

УДК 622.272

Н.М. Седурин, А.В. Дроздов

ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА «УДАЧНЫЙ»

Рассмотрены особенности обводненности подрабатываемых горных массивов газонасыщенными рассолами, обладающими высокой агрессивностью к различным материалам и оборудованию; высокой нефтегазонасыщенности вскрываемых толщ осадочных отложений; наличие трещинных зон и, следовательно, низкая устойчивость блоков пород на отдельных участках месторождения и др.

Ключевые слова: строительство, алмазосодержащая руда, обводненность, месторождение, горизонт.

Начавшееся строительство крупнейшего подземного алмазодобывающего рудника «Удачный» (три вертикальных ствола глубиной около 1000 м, наклонный съезд из карьера с проектируемыми в дальнейшем объемами добычи руды – 4 млн т) сопровождается возникновением комплексных сопутствующих проблем проходки выработок в экстремальных горно-геологических условиях криолитозоны Западной Якутии. К неординарным осложняющим факторам, прежде всего, относятся: неравномерная обводненность подрабатываемых горных массивов газонасыщенными рассолами, которые обладают высокой агрессивностью к различным материалам и оборудованию; высокая нефтегазонасыщенность вскрываемых толщ осадочных отложений; наличие трещинных зон и, следовательно, низкая устойчивость блоков пород на отдельных участках месторождения и др.

Наибольшие проблемы начали резко проявляться при вскрытии водо- и нефтегазонасыщенных интервалов осадочных пород в разрезе месторождения. Во всех подземных выработках начались возгорания нефте-

проявлений, повторные взрывы газозо-воздушных смесей при шпуровой отпалке горной массы, возросший выход самоходной техники из строя, некоторые аварии и инциденты, приведшие к вынужденным простоям и дополнительным материальным затратам. Существующие сложности при строительстве других подземных рудников АК «АЛРОСА» (Интернациональный, Мир, Айхал) не являются, на сегодняшний период настолько актуальными, как на трубке Удачной. Поэтому не все позиции, ранее разработанных технологий проходки, специальных мероприятий борьбы с этими явлениями, а также способы оценки газообильности подземных выработок, оказались действенными в реальных условиях вскрытия глубоких горизонтов алмазонасыщенной трубки.

Рассмотрим особенности газонасыщенности и обводненности месторождения, как наиболее осложняющих природных факторов. К основным типам газовой составляющей в горных массивах вблизи трубки Удачной относятся три разновидности нахождения: свободная, сорбированная и растворенная [Дроздов и др., 1989]. Отмечена в определенных ин-

тервалах криогенных толщ и гидратная форма существования газовых эманаций [Борисов, Дроздов, 1988]. По составу основных компонентов природные газы месторождения, в большей части разреза, являются углеводородными (УВГ) с их вариациями. При этом подмерзлотные воды региона характеризуются повсеместной газонасыщенностью, с наибольшим распространением в подземной гидросфере УВГ. Начиная со второго горизонта верхнекембрийского водоносного комплекса и ниже, распространенные рассолы насыщены данным типом газов с содержаниями до $1.0 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (среднее – 0.6). Доля метана в них составляет 75–85 %, концентрации тяжелых углеводородов возрастают до 1.9–10.0, содержание азота падает до 2–10, углекислого газа не более 2.8, водорода 0.1–1.2, гелия 0.2 %.

Суммарное содержание сорбированных и свободных газов во вмещающих осадочных породах месторождения варьирует от несколько десятков до $7000 \text{ см}^3/\text{кг}$. Причем, среднее содержание сорбированных газов, как правило, выше, чем свободных. В составе как сорбированных, так и свободных газов глубоких горизонтов основное место принадлежит углеводородам (60–85 абс. %); в подчиненных количествах представлены CO_2 и H_2 . Их содержания в газовых эманациях, как правило, не превышают первые проценты. Однако встречаются газовые ловушки в кимберлитовых телах трубки, где концентрации водорода в смеси могут превышать содержания метана. Так при вскрытии апикальной части второй водоносной зоны в трубке Удачная-Восточная произошел выброс спонтанного газа с содержанием водорода до 52 % и суточным дебитом

около 100 тыс. м^3 . При отработке этой части месторождения карьерным способом не возникло каких-либо осложнений, так как эксплоразведочными скважинами вскрываемый массив заранее был дегазирован.

В кимберлитах спонтанные выделения УВГ приурочены, в основном, к зонам эндогенной трещиноватости, на контактах разных типов (фаз внедрения магматического вещества) и газовым ловушкам (участкам с увеличенным объемом пустот выщелачивания) в рудных телах. Помимо рассмотренных общих закономерностей, величина газонасыщенности отдельных проницаемых участков массивов пород тесно связана с их тектонической нарушенностью, т.е. возможности миграции газов из глубинных интервалов прилегающего подземного пространства. Это наглядно подтверждается спонтанными газопроявлениями при вскрытии кимберлитоконтролирующих и приконтактных зон рудных тел с вмещающими породами (рис. 1). Такие газовые факела или газ-водяные выбросы высотой до 15 м наблюдались в течение нескольких месяцев и обладали циклическим характером интенсивности, завися от многих причин: атмосферного и пластового давления, подтока газа, рассолов и т.д.

Для стратиграфических толщ осадочного чехла в районе месторождения характерна тесная взаимосвязь между газо- и битумонасыщенностью пород вскрываемого разреза, что свидетельствует о генетическом родстве углеводородных газов (УВГ) и битумоидов [Шепелева и др., 1984]. Выделено три основных типа битумонасыщенности пород, каждому из которых соответствуют определенные диапазоны содержаний УВГ. По данным ранее проведенных исследова-



Рис. 1. Газовый факел на горизонте -230 м карьера Удачный (2007 г.)

ний, максимальные значения содержаний *УВГ* в осадочных толщах со сплошной битумной пропиткой пород приурочены к верхней части известняково-доломитовой толщи среднего кембрия и низам мархинской свиты верхнего кембрия, что отвечает глубинам 520–780 м. Отложения данного интервала разреза представлены оолито-сферолито-комковатыми известняками, мелкозернистыми известковистыми доломитами и доломитами с полигональной межзерновой пористостью. Исследования распределения битумоидов в породах по шлифам показало, что межзерновое поровое пространство данных осадочных образований заполнено эпигенетичным битуминоидным веществом (*БВ*), достигающее 20 % площади образца. При этом наблюдается незначительное перемещение *БВ* по мелким порам, кавернам и трещинам.

В интервалах с неравномерным насыщением эпибитуминоидами содержания *УВГ* в осадочных породах, в среднем, значительно ниже (до сотен $\text{см}^3/\text{кг}$), но встречаются зоны с

ураганными концентрациями горючих газов. Для таких интервалов или участков разреза характерно пятнистое, межпластовое, с преобладанием трещинного насыщения *БВ* и, следовательно, распределений горючих газов. Эти образования, в основном, находятся в средней части мархинской свиты, нижней части известняково-доломитовой толщи. Для толщ пород, где отсутствуют повсеместные макровключения битумоидов, характерен достаточно широкий разброс содержаний *УВГ*, хотя в целом абсолютные значения не-

высоки (десятки $\text{см}^3/\text{кг}$). Этой категории, в большей мере, отвечают интервалы удачинской свиты средне-нижнего кембрия.

Вскрытие подземными горными выработками (наклонным съездом с гор. -170 м, вентиляционно-вспомогательным [ВВС] и скиповым [СС] стволами) нефтегазонасыщенного интервала, соответствующего среднекембрийскому водоносному комплексу, привело к реальному замедлению темпов строительства рудника и дополнительным материальным затратам. Началась фиксация повторных взрывов воздушно-газовой смеси в забоях выработок, частичное возгорание нефтепроявлений после проведения взрывной шпуровой отбойки породы. Непрогнозируемые взрывы сопровождаются повреждениями оснастки и материалов подземных (воздухоподающих рукавов, трубопроводов, эл. кабелей и т.п.) и наземных (обшивка копров) коммуникаций (рис. 2), что осложняет ведение горных работ и наряду с другими факторами приводит к срыву плановых сроков



Рис. 2. Разрушение обшивки копра на стволе ВВС рудника «Удачный»

строительства рудника. Рассмотрим основные причины возникновения данных негативных ситуаций.

Шпуровое взрывание в забоях подземных выработок для дробления горной массы априори сопряжено с выделением значительных объемов взрывоопасной смеси, за счет перехода большей части природных сорбированных газов из породы в свободные. При этом за счет неполного сгорания взрывчатого вещества или при возгорании естественных нефтепроявлений создается источник для возможного последующего воспламенения горючих газов. В случае образования смеси горючих газовых компонентов с критическими концентрациями в воздушном пространстве выработки происходит повторное взрывание, обладающее значительной разрушительной силой, что и отмечается через несколько секунд (до первого десятка) периодически в разных забоях строящегося рудника. Допол-

нительным источником повышения концентрации взрывоопасной смеси является дегазация вскрытого породного массива и дренажных рассолов, непрерывно поступающих в подземные выработки.

Раскроем суть и свойства поровых флюидов (вода, нефть, газ), находящихся в породах-неколлекторах или слабопроницаемых толщах осадочного чехла. В процессе образования отложений и в постседиментационных условиях часть *ОВ* оказалась захвачена в межкристаллической (межзерновой) решетке и отрезана от прилегающих минеральных частей породы. Постседиментационные и палеотектонические напряжения в осадочном чехле приводили к формированию тектонической нарушенности толщ карбонатных пород, по которой происходила миграция флюидов с образованием каверн выщелачивания. Проявившийся в районе многофазный кимберлитовый и трапповый магматизм способствовал развитию каверн при движении сопутствующих гидротермальных растворов. Последующее уплотнение отложений за счет гео-и гидростатических нагрузок, выпадение карбоната из растворов привело к консервации и концентрированию напряжений внутри проницаемой системы, приобретению палеогидродинамических свойств поровых флюидов. В низкопроницаемых разностях пород, объем которых доминирует в разрезе осадочных толщ, поры и пустоты гидравлически плохо связаны между собой. При отсутствии прямой связи между составными элементами емкости породных блоков, горючие флюиды оказались консервированы внутри слабопроницаемых отложений. Опережающее бурение дегазационных скважин и даже шпуров не позволяет, в большей ме-

ре, разгрузить вскрываемый массив от существующих в нем поровых флюидов. Поэтому после шпурового взрывания высвобождается большой объем законсервированных горючих газов, приводящий при критической концентрации к повторному взрыву в выработках.

Важным фактором создания взрывоопасной ситуации для природных газов является концентрация в них водорода. Этот взрывоопасный элемент может поступать в подземные выработки, находящиеся в осадочных толщах на удалении от кимберлитовых трубок по проницаемым нарушениям в большей части только в двух фазах – свободной и растворенной. Даже первые единицы процентов этого газового компонента совместно с углеводородными эманациями существенно увеличивают вероятность взрывания образованной смеси. В настоящее время водород не является главной причиной повторных взрывов в забоях горных выработок. Однако при подходе к высокопроницаемой кимберлитоконтролирующей зоне северо-восточного простирания, к кольцевой тектонической нарушенности приконтактных зон рудных тел или вблизи кимберлитовых жил концентрации этого взрывоопасного элемента возрастут, что несколько ухудшит ситуацию с газовой обстановкой по строящемуся руднику. Основными источниками поступления водорода в забои будут подземные флюиды, мигрирующие из кимберлитовых трубок и нижних горизонтов подземной гидросферы по тектоническим нарушениям. Поэтому в комплекс профилактических мероприятий по улучшению газовой обстановки на месторождении должно входить: бурение дегазационных скважин, опережающая откачка из опре-

деленных проницаемых зон с перехватом и отводом газовых потоков, а также дегазация мигрирующих из глубоких горизонтов подземных рассолов.

Для оценки интенсивности газования забоев за счет дегазации из подземных рассолов был проведен эксперимент с замерами изменения содержания компонентов углеводородных эманаций в воздушной смеси наклонного съезда без присутствия водорода. Пробы отбирались на участке, где горная выработка пересекала слабоводоносный интервал, который находится на значительном удалении от кимберлитовой трубки и высокопроницаемых зон, а водоприток в забой составлял около $2 \text{ м}^3/\text{ч}$. Отбор воздушных проб выполнялся равномерно через 10 минут при отключенной вентиляции. Данные опробования показали, что при незначительном притоке рассолов превышение нормируемых показателей (по сумме УВГ-газов) в воздушной смеси наступает на забое выработки только через 30 минут после выключения проветривания (рис. 3). Следовательно, повторные взрывы газовой смеси в вертикальных стволах или наклонном съезде, имея опережающие разведочно-дегазационные скважины, могли происходить, в основном, за счет выделения сорбированных газов из взорванной горной массы.

Проблема борьбы с выделениями горючих газов разных форм нахождения при строительстве рудника «Удачный» в определенной мере решается имеющимися в горной промышленности разнообразными методами и средствами. Основными из них являются: эффективное проветривание горных выработок (в.ч. при взрывных работах), перехват и отвод газонасыщенных рассолов и углеводородных флюидов, контроль состояния

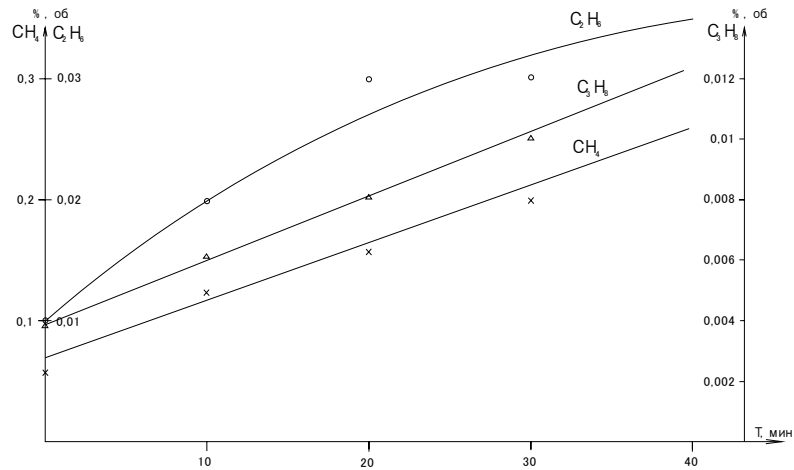


Рис. 3. Динамика увеличения концентрации УВГ за счет дегазации дренажных рассолов при остановке проветривания в забое наклонного съезда

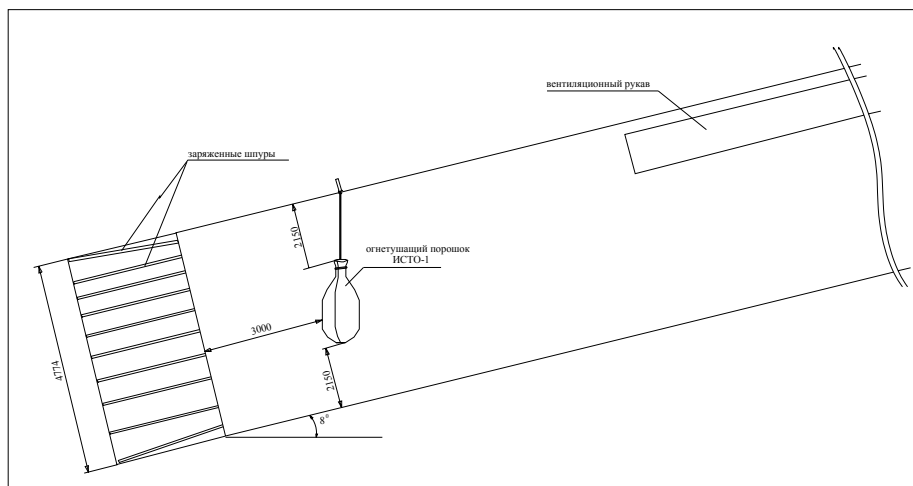


Рис. 4. Схема размещения огнетушащего порошка ИСТО-1 в забое наклонного съезда

атмосферы в забоях, применение различных средств огнетушения (порошковые огнегасящие вещества ПО-1, ПО-2, Прогресс; пенообразователи, углекислотные гасители и др.). К примеру, в процессе проходки наклонного съезда производится тушение открытого огня с помощью порошка ИСТО-1, который подвешивается в 2–4 мешках на расстоянии трех

метров от забоя по центру выработки (рис. 4).

При производстве взрывных работ на вертикальных стволах ВВС и СС применяется комплекс технических мероприятий, включающий подтопление забоя, пенную защиту, огнетушащий порошок. В тоже время, даже соблюдение всех разработанных мероприятий не всегда позволяет ис-

ключить повторное взрывание газо-воздушных смесей. Поэтому на определенных интервалах проходки стволов принимается решение об уменьшении глубины бурения шпуров и, следовательно, уменьшения единовременного выделения больших объемов горючих газов.

При осушении месторождения от поступающих газонасыщенных рассолов происходит снятие давления в подземной гидросфере с дегазацией подземного пространства, формированием вокруг горной выработки депрессионной воронки, форма которой зависит от проницаемости прилегающего массива пород и региональных структурообразующих разрывных дислокаций в районе. Для карьера трубки Удачной основной подток газонасыщенных флюидов связан с кимберлитоконтролирующими разломами северо-восточного простирания с подчиненным влиянием северо-западных нарушений. Большая часть интенсивных газовых выделений и выбросов в подземных горных выработках будет приурочена к этим проницаемым зонам наиболее древних тектонических структур, обладающих региональным распространением. Для перехвата и уменьшения мигрирующих газонасыщенных флюидов необходимо производить возмущение всей газогидродинамической системы с выделения газовых эманаций, как наиболее подвижной фазы. Поэтому опережающая откачка рассолов из скважин, за пределами горных выработок с северо-восточного и юго-западного флангов, приведет к предварительной дегазации прилегающего горного пространства и перехвату газонасыщенных флюидов из смежных областей в пределах депрессионной воронки. Предлагаемая схема снижения газовых потоков с предварительной дегазацией прилегающих блоков

пород вблизи трубки Удачной вполне приемлемое решение.

Высокая минерализация, состав, агрессивность природных рассолов, их объемы создают проблемы не только для ведения подземных горных работ, влияя на производительность горнотранспортного оборудования и процесс обогащения, но и для последующего удаления дренажных вод. Подземные воды, с которыми наиболее широко и в больших масштабах, в настоящее время, соприкоснулись при строительстве подземного рудника «Удачный», представляют собой высококонцентрированные природные растворы солей (крепкие рассолы), относящиеся по компонентному составу к кальциевому типу. Этот тип рассолов, с концентрацией солей свыше 400 г/дм³, связан с метаморфизацией минерализованных растворов древних солеродных бассейнов [Дроздов, 2004]. Если рассматривать эти подземные воды с разных позиций, то можно обнаружить их резко противоположные качества. Являясь «жидкой рудой» и обладая рядом бальнеологических свойств, эти растворы имеют отрицательные показатели и свойства, сказывающиеся на эффективности строительства подземных сооружений, используемое электротехническое оборудование, применяемые материалы, а также негативное воздействие на работающий персонал.

Коррозионная агрессивность таких высококонцентрированных растворов на различные материалы, оборудование (особенно – электротехническое) очень высока и обусловлена, прежде всего, кислой реакцией среды ($pH=1-4$), газонасыщенностью и хлоридным кальциевым составом подземных флюидов. По агрессивному действию на ме-

таллы хлорид кальция, составляющий значительную часть состава метаморфизованных рассолов, стоит на первом месте, а высокая электропроводность рассолов обусловлена тем, что они являются растворами электролитов, зависящих от количества растворенных солей. Примеров на тему агрессивности кальциевых рассолов можно привести большое количество. Это касается насосного, горношахтного оборудования, карьерного автомобильного транспорта, оборудования обогатительных фабрик и т.д.

Согласно критериям агрессивности вод по отношению к бетону, распространенные рассолы агрессивны к бетонам любых марок по величине pH и содержанию магния, а в некоторых случаях и содержанию сульфатов. Содержащийся в цементах основной вяжущий компонент (оксид кальция) под воздействием рассолов активно разрушает цементный камень, который резко теряет свои прочностные свойства. Этот показатель устойчивости и долговечности считается основным при выборе крепежного материала стенок подземных горных выработок. Данные негативного воздействия необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений рудника на месторождении.

Общая гидрогеологическая и газовая ситуации в районе трубки Удачная и, в частности, на участках строительства стволов рудника и наклонного съезда для вскрытия подкарьерных запасов с использованием выработанного пространства карьера, в настоящее время существенным образом определяются дренированием карьером водоносных комплексов, которые гидродинамически связаны между собой по разрывным на-

рушениям. Реально существующее вскрытие подземными выработками высокопроницаемых и газонасыщенных участков (особенно, в дальнейшем, при подходе к приконтактным трещиноватым зонам рудных тел) и резкое увеличение водопритоков в рабочее пространство будет значительно препятствовать горнопроходческим работам.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы. Без проведения серьезных научных исследований, касающихся борьбы с газонефтепроявлениями и водопритоками, трудно сейчас, и будет впоследствии, производить строительство и эксплуатацию крупнейшего алмазного рудника. На сегодняшний день не отработана эффективная технология дегазации породных блоков от сорбированных газов, сбора и удаления нефтепродуктов на бортах подземных выработок, не испытаны антикоррозийные добавки или покрытия от воздействия рассолов на отдельные материалы и оборудование. А без проведения планомерных поэтапных мероприятий, включающих локальное опережающее водопонижение и осушение от агрессивных рассолов разрабатываемых массивов горных пород, невозможно уложиться в график подготовительных, вспомогательных и горно-капитальных работ по своевременному строительству подземных сооружений на месторождении. В то же время перехват мигрирующих водогазонасыщенных флюидов с ниже лежащих и прилегающих областей подземной гидросферы, может быть реализован путем создания локальных депрессий при опережающих откачках, которые будут способствовать снижению газонасыщенности рабочего пространства в забоях подземных выработок (включая и вертикальные стволы) рудника Удачный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов В.Н., Дроздов А.В. О признаках газовых гидратов в криолитозоне на севере Западной Якутии // Тез. докл. XII Всесоюз. совещ. по подземным водам Востока СССР. – Иркутск – Южно-Сахалинск, 1988. – С. 124 – 125.
2. Дроздов А.В., Егоров К.Н., Готовцев С.П., Климовский И.В. Особенности гидрогеологического строения и гидрохимической зональности кимберлитовой трубки «Удачная» // Комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования. – Якутск: ИМ СО АН СССР. – 1989. – С. 145 – 155.
3. Дроздов А.В. Техногенные процессы в криолитозоне при разработке месторождений алмазов на севере Западной Якутии // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Т. 1. Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2004. – С. 255 – 259.
4. Дроздов А.В. К вопросу о формировании криогидрогеологических структур Сибирской платформы // Наука и образование. – 2004. – № 4. – С. 62 – 69. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Седурин Н.М., Дроздов А.В. — МСШСТ АК «АЛРОСА», info@alrosa.ru



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ МЕР ПО СНИЖЕНИЮ КРИТИЧЕСКИХ РИСКОВ ТРАВМИРОВАНИЯ В ОСНОВНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ОАО «ВЫСОКОГОРСКИЙ ГОК»

Лагутин К.И., Кузнецов А.В., Рябов Н.И., Радков С.А., Солонков С.В., Напольских С.А., Сухарев А.Г., Макаров А.М., Кравчук И.Л., Галкин А.В. – Евраз-Холдинг, Высокогорский ГОК, Качканарский ГОК, НТЦ НИИОГР.

Вып. 10 (серия «Библиотека горного инженера-руководителя»). – Отдельная статья Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – 2011. – № 1. – 48 с. – М.: издательство «Горная книга».

Разработаны первоочередные меры по снижению критических рисков травмирования в основных подразделениях ОАО «Высокогорский ГОК».

Для всех заинтересованных в повышении безопасности своей производственной деятельности руководителей и специалистов предприятий, региональных производственных объединений, управляющих компаний.

Lagutin K.I., Kuznetsov A.V., Ryabov N.I., Radkov S.A., Solonkov S.V., Napolskih S.A., Suharev A.G., Makarov A.M., Kravchuk I.L., Galkin A.V. THE DEVELOPMENT AND REALIZATION OF THE HIGH PRIORITY MEASURES ON THE DECREASING OF THE CRITICAL RISKS OF INJURIES AT THE MAIN DEPARTMENTS OF JSC "VISOKOGORSKIY MINING AND CONCENTRATION COMPLEX"

The priority measures designed to reduce critical risk of injuries in the major subdivisions of "Visokogorskiy Mining and Concentration Complex".

The article may be useful for those who are interested in improving the safety of its industrial activities of managers and specialists, regional industrial associations and management companies.