УДК 550.8;622.14(023)

Р.А.ТАКРАНОВ, *д-р техн. наук, профессор, kmd@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

R.A.TAKRANOV, *Dr. in eng. sc., kmd@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Установлены факторы, влияющие на открытые горные работы, предложены основы геолого-информационной модели и типизации горно-геологической сложности разработки угольных месторождений, усовершенствованных способов и средств первичной геологической информации. Эффективным методом информационного обеспечения добычных работ является составление геолого-технологического паспорта экскаваторного забоя. Для вскрышных работ и их ключевого процесса – БВР установлены наиболее значимые геологические факторы, подлежащие изучению и использованию для составления паспорта БВР. Опытным взрыванием подтверждена целесообразность предложенных усовершенствований и использования закономерностей геологических факторов, влияющие на дробление пород.

Ключевые слова: информационное обеспечение, технология горных работ, угольные карьеры.

PERFECTION OF THE MINE SERVEY AND GEOLOGICAL MAINTENANCE OF TECHNOLOGY OF OPEN MOUNTAIN WORKS

The factors influencing for open mountain works are established, bases of geologo-information model, typification of mountain-geological complexity of working out of coal deposits of advanced ways and means primary geologiche-skoj are offered the information. An effective method of a supply with information mine works is drawing up of the geologo-technological passport dredge-face. For mine works and their key process – drilling and explosive works the most significant geologists-cheskie the factors which are subject to studying and use for drawing up of passport drilling and explosive works are established. Skilled detonation confirms expediency of the offered improvements and use of laws of the geological factors, influencing crushing of breeds.

Key words: a supply with information, technology of mountain works, coal open-cast mines.

Угледобывающая отрасль РФ ориентирована на опережающее развитие прогрессивного открытого способа разработки путем интенсификации горных работ, применения мощной техники и передовой технологии, полного извлечения запасов, комплексного использования недр и охраны природной среды. Реализация этих задач связана с гармоничностью научно-технического прогресса производственных процессов и их геологического обеспечения. Однако фактическое состояние открытой разработки угля свидетельствует о диспропорции и наличии дефицита геологической информации.

В условиях современного угольного карьера, отличающегося большим объемом и протяженностью фронта горных работ, высокой скоростью подвигания забоев и смены геологической обстановки, повышенные требования предъявляются к объему, качеству и оперативности геологической информации, к достоверности геологического прогноза, которые необходимы, например, для обеспечения высокопроизводительной и дорогостоящей техники постоянным фрон-

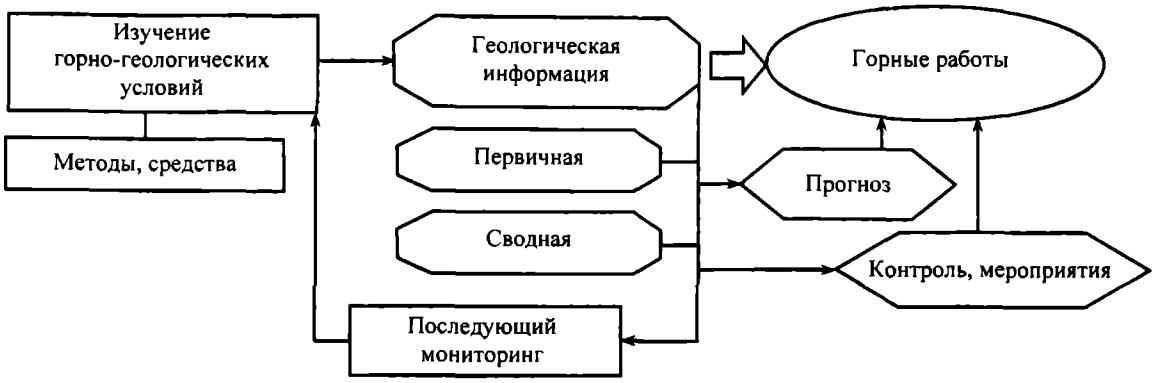


Рис.1. Схема модели геолого-информационного обеспечения горных работ

том работ и снижения ущерба от ее простоя и непродуктивной работы.

Отмеченные недостатки и противоречия обусловлены низкими научно-методическим обоснованием и технической оснащенностью геолого-маркшейдерского обеспечения, которые являются изначально обязательной и необходимой информационной основой, предпосылкой и своеобразной гарантией эффективного и безопасного ведения горных работ, стабильной добычи угля требуемого объема и качества, рациональной и комплексной эксплуатации недр и охраны природной среды.

Изложенное свидетельствует об актуальности разработки научных и нормативно-методических основ совершенствования геологического обеспечения горных работ, что является базой новой отрасли прикладной геологии – горно-промышленной геологии при открытой разработке угольных месторождений. Такие исследования во многом являются приоритетными, о чем свидетельствуют внедрение в отрасли нормативно-методических документов (инструкций, руководств) и первые публикации* Приоритетность научно-методических разработок для угольных разрезов со сложными горно-геологическими условиями разработки подчеркивается отсутствием аналогов за рубежом.

Научно-методическая основа геологического обеспечения открытой разработки угля определяется, с одной стороны, спецификой геологии месторождений с мощными угольными залежами и открытого способа их разработки; с другой, методологией получения геологической информации в открытых горных выработках, нормативно-организационной базой эффективного функционирования геологической службы в условиях промышленного освоения месторождения.

При разработке научных основ, а также для объективной оценки, продуктивного изучения и прогноза горно-геологических условий:

- установлены закономерности проявления и влияния горно-геологических факторов на горные работы;
- проведен системный анализ и структурное моделирование совокупности этих факторов;
- осуществлена горно-геологическая типизация месторождений, разрабатываемых открытым способом;
- создана геолого-информационная модель обеспечения открытых разработок угля и мониторинга горно-геологических условий.

В результате системного анализа методом экспертных оценок приоритетов получено, что из комплекса геологических факторов *наиболее значимы падение, глубина залегания*, мощность, строение, морфология угольного пласта, свойства вскрышных пород и строение массива, условия горных работ, связанных с обводненностью, устойчивостью, разрабатываемостью.

Такранов Р.А. Геологические работы на угольных карьерах. М.: Недра, 1975. 296 с.

Takranov R.A. Geological wopks on opencast colliery. Moscow: Nedra,1975. 296 p.

Влияние падения, мощности и глубины залегания пласта, а также извлекаемости запасов подтверждается корреляционными связями с главными технико-экономическими показателями (ТЭП) сложности разработки: с себестоимостью добычи и с трудоемкостью работ (производительностью труда горнорабочего и производительностью однотипных экскаваторов).

Отмеченные исследования и анализ фактического состояния геолого-информационного обеспечения позволили разработать соответствующую модель (рис.1). Она отражает методы и средства геологических работ и состав первичной и сводной геологической информации. На этой основе осуществляется геологический прогноз, контроль и сопровождение горных работ, последующий мониторинг геологических условий.

Горно-геологическая типизация и выделение соответствующих групп сложности осуществлено по результатам системного анализа значимости горно-геологических факторов, с учетом геолого-генетических закономерностей месторождений с мощными угольными залежами, с использованием фактических ТЭП их эксплуатации.

При типизации и выделении классификационных групп реализован принцип: генетически однотипные месторождения близки по геологическим условиям, которые определяют систему, технологию и экономическую эффективность разработки. На этой основе можно судить о сложности разработки также и перспективных месторождений. Наша типизация совпадает с разведочно-экономическими классификациями ВНИГРИуголь и ВИЭМСа, опубликованными позднее.

Научно-методической предпосылкой геологических работ является также обоснованная точность определения основных параметров угольных пластов, их мощности и элементов залегания. Установлено, что точность определения мощности пласта зависит от методики их замера, технологии отработки пластов и использования результатов для определения объемов или качества добытого угля. Точность определения элементов залегания компасом зависит от угла падения, что подтверждено теоретическим и экспериментальным путем. Зависимость ошибки определения азимута от угла падения аналитически описывается гиперболой с асимптотами при падении $< 5°$ и $> 15°$

Для полноценного и продуктивного функционирования геологической службы были усовершенствованы способы и средства получения первичной геологической информации, которые обычно связаны с визуальными наблюдениями и опасными замерами непосредственно на откосе. Во ВНИМИ разработаны перспективные методы фотодокументации и инструментальной геологической съемки с помощью высотомера (ВАГ, ВГМ) и универсального горного компаса (УГК). Это повышает качество и объем информации, производительность, безопасность и культуру труда, а также расширяет возможность изучения на всей площади откосов уступов. Высотомеры и компас не имеют аналогов и защищены авторскими свидетельствами.

С учетом горно-геологической сложности разработки и существующей практики унифицированы и оптимизированы способы ведения, виды и масштаб геологической документации, сеть пунктов изучения и сроки геологической съемки на угольных карьерах. Для повышения информативности результатов бурения установлено влияние на потерю (истирание) угольного керна трещиноватости, состава и метаморфизма угля. Получена величина градиента изменения зольности разных углей с потерей керна на 1 %.

Конкретные методики геологических работ при вскрышных и добычных работ обусловлены приоритетностью обеспечения высокой эффективности технологии горных работ и их назначением при отработке породных и угольных заходок или горизонтов.

При добычных работах геологическое обеспечение необходимо для стабильной добычи угля запланированного объема и качества, максимального извлечения запасов и технико-экономической эффективности добычи, особенно при селективной отработке пласта. Научным обоснованием полного, достоверного и оптимального по затратам изучения угольных залежей являются параге-

нетические закономерности состава, метаморфизма, качества и свойств углей, которые установлены нами для основных объектов открытой разработки. Количественная характеристика связей и установленные корреляции способствуют оперативной оценке соответствующих показателей и определению надежных среднепластовых значений, необходимых для технологических расчетов и подсчета весового количества запасов и добычи, а также позволяют сократить трудоемкие работы по опробованию и испытаниям.

Наиболее значимым и сложным является геологическое обеспечение управления качеством и стабильной добычи угля из залежей, сложных по строению, морфологии, залеганию и нарушенности. Основная роль при этом принадлежит исчерпывающей и оперативной геологической информации о заходке (блоке), а также установленные закономерности изменения мощности и качества. Как показала практика, такие данные о забое, о технологии отработки и объемах селекции целесообразно представлять в виде геолого-технологического паспорта экскаваторного забоя*.

Паспорт состоит из геологической зарисовки забоя с показателями качества (Q^d, A^d, W^r, γ), которые на экибастузских карьерах перенесены с ближайших проб, отбираемых по рабочим горизонтам. Количество добычи угля и объем внутренней вскрыши определяются по площади сечения пачек и прослоев в забое и представлено в табличном виде. Геологическая информация и фактические данные о параметрах забоя и добычной техники используются для разработки технологической схемы отработки забоя, обеспечивающей требуемый уровень качества. Элементы технологии отработки (участки, слои, вид стружки) отображаются в паспорте забоя.

Значительная изменчивость строения качества сложно-структурных пластов Экибастуза требует ежесуточного геолого-информационного обеспечения добычных работ. Оперативное информационное обеспечение ведется автоматизированным построением геолого-технологических паспортов по данным натурных работ в забое и по результатам опережающего опробования с использованием специальных компьютерных технологий.

Геолого-технологический паспорт забоя является руководящим и регламентирующим документом для технадзора и машиниста экскаватора для обеспечения необходимого качества добываемого угля.

Подобная практика геолого-информационного обеспечения угледобычи осуществляется при разработке сложных залежей в Ангрене, Майкубене и др.

В геологическом обеспечении вскрышных работ ключевое место занимает обеспечение буровзрыных работ – изначально предопределяющего звена эффективности всего технологического процесса горных работ.

Результаты изучения состояния взрывной подготовки горной массы в основных районах открытой угледобычи и целенаправленные исследования по геологическому обеспечению свидетельствуют, что БВР ведутся при дефиците необходимой геологической информации и использовании приблизительных и усредненных геологических данных, полученных при разведке. Проектирование текущих взрывов и параметрические расчеты часто осуществляются на основе интуитивной оценки и примерной экстраполяции геологических данных, а также использования «практических» поправок к типовым паспортам БВР. До сих пор на угольных разрезах отсутствует геологическое обеспечение буровзрывных и экскаваторных работ, которое осуществлялось бы на постоянной основе.

Полноценное геологическое обеспечение технологии БВР позволяет обеспечить требуемое качество взорванной массы и эффективную ее экскавацию. Для обеспечения высокой производительности экскаватора необходима соответствующая кусковатость

*Такранов Р.А. Геологическое обеспечение открытой разработки сложноструктурных угольных пластов на Экибастузском месторождении / Р.А.Такранов, К.А.Айткалиев // Изв. вузов. Геология и разведка. 1990. № 4. С.85-90.

Takranov R.A., Itkaliev K.A. Geological providing of open coal lajers with difficult structures on Akidastuss deposit // News of universities. Geol. and prospecting. 1990. N 4. P.85-90.

горной массы, что требует корректировки технологии БВР путем обоснованных параметрических расчетов и разработки эффективных мероприятий. Такая совокупность геологической информации, инженерных расчетов и технологических процессов с прямой и обратной связью представляет собой геолого-техногенный комплекс (систему). Структурные составляющие системы: исходные геологические данные; связующее и реализующее звено (проект технологии и паспорт БВР); результирующая составляющая качество взорванной массы и производительность при ее экскавации. Обратная связь – это требования к кусковатости горной массы и на этой основе – обеспечение высокой производительности экскаватора. Для изучения такой системы, ее структурированности, иерархии, значимости системообразующих элементов нами использовались методы информатики и системного анализа.

Теоретические положения физики разрушения горных пород взрывом, результаты лабораторного моделирования и практика БВР и наши исследования позволили определить геологические факторы и геолого-технологические характеристики, которые влияют на эффективность взрывного дробления и качество горной массы. Первоначальная характеристика геологической среды взрывного дробления на карьерах получена по материалам публикаций. На БВР влияют: геологическое строение массива, его трещиноватость, залегание пород, их физико-механические свойства и обводненность. Наибольшее влияние, по мнению 100 % авторов, оказывают трещиноватость (природная блочность) и физико-механические свойства, затем геологическое строение (60 %), обводненность (40 %), залегание пород и геологические нарушения (20 %). Такая же оценка влияния получена нами с помощью показателя значимости (суммарно равного единице): для трещиноватости 0,36, физико-механических свойств 0,35, геологического строения 0,15, обводненности 0,10 и залегания пород 0,04, что считается «мягким рейтингом» влияния геологических факторов.

Уточнение комплекса геологических факторов и показателей, а также количественная оценка их значимости были осуществлены методом экспертных оценок, который применяется в системном анализе. Экспертами были квалифицированные специалисты буровзрывного дела, геологи и технологи, работники специализированных производственных фирм, научные сотрудники НИИОГР, УкрНИИПроекта, ВНИМИ, СПГГИ (ТУ), кандидаты и доктора (всего 34 эксперта).

Экспертная оценка в баллах проводилась для 11 геологических факторов, влияющих на БВР: геологическое строение блока (переслаивание пород, положение угольного пласта и трудновзрываемого слоя); залегание пород и геологические нарушения; ориентировка основных систем и интенсивность трещин (размер природного блока); прочность, плотность и упругость пород. Математической обработкой по способу приоритетов установлено, что постоянно влияющими и высокозначимыми являются такие факторы: наличие и положение трудно взрываемых пород, интенсивность трещиноватости, прочность пород, геологическое строение блока. Значимые геологические факторы и основные технологические параметры и компоненты паспорта БВР, а также системные связи между ними представляют собой модель геолого-информационного обеспечения технологии БВР. Параметры БВР объединены в группы: расположение зарядов в блоке (параметры и форма сетки, количество рядов, глубина и наклон скважин); конструкция зарядов (диаметр, длина и строение колонки заряда, длина забойки, перебур скважины); последовательность взрывания (коммутация зарядов, замедление, внутрискважинное инициирование); количество и тип ВВ (удельный расход, количество ВВ в скважине, тип ВВ).

Влияние геологических факторов на разрушение пород взрывом и их связь с технологическими параметрами БВР в общем виде проявляется в следующем. Геологическое строение блока, особенно положение и мощность трудновзрываемых пород и угольного пласта, является первоначальной характеристикой геологической среды реа-

лизации взрывного разрушения. В зависимости от строения заходки определяется расположение зарядов, проектируется сетка скважин и вычисляется расход ВВ на соответствующих интервалах. С учетом строения массива по вертикали выбирается конструкция скважных зарядов, величина перебура и внутрискважинное инициирование.

Трещиноватость и нарушение целостности горного массива в значительной мере предопределяют эффективность взрывного дробления. Ориентировка основных систем трещин и их угловое взаимоотношение влияет на форму зоны активного дробления возле заряда. На этой основе решается задача оптимальной компоновки зон дробления путем соответствующего расположения (сетки) скважинных зарядов. Угловое соотношение основных систем трещин с откосом (свободной поверхностью) оказывает влияние на параметры скважин, учитывается при монтаже схемы инициирования и определении направления отбойки. Учет ориентировки трещиноватости способствует регулированию параметров развала взорванной массы. Расстояние между трещинами (интенсивность, частота) трещин обуславливает размер природных блоков и характеризует степень трещинной разбитости массива. Соотношением наибольшего и наименьшего расстояния между трещинами разных систем определяется трещинная анизотропия массива. Средний размер и соотношение крупных и мелких природных блоков и трещинная анизотропия используются в ряде классификаций для параметрических расчетов БВР.

Показатели степени трещиноватости и процентное содержание крупных (более 100 см) и мелких (менее 30 см) природных блоков использованы в классификации горных массивов по трещиноватости, разработанной Межведомственной комиссией по взрывному делу.

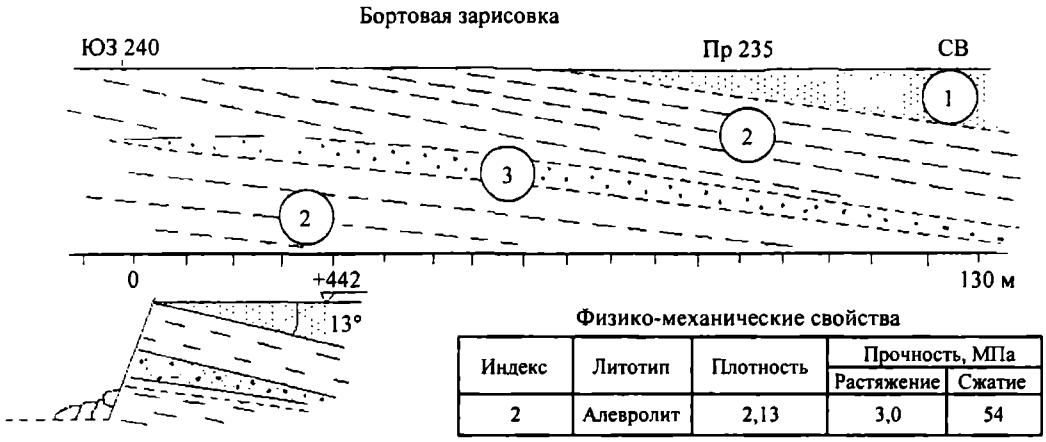
Физико-механические свойства во многом предопределяют результат реализации энергии взрывного воздействия и деформации горных пород. Для проектирования взрыва конкретного блока необходимо исходить из дифференцированных результатов определения физико-механических свойств слагаемых пород. Наибольшее практическое значение имеют породы с экстремальными свойствами. При разработке типовых паспортов целесообразно использовать среднее значение свойств пород, которые установлены по большому количеству испытаний с математической оценкой изменчивости и достоверности средних величин. Залегание пород и пластов разного состава и свойств определяет их положение в заходке и разделение ее на участки, взрываемые с разными параметрами БВР. Залегание и положение пластов в разных частях сечения и интервалов блока предопределяет глубину и направление бурения скважин, положение последнего их ряда, особенно возле наклонно и круто залегающего угольного пласта. Наибольший эффект взрыва получается при перпендикулярном положении скважинного заряда к напластованию, особенно, если последнее представлено четкой поверхностью раздела с ослабляющими примазками. Залегание ослабленных поверхностей, зон и слоев слабых пород оказывает влияние на выбор параметров эффективной коммутации зарядов.

Участки возле дизъюнктивов и в замке складок, которые отличаются повышенной трещиноватостью, взрываются при пониженном расходе ВВ и редкой сетке скважин. Обводненность пород учитывается при заполнении скважин водой.

Рассмотренный комплекс геологических факторов является исходной, изначально предопределяющей информацией, необходимой и обязательной для проектирования и осуществления эффективного взрывного дробления пород, обеспечения требуемой кусковатости горной массы.

На взрываемом блоке проводится комплекс геологических работ: геологическая документация, в том числе фотометодом с изучением строения, залегания и нарушенности пород, положения трудно взрываемого слоя и пласта угля; съемка трещиноватости на основе массовых замеров ее угловых и линейных параметров; опробование и экспрессные механические испытания пород.

Геологические данные для удобства использования целесообразно оформлять в



Физико-механические свойства

Индекс	Литотип	Плотность	Прочность, МПа	
			Растяжение	Сжатие
2	Алевролит	2,13	3,0	54

Параметры трещиноватости

Системы	Залегание, град		Частота, см
	Простирание	Падение	
	Песчаник (1)		
I	106	83	110
II	10	80	57

Решетка систем трещин и сетка взрывания скважин

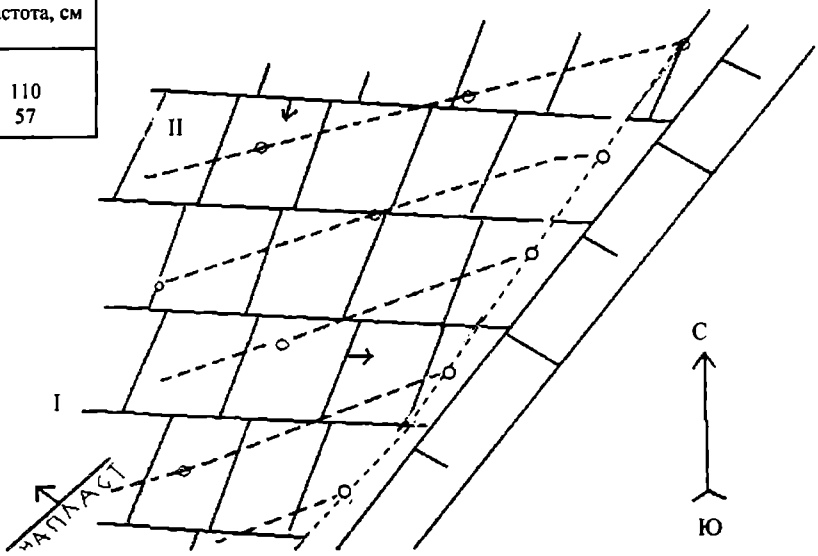


Рис.2. Геологическое приложение к паспорту БВР

виде геологического приложения к паспорту массового взрыва (рис.2).

Для разработки проекта и составления фактического паспорта БВР используется маркшейдерская информация о конкретном блоке. Маркшейдерское сопровождение буровых работ является гарантией эффективной реализации проекта БВР. Маркшейдерскими замерами и съемками результатов взрыва (навала, кусковатости) устанавливается необходимая информация для совершенствования технологии открытых горных работ.

Наряду с обеспечением текущих взрывов систематически изучаются трещиноватость и физико-механические свойства вскрышных пород. По этим данным и результатам геологического обеспечения текущих взрывов производится районирование вскрышного массива по трещиноватости (природной блочности) и прочности, а также разрабатывается соответствующая типизация пород.

В условиях горизонтального и пологого залегания угольных пластов районирование логично вести не по площади и латерали, а в вертикальном разрезе – в направлении наибольшей изменчивости. Для выделения в толще однородных интервалов с индивидуальным средним и случайным колебанием значений интенсивности трещиноватости и прочности пород целесообразно использовать математические методы по разграничению геологических параметров. Таковыми

являются методы определения критерия однородности Д.А.Родионова и др.

По результатам эффективного взрывания, которое оценивается по фактической кусковатости горной массы и технической производительности при ее экскавации, геологическая информация дополняется основным критерием взрываемости – удельным расходом ВВ. На этой основе и с учетом геолого-разведочных данных осуществляется геолого-технологическое прогнозирование и разработка типовых паспортов БВР.

Учитывая достижения компьютерных технологий, автоматизация геологического обеспечения БВР, особенно при проектировании и составлении паспортов, весьма актуальна. Появляется возможность обоснованно, по фактической геологической информации осуществлять многовариантный выбор рациональных технологических решений, обеспечивая требуемое качество взорванной массы.

Опытные взрывы по усовершенствованной технологии, учитывающей конкретные геологические условия, а также промышленное внедрение геологического обеспечения БВР на карьерах Экибастуза и Южного Кузбасса показали повышение качества горной массы и технической производительности при ее экскавации. На опытных блоках экибастузских карьеров получено снижение размера среднего куска на 25-35 % и выхода крупной (> 100 см) фракции от 42 до 16 %, при повышении выхода мелкой (< 30 см) фракции от 18 до 34 % и степени дробления от 1,17 до 1,56. Производительность вскрышных экскаваторов с ковшом 6-8 $м^3$ возросла в среднем на 22 %. На карьерах Южного Кузбасса размер среднего куска и выход негабаритов снижены, соответственно на 18-45 и 60-70 %, а степень дробления возросла на 30 %. Производительность экскавации при прямом сопоставлении данных на опытных и контрольных блоках возросла в среднем на 17-18 %.

Проведенные исследования позволяют подчеркнуть, что полноценное и оперативное геолого-информационное обеспечение технологии открытых горных работ представляет собой неиспользованный резерв повышения эффективности горного производства на угольных карьерах. Ведение геологического обеспечения на постоянной основе не требует капитальных материально-технических затрат и оперативно при внедрении.