

О ВОЗМОЖНЫХ ПРОЯВЛЕНИЯХ ГОРНЫХ УДАРОВ ПРИ СООРУЖЕНИИ ПИЛ И МЕТОДАХ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

И. М. Игин, А. В. Минин, Е. В. Кузьмин, М. Ю. Бамборин, С. Л. Спешилов, Ю. В. Трофимова

ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», Москва

Статья поступила в редакцию 6 октября 2022 г.

Выбранный для строительства подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) Енисейский участок Нижнеканского массива может иметь на больших глубинах участки прочных скальных пород с высокими внутренними напряжениями. В работе приведено качественное описание механизма процесса горного удара, необходимые и достаточные условия для его возникновения и условия его прекращения. Рассмотрены некоторые инженерные методы борьбы с горными ударами, использование которых возможно в условиях особых требований при сооружении ПИЛ.

Ключевые слова: прочность, одноосное сжатие, горный удар, неравнокомпонентное сжатие, породный выброс, динамические проявления горного давления, необходимое и достаточное условие, изменение прочностных свойств, несорбируемые радионуклиды, разрушение горных пород, разгрузка массива, радиоактивные отходы.

Енисейский участок Нижнеканского массива выбран для строительства подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) с целью проведения комплексных исследований и обоснования возможности последующего использования в качестве пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО). Большое число организаций проделали огромную работу в этом направлении [1]–[5]. Енисейский участок сложен мигматизированными гнейсами и кристаллическими сланцами атамановской серии канского метаморфического комплекса архея, двумя комплексами секущих даек основного состава позднеархейского и раннепротерозойского возрастов, гранитоидными образованиями раннепротерозойского таракского комплекса и современными элювиально-делювиальными отложениями [1], [2].

Все скальные породы характеризуются в основном как очень плотные, прочные и очень прочные, довольно крепкие и крепкие, с высокими значениями деформационных характеристик — т. е. склонные к накоплению потенциальной энергии. Интрузивные породы имеют более высокие значения плотности и прочности, чем метаморфические [1], [2].

По результатам скважинных геофизических измерений напряженно-деформированного состояния массива получено: имеющиеся напряжения ниже предела прочности на одноосное сжатие, что указывает на отсутствие опасности горных ударов. Однако блочная структура и состав горных пород в районе ПИЛ весьма неоднородны. Шовные части разломов и контактные зоны между различными типами горных пород могут являться концентраторами напряжений,

потенциальными участками возможных проявлений горных ударов; об этом свидетельствует статистика [8].

Горные работы по строительству объектов ПИЛ будут вестись в скальных породах на глубинах 450—525 м, поэтому необходимо своевременно, на начальных этапах, оценить возможность опасных динамических проявлений горного давления.

Эта проблема является одной из наиболее сложных при ведении подземных горных работ. В результате горных ударов надолго парализуется работа предприятий, мощные удары сопровождаются разрушением больших участков шахтных полей. В нашей стране данной проблеме посвящены исследования профессоров С. Г. Авершина, И. М. Петухова, А. М. Линькова, Б. Ш. Винокура, многих других авторов [6]—[9].

В настоящее время накоплено большое количество статистических данных о динамических проявлениях горного давления, имеются детальные описания многих произошедших горных ударов на подземных рудниках Талнахского рудного района Норильского ГМК, шахтах Североуральского бокситового рудника (ПО «СУБР»), Шерегешском и Таштагольском железорудных месторождениях, рудниках Кольского полуострова, Жезказгана, на глубоких рудниках Вестерн Диип Левел в ЮАР, Коллар в Индии, Эль-Тениенте в Чили и многих других предприятиях, столкнувшихся с этим сложным природным явлением [10], [11]. На крупных отечественных и зарубежных рудниках, ведущих подземные работы на больших глубинах, имеются специальные службы, организован мониторинг динамических проявлений горного давления для оценки возможного поведения породного массива в зонах ведения работ.

Горный удар — это процесс самопроизвольного разрушения массива горных пород, протекающий со скоростью механической волны (3—7 км/с), сопровождающийся взрывным сотрясением и разрушением массива, выделением большой сейсмической энергии и охватывающий участки шахтных полей от нескольких до сотен метров.

Профессором И. М. Петуховым горный удар представлен как «хрупкое разрушение предельно напряженной части пород, прилегающих к горной выработке, возникающее в условиях, когда скорость изменения напряженного состояния в этой части превышает предельную скорость релаксации напряжений в ней» [8].

Ниже рассматривается одна из моделей горного удара, развивающегося в скальных породах, приводится качественное описание механизма

протекания процессов, происходящих при этом, причины его возникновения.

К горному удару по механизму проявления, но в малых масштабах, относятся также породные взрывы (выбросы, микроудары) и стрельяние горных пород.

Исходное положение заключается в том, что в результате внешних воздействий напряженно-деформированное состояние нетронутого массива изменяется; вследствие этого изменяются прочностные характеристики породного массива.

Необходимое условие возникновения горного удара: породный массив находится в состоянии трехосного (объемного) неравнокомпонентного сжатия, причем хотя бы одна из действующих сил превосходит предел прочности пород на одно-, двухосное сжатие [11] (рис. 1а).

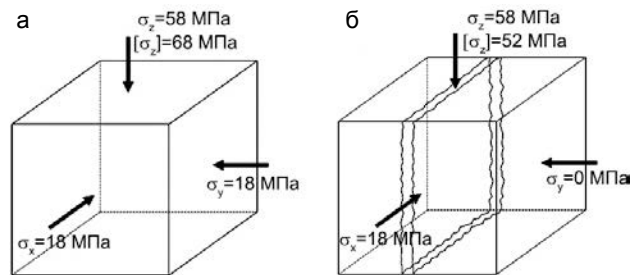


Рис. 1. Пример. Необходимое (а) и достаточное (б) условия для возникновения горного удара

В таком естественном состоянии находятся крепкие и средней крепости горные породы на больших глубинах, а также расположенные вблизи земной поверхности геологические платформы, сложенные крепкими плитами. Известно несколько таких регионов: в нашей стране это районы Кольского полуострова, Северный Урал, юг Восточной Сибири, Горная Шория, Южная Якутия, Северный Кавказ [12].

Достаточное условие для возникновения горного удара: хотя бы одна из действующих сжимающих сил внезапно исчезает (например, возникновение трещин в массиве при взрывных работах), а из оставшихся двух хотя бы одна является силой, превосходящей предел прочности пород на одно-, двухосное сжатие [11] (рис. 1б). Породный массив при этом теряет свои прочностные свойства, переходя в состояние одно-, двухосного сжатия; далее происходит его раздавливание. Снижение прочности (сопротивляемости действующим силам) достигает при этом 40% [15]. Скорость раздавливания равна скорости механической волны, в крепких породах она составляет от 3,0 до 6,0 км/с, в монолитных

базальтах — 7,0 км/с; процесс происходит в течение долей секунды, подобно взрыву.

При переходе от состояния объемного сжатия в одноосное сжатие породы у свободных поверхностей трещины раздавливаются с образованием новых свободных поверхностей (рис. 2). При этом от образовавшейся поверхности отделяются с большой скоростью и энергией частицы чешуйчатой формы с характерными рваными краями. Процесс последовательного разрушения развивается от поверхности трещины вглубь массива.

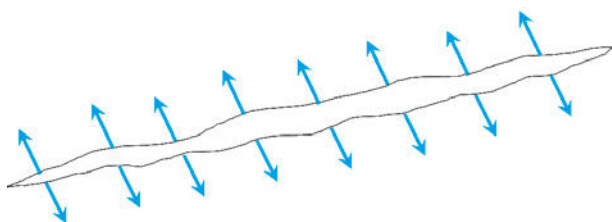


Рис. 2. Направления развития разрушения при горном ударе от поверхности стенок образовавшейся трещины

Опыт геофизических исследований по изучению механизма проявления и энергии горных ударов показывает, что параметры регистрируемых динамических явлений меняются в весьма широких пределах. Так, например, их сейсмическая энергия, зарегистрированная в пределах от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{12}$ Дж, эквивалентна детонированию взрывчатого вещества (ВВ) от десятков килограммов до нескольких десятков тонн, максимум частотного спектра колеблется от $5 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^3$ Гц, длительность меняется от $1 \cdot 10^{-3}$ до 20 с, максимальные линейные размеры очага лежат в пределах от $3 \cdot 10^{-3}$ до $3 \cdot 10^2$ м. Крупные региональные горные удары, сейсмическая энергия которых составляет 10^6 Дж и более, а интенсивность достигает 4–5 баллов, по своим характеристикам — спектральной плотности, наличию продольных и поперечных волн, длительности, переносимой максимальной энергии и другим параметрам — близки к слабым землетрясениям. При горных ударах максимальная скорость разлета частиц породы достигает нескольких десятков метров в секунду, процесс развивается как бурное динамическое явление [8].

Причиной возникновения удароопасных условий могут служить подземные горные работы, ведущиеся на одном или нескольких горизонтах, в результате чего на некоторые охранные, панельные или опорные целики внезапно добавляется нагрузка, вызванная отбойкой руды и перераспределением горного давления. На шахтах ПО «СУБР» при ведении горных работ на глубине 700 м происходили горные удары на глубине 370 м [8].

Динамические проявления горного давления в крепких породах более масштабны по разрушению, сопровождаются мощным сотрясательным эффектом, выделением большой сейсмической энергии. Горным ударом на Таштагольском руднике было охвачено 3 горизонта — 180 м по вертикали. Объем повреждений составил сотни кубических метров, десятки метров разрушенных выработок.

Условия прекращения процесса горного удара:

1. Горный удар прекращается при исчезновении необходимого условия для его возникновения, т. е. когда разрушение достигает участка менее напряженных, менее прочных, деформирующихся, податливых пород либо пород, находящихся в других условиях сжатия [11].

2. В породах средней крепости ($f=6-10$ по классификации проф. М. М. Протождьяконова), при возникновении горного удара вблизи выработки, разрушение породы происходит с выдавливанием на ее поверхность. Процесс продолжается до тех пор, пока она не примет сферическую форму, после чего развитие горного удара прекращается. Исчезнувшая сила компенсируется сферической формой, взаимным боковым подпором соседних блоков-отдельностей породы в контуре свода естественного равновесия. Выдавливание пород, находящихся на контакте с выработкой, происходит без переизмельчения; по этой причине последствия горного удара представлены в виде крупно- и среднеблочно разрушенных пород, засыпанных сверху частицами плоской чешуйчатой формы (признак горного удара) (рис. 3). Места выброса породы в областях происшедших горных ударов, как правило, представляли собой полости сферической формы объемом до 10 м^3 [8].

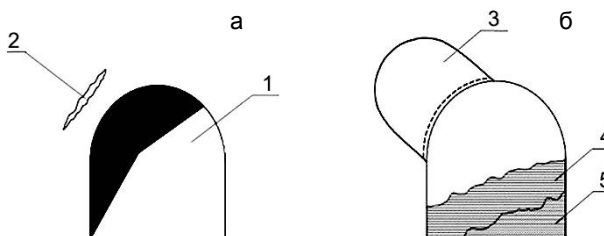


Рис. 3. Горный удар в породах средней крепости ($f=6-10$): а) зарождение «очага» — необходимых и достаточных условий для возникновения горного удара, б) прекращение горного удара вследствие формирования полости устойчивой сферической формы;

1 — горизонтальная выработка, 2 — возникшая при горных работах трещина, «очаг», 3 — полость выброса породной массы при горном ударе, 4 — частицы чешуйчатой формы, находящиеся сверху навала пород, 5 — куски выдавленных пород из кровли и стен выработки

3. Горный удар прекращается, если он развивался на большой глубине, без наличия выработок, полостей. Процесс деструкции стенок трещины продолжается до тех пор, пока ее пространство не будет плотно заполнено частицами разрушенной породы, которые скомпенсируют своим подпором исчезнувшую сжимающую силу (рис. 4). Взрывоподобный процесс также вызывает подвижку массива. Региональные горно-тектонические удары происходят на глубинах до 2–5 км, значительно превосходящих глубину разработки.

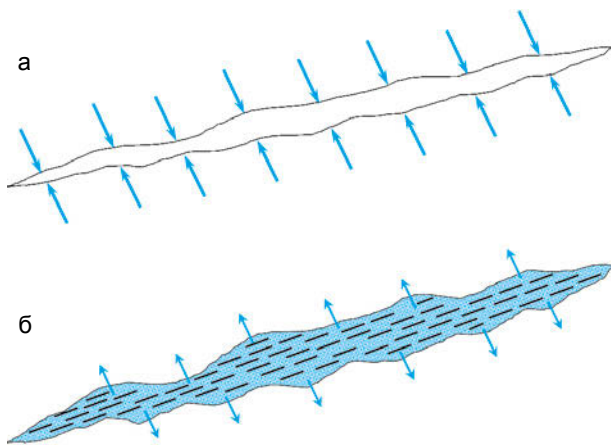


Рис. 4. Фазы развития и прекращения горного удара: а) образование трещины и начало горного удара, б) окончание процесса горного удара. Стрелками показаны действующие силы

Горные породы Енисейского участка Нижнеканского массива на больших глубинах характеризуются высокой прочностью, склонностью к накоплению потенциальной энергии. Такие участки, как правило, могут относиться к удароопасным.

Ведущими научными коллективами накоплен опыт по предотвращению горных ударов, совершенствуется комплекс применяемых мер, повышается их технологичность [6]–[11]. Распространенными методами снижения их опасности являются методы разгрузки, при которых мощными взрывами либо системой пробуриваемых шпуров или скважин в массиве создается податливость, возможность подвижки для снятия высоких напряжений.

Методы снятия удароопасности, снижения напряжений в общешахтном, региональном масштабе в данном случае неприемлемы в силу того, что главным требованием к участку размещения ПИЛ является отсутствие трещин как потенциальных проводников распространения несорбируемых и малосорбируемых радионуклидов ПГЗРО за геологически значимые периоды времени.

Одним из возможных методов снятия удароопасности горных пород и сохранения изолирующих свойств массива является локальная разгрузка в ограниченной зоне вокруг выработок — наведение трещиноватости с помощью шпуровых зарядов, «прострелов» прилегающих пород патронами ВВ на глубине 4–6 м и более. В созданную трещиноватую зону инъецируются твердеющие составы (через те же шпур) под давлением до 15–20 МПа. С учетом свойства жидкостей распространяться и создавать одинаковое давление по всем направлениям, в период нагнетания составы оказывают сжимающее воздействие на блоки-отдельности массива по направлениям, нормальным к поверхностям имеющих трещин.

Методом инъекционного упрочнения трещиноватый массив приводится в состояние равнокомпонентного объемного сжатия, при этом образуется «оболочка» из упрочненных пород вокруг горизонтальной выработки (рис. 5а).

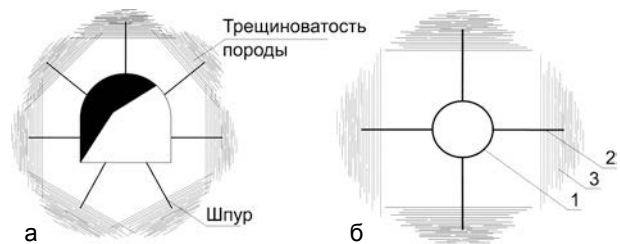


Рис. 5. Создание локальной «оболочки» равнокомпонентного сжатия:

- а) вокруг горизонтальной выработки из предварительно разупрочненных пород с последующим их инъекционным упрочнением; б) вокруг вертикальной выработки: 1 — ствол, 2 — скважина, 3 — зона наведенной трещиноватости

Разгрузочные веера шпуров с наведением локальной трещиноватости и последующим упрочнением массива следует создавать на удароопасных участках через каждые 6–10 м по длине выработки. Приемлемыми составами для нагнетания в трещины являются микроцементы, геоцементы, обладающие эффективными изолирующими свойствами, предотвращающими распространение несорбируемых радионуклидов, и проникающими под давлением в мельчайшие трещины [14]. Данные материалы характеризуются низкой первоначальной вязкостью, высокой собственной прочностью и адгезией с породами при отверждении. При использовании упрочняющего состава на основе цемента М700 (ГОСТ 26633-91), имеющего прочность на сжатие 70 МПа, можно рассчитывать на

срок долговременной изоляции и сохранности материала до 300 лет и более [16].

Аналогично приведенному методу возможно создание локальных защитных «оболочек» вокруг вертикальных стволов ПИЛ (рис. 5б). При этом расположение шпуров и скважин для создания «оболочки» принимается в соответствии с расположением выработок участков захоронения высокоактивных отходов. Основной массив горных пород сохраняет при этом свои первоначальные свойства, наведенная трещиноватость и упрочнение пород вокруг выработок и камер создают локальное перераспределение сил горного давления на необходимых участках.

Рассматриваемый метод снижения удароопасности массива может использоваться не по всему шахтному полю, а только в тех участках ПИЛ, где по геофизическим данным породы находятся в состоянии высоких напряжений и действующие силы превосходят предел прочности на одноосное сжатие.

Для установления параметров технологии снижения удароопасности массива горных пород необходимо проведение опытно-промышленных испытаний. На малых глубинах, в выработках, пройденных в районе ПИЛ (ФГУП «ГХК», ЗАТО г. Железногорск), горные удары и породные выбросы не отмечались. Горное давление проявлялось на сопряжениях выработок, породы раздавливались в результате гидростатического давления.

Наиболее приемлемым местом проведения опытно-промышленных испытаний может быть Приаргунское производственное горно-химическое объединение (ПАО «ППГХО», г. Краснокаменск), имеющее мощную производственную и лабораторную базу (ЦНИЛ), подготовленный коллектив и необходимое оборудование. Участки проведения испытаний могут быть подобраны на подземных урановых рудниках ПАО «ППГХО». На месторождении «Антей» добыча урановых руд ведется на глубинах до 700 м и более, в условиях проявления горных ударов [17].

Заключение

Участок «Енисейский» Нижнеканского массива выбран под строительство ПИЛ с последующим сооружением пункта глубинного захоронения высокоактивных и долгоживущих среднеактивных отходов при положительном результате оценки долговременной безопасности. Имеющиеся напряжения в массиве ниже предела прочности на одноосное сжатие, что указывает на отсутствие опасности горных ударов. Однако структура и состав горных пород в

районе ПИЛ весьма неоднородны, контактные зоны между их различными типами являются концентраторами напряжений, потенциальными участками возможных проявлений горных ударов. На глубинах 450–525 м участок характеризуется наличием прочных горных пород, склонных к накоплению потенциальной энергии. В работе приведена одна из механических моделей поведения горных пород в удароопасных условиях. Рассмотрены необходимые и достаточные условия для возникновения горного удара, а также его прекращения. Приведены примеры их типичных проявлений. Методы масштабной разгрузки массива путем наведения трещиноватости мощными взрывами или создания податливости для данного случая являются неприемлемыми. Рассмотрен один из возможных способов снижения удароопасности породного массива вокруг горных выработок путем локальной разгрузки и последующего инъекционного упрочнения, с переводом массива в состояние равнокомпонентного сжатия, и создания защитной «оболочки». При этом расположение шпуров и скважин принимается в соответствии с расположением выработок участков захоронения РАО. Для своевременного установления параметров технологии снижения удароопасности породного массива необходимо провести опытно-промышленные испытания. Наиболее приемлемым местом для их проведения может быть Приаргунское производственное горно-химическое объединение (ПАО «ППГХО»), имеющее мощную производственную и лабораторную базу.

Литература

1. АО «Красноярскгеология». Проект на выполнение работ по объекту: Разведка участка захоронения радиоактивных отходов (Енисейский участок Нижне-Канского массива). Лицензия КРР 16117 ЗД, Государственный контракт от 23.09.2019 № Д.4ш.244.20.19.1061, Договор от 05.11.2019 № 1061/3/2019.
2. Караулов В. А., Заболоцкий К. А. и др. Геологическое доизучение (оценочная стадия) горного массива участка «Енисейский» для обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450–525 метров (+5 –70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив). ОАО «Красноярскгеология», Красноярск, 2015.
3. Крюков О. В. Стратегия создания пункта глубинного захоронения РАО // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 114–120.

4. Абрамов А. А., Большов Л. А., Дорофеев А. Н., Игин И. М., Казаков К. С., Красильников В. Я., Линге И. И., Трохов Н. Н., Уткин С. С. Подземная исследовательская лаборатория в Нижнеканском массиве: эволюционная проработка облика // Радиоактивные отходы. 2020. № 1 (10). С. 9–21. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-1-9-21.
5. Дорофеев А. Н., Большов Л. А., Линге И. И., Уткин С. С., Савельева Е. А. Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности сооружения, эксплуатации и закрытия пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 34–43.
6. Авершин С. Г. Горные удары. — М. : Углетехиздат, 1955. 236 с.
7. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. — М. : Недра, 1983. 279 с.
8. Петухов И. М., Егоров П. В., Винокур Б. Ш. Предотвращение горных ударов на рудниках. — М. : Недра, 1984. 230 с.
9. Методические рекомендации по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 мая 2013 г. № 216).
10. Sanders E. J., Merguerian Ch. Geologic setting of New York Harbor. Geology Dept. Hofstra Univ., Hempstead, N. Y., 1997.
11. Кузьмин Е. В., Ляшевич С. И. Предотвращение удароопасности массива методом инъекционно-упрочнения горных пород // Горный журнал. 1989. № 11.
12. Турчанинов И. А., Марков Г. А., Иванов В. И., Козырев А. А. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок. — Л. : Наука, 1978. 256 с.
13. Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Богданов Г. И. Разработка руд на больших глубинах. — М. : Недра, 1982. 292 с.
14. Кузьмин Е. В. Упрочнение горных пород при подземной добыче руд. — М. : Недра, 1991. 252 с.
15. Бич Я. А. Горные удары и методы их прогноза. — М. : ЦНИЭИуголь, 1972. 101 с.
16. Гатауллин Р. М., Давиденко Н. Н., Свиридов Н. В. и др. Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности. — М. : Логос, 2012. 256 с.
17. Рассказов И. Ю., Петров В. А., Гладырь А. В., Тюрин Д. В. Геодинамический полигон Стрельцовского рудного поля: практика и перспективы // Горный журнал. 2018. № 7. С. 17–21. DOI: 10.17580/gzh.2018.07.02.

Информация об авторах

Игин Игорь Михайлович, генеральный директор, ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Москва, Пятницкая ул., д. 49А, к. 2), e-mail: IMIgin@noraо.ru.

Минин Андрей Васильевич, заместитель генерального директора по лицензированию и разрешительной деятельности, ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Москва, Пятницкая ул., д. 49А, к. 2), e-mail: AVMinin@noraо.ru.

Кузьмин Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, главный специалист, ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Москва, Пятницкая ул., д. 49А, к. 2), e-mail: EVKuzmin@noraо.ru.

Бамборин Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, директор департамента лицензирования и разрешительной деятельности, ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Москва, Пятницкая ул., д. 49А, к. 2), e-mail: MYBamborin@noraо.ru.

Спешиллов Сергей Леонидович, доктор технических наук, главный геолог, ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Москва, Пятницкая ул., д. 49А, к. 2), e-mail: SLSpeshilov@noraо.ru.

Трофимова Юлия Васильевна, эксперт, ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Москва, Пятницкая ул., д. 49А, к. 2), e-mail: YVTrofimova@noraо.ru.

Библиографическое описание статьи

Игин И. М., Минин А. В., Кузьмин Е. В., Бамборин М. Ю., Спешиллов С. Л., Трофимова Ю. В. О возможных проявлениях горных ударов при сооружении ПИЛ и методах их предотвращения // Радиоактивные отходы. 2022. № 4 (21). С. 70–77. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-70-77.

POTENTIAL MANIFESTATIONS OF ROCK BURSTS DURING URF CONSTRUCTION AND METHODS OF THEIR PREVENTION

Igin I. M., Minin A. V., Kuzmin E. V., Bamborin M. Yu., Speshilov S. L., Trofimova Iu. V.

National Operator for Radioactive Waste management FSUE, Moscow, Russia

Article received on October 6, 2022

At great depths, the Yeniseiskiy section of the Nizhnekanskiy rock mass selected for the construction of an underground research facility (URF) may involve some areas of firm rocks with high internal stresses that may cause spontaneous rock bursts. The paper provides a qualitative description of the mechanism standing behind the rock burst process, the necessary and sufficient conditions for its occurrence and the conditions for its extinction. It considers some engineering methods dealing with rock bursts which may be applied given special requirements set out for the URF construction.

Keywords: strength, uniaxial compression, rock burst, unequal compression, rock outburst, dynamic manifestations of rock pressure, necessary and sufficient condition, changes in the strength properties, non-sorbable radionuclides, rock degradation, rock burst prevention, radioactive waste.

References

1. JSC Krasnoyarskgeologiya. *Proekt na vypolnenie rabot po ob'ektu: Razvedka uchastka zakhroneniya radioaktivnykh otkhodov (Eniseiskii uchastok Nizhne-Kanskogo massiva)* [Project specifications: exploration of a radioactive waste disposal site (Yeniseiskiy section of the Nizhnekanskiy rock mass)]. License KRR 16117 ZD, State contract of September 23, 2019 No. D.4sh.244.20.19.1061, Contract of November 5, 2019. No. 1061/3/2019.
2. Karaulov V. A., Zabolotskiy K. A. et al. *Geologicheskoe doizuchenie (otsenochnaya stadiya) gornogo massiva uchastka «Eniseiskii» dlya obosnovaniya rasshireniya intervala zakhroneniya radioaktivnykh otkhodov do glubin 450–525 metrov (+5 – -70 m BS) ob'ektov okonchatel'noi izolyatsii radioaktivnykh otkhodov (Krasnoyarskii kraj, Nizhne-Kanskii massiv)* [Additional geological study (assessment stage) of a rock mass at the Yeniseiskiy site demonstrating the reasons for the expansion of the radioactive waste disposal interval to a depth of 450–525 meters (+5 – -70 m BS) for final radioactive waste disposal facilities (Krasnoyarsk Territory, Nizhnekanskiy rock mass)]. JSC Krasnoyarskgeologia, Krasnoyarsk, 2015.
3. Kryukov O. V. *Strategiya sozdaniya punkta glubinnogo zakhroneniya RAO [Strategy for the development of RW deep disposal facility]. Radioaktivnye otkhody – Radioactive Waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 114–120.
4. Abramov A. A., Bolshov L. A., Dorofeev A. N., Igin I. M., Kazakov K. S., Krasilnikov V. Y., Linge I. I., Trokhov N. N., Utkin S. S. *Podzemnaya issledovatel'skaya laboratoriya v Nizhnekanskom massive: ehvolyutsionnaya prorabotka oblika [Underground Research Laboratory in the Nizhnekanskiy Massif: Evolutionary Design Study]. Radioaktivnye otkhody – Radioactive Waste*, 2020, no. 1 (10), pp. 9–21. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-1-9-21.
5. Dorofeev A. N., Bolshov L. A., Linge I. I., Utkin S. S., Saveleva E. A. *Strategicheskii master-plan issledovaniy v obosnovanie bezopasnosti sooruzheniya, ehkspluatatsii i zakrytiya punkta glubinnogo zakhroneniya radioaktivnykh otkhodov [Strategic Master Plan for R&D Demonstrating the Safety of Construction, Operation and Closure of a Deep Geological Disposal Facility for Radioactive Waste]. Radioaktivnye otkhody – Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 34–43.
6. Avershin S. G. *Gornyye udary [Rock Bursts]*. Moscow, Ugletekhizdat Publ., 1955. 236 p.
7. Petukhov I. M., Lin'kov A. M. *Mekhanika gornyykh udarov i vybrosov [Mechanics of Rock Bursts and Outbursts]*. Moscow, Nedra Publ., 1983. 279 p.
8. Petukhov I. M., Yegorov P. V., Vinokur B. Sh. *Predotvrashcheniye gornyykh udarov na rudnikakh [Prevention of Rock Bursts in Mines]*. Moscow, Nedra Publ., 1984. 230 p.
9. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke sklonnosti rudnykh i nerudnykh mestorozhdenii k gornym udaram [Guidelines for the assessment of ore and non-ore deposit susceptibility to rock bursts]*. Approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision on May 23, 2013 No. 216.
10. Sanders E. J., Merguerian Ch. *Geologic setting of New York Harbor*. Geology Dept. Hofstra Univ., Hempstead, N. Y., 1997.
11. Kuz'min Ye. V., Lyashevich S. I. *Predotvrashcheniye udaroopasnosti massiva metodom in'yektsionnogo*

- uprochneniya gornykh porod [Prevention of Rock Burst Hazard via the Injection-based Rock Hardening Method]. *Gornyi zhurnal — Mining Journal*, 1989, no. 11.
12. Turchaninov I. A., Markov G. A., Ivanov V. I., Kozyrev A. A. *Tektonicheskiye napryazheniya v zemnoy kore i ustoychivost' gornykh vyrabotok* [Tectonic Stresses in the Earth Crust and the Stability of Mine Workings]. Leningrad, Nauka Publ., 1978. 256 p.
13. Bronnikov D. M., Zamesov N. F., Bogdanov G. I. *Razrabotka rud na bol'shikh glubinakh* [Ore Mining at Great Depths]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 292 p.
14. Kuz'min Ye. V. *Uprochneniye gornykh porod pri podzemnoy dobyche rud* [Rock Hardening During Underground Ore Mining]. Moscow, Nedra Publ., 1991. 252 p.
15. Bich Ya. A. *Gornyye udary i metody ikh prognoza* [Rock Bursts and Relevant Forecasting Methods]. Moscow, TSNIIEugol' Publ., 1972. 101 p.
16. Gataullin R. M., Davidenko N. N., Sviridov N. V. et al. *Konteynery dlya radioaktivnykh otkhodov nizkogo i srednego urovnya aktivnosti* [Containers for Low- and Intermediate-level Waste]. Moscow, Logos Publ., 2012. 256 p.
17. Rasskazov I. Yu., Petrov V. A., Gladyr' A. V., Tyurin D. V. *Geodinamicheskiy poligon Strel'tsovskogo rudnogo polya: praktika i perspektivy* [Geodynamic Testing Area of the Strel'tsovskiy Ore Field: Practice and Prospects]. *Gornyi zhurnal — Mining Journal*, 2018, no. 7, pp. 17–21. DOI: 10.17580/gzh.2018.07.02.

Information about the authors

Igin Igor Mikhailovich, General Director, National Operator for Radioactive Waste management FSUE (49A, bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: IMIgin@nora.ru.

Minin Andrey Vasilievich, Deputy General Director for Licensing and Permitting Activities, National Operator for Radioactive Waste management FSUE (49A, bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: AVMinin@nora.ru.

Kuzmin Evgeny Viktorovich, Doctor of Technical Science, professor, Chief Specialist, National Operator for Radioactive Waste management FSUE (49A, bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: EVKuzmin@nora.ru.

Bamborin Mikhail Yurievich, PhD, Director of the Licensing and Permitting Activities Department, National Operator for Radioactive Waste management FSUE (49A, bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: MYBamborin@nora.ru.

Speshilov Sergey Leonidovich, Doctor of Technical Sciences, Chief Geologist, National Operator for Radioactive Waste management FSUE (49A, bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: SLSpeshilov@nora.ru.

Trofimova Iuliia Vasilievna, expert, National Operator for Radioactive Waste management FSUE (49A, bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: YVTrofimova@nora.ru.

Bibliographic description

Igin I. M., Minin A. V., Kuzmin E. V., Bamborin M. Yu., Speshilov S. L. Trofimova Iu. V. Potential Manifestations of Rock Bursts During URF Construction and Methods of their Prevention. *Radioactive Waste*, 2022, no. 4 (21), pp. 70–77. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-70-77. (In Russian).