ore mining industry of Ukraine, its place in the mining production of the world, a resource base and basic descriptions of its functioning of it is appraised.

Keywords: iron, mining industry, state, place, value, prospects of development.