



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД  
В РАЙОНЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ И НАРЕЗНЫХ ВЫРАБОТОК  
НА УДАРООПАСНЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

**А. А. Еременко<sup>1</sup>, А. И. Конурин<sup>1</sup>, Е. А. Христолюбов<sup>2</sup>, В. А. Штирц<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: eremenko@ngs.ru,  
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

<sup>2</sup>*Шахта Шерегешевская АО "ЕВРАЗ ЗСМК", E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com,  
ул. Советская 1а, пгт Шерегеш 652971, Россия*

<sup>3</sup>*Шахта Таштагольская, АО "ЕВРАЗ ЗСМК", E-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,  
ул. 20-го Партсъезда 11Б, г. Таштагол 652971, Россия*

Приведена горно-геологическая характеристика месторождений Горной Шории, опасных по горным ударам. Представлены обобщенный опыт измерения напряженного состояния массива горных пород на Таштагольском и Шерегешевском железорудных месторождениях и результаты уточнения действующих напряжений. Определены напряжения в массиве горных пород для выбора типа крепи выработок при понижении горных работ.

*Напряженно-деформированное состояние, динамические явления, горный удар, безопасность горных работ, шахтные измерения*

**DETERMINATION OF STRESSES IN THE ROCK MASS  
IN THE AREA OF PREPARATORY AND ACCESS WORKINGS  
IN ROCKBURST-HAZARDOUS IRON ORE DEPOSITS**

**A. A. Eremenko<sup>1</sup>, A. I. Konurin<sup>1</sup>, E. A. Khristolyubov<sup>2</sup>, and V. A. Shtirts<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch Russian Academy of Sciences,  
E-mail: eremenko@ngs.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091 Russia*

<sup>2</sup>*Mine Sheregesh, JSC "EVRAZ ZSMK", E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com,  
ul. Sovetskaya 1a, Sheregesh 652971, Russia*

<sup>3</sup>*Mine Tashtagol, JSC "EVRAZ ZSMK", E-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,  
ul. 20th Partsyezda 11B, Tashtagol 652971, Russia*

The article presents the mining and geological characteristics of the Mountain Shoriya rockburst-hazardous deposits. The experience of measuring the stress state of the rock mass at the Tashtagol and Sheregesh iron ore deposits and the results of the refinement of current stresses are presented. Stresses in the rock mass are determined to select the type of support for workings while lowering the level of mining.

*Stress-strain state, dynamic phenomena, rock burst, mining safety, mine measurements*

Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород является актуальной задачей особенно для месторождений, опасных по горным ударам. Наиболее достоверные данные о напряженно-деформированном состоянии массива могут быть получены по измерению напряжений и сдвижений непосредственно при отработке этих месторождений. Однако в последние годы все меньше исследователей занимается измерением напряжений, в том числе и на месторождениях Горной Шории, опасных по горным ударам. Выполняемые единичные замеры напряжений не дают в полной мере представления об изменении поля напряжений, действующего на месторождении, что требует интенсификации работ по контролю напряженного состояния массива.

Опыт разработки удароопасных месторождений Горной Шории, Норильского горно-металлургического комбината, шахт Дальнего Востока и др. показывает, что первые признаки удароопасности (шелушение, стрельание) наблюдаются при проходке горизонтальных горных выработок. По мере увеличения глубины горных работ проявления горного давления отмечаются в кровле очистных камер, целиках и в подготовительных выработках. Исходя из этого, для определения критической глубины динамических проявлений горного давления целесообразно сначала оценить напряженное состояние массива горных выработок, а на его основе — прогнозные глубины динамических проявлений горного давления [1, 2].

В настоящее время контроль напряженного состояния массива горных пород на месторождениях АО «ЕвразЗСМК» осуществляется с помощью комплекса методов, включающего следующие региональные и локальные методы: микросейсмический контроль на базе сейсмостанции; электропрофилирование, подземное электроразведывание на малых и крупных базах, измерение деформаций, регистрация ЭМИ. Данный комплекс содержит оптимальное количество методов, позволяет следить за изменением напряженного состояния участков горного массива, определять категорию удароопасности в рабочих забоях. В данной работе представлено обобщение опыта измерения напряженного состояния массива горных пород Таштагольского и Шерегешевского месторождений, приведены результаты уточнения действующих напряжений, полученных в 2018–2019 гг.

Разрабатываемые подземным способом железорудные месторождения Горной Шории (Таштагольское и Шерегешевское) расположены в Алтае-Саянской складчатой области. Руды залегают среди осадочно-вулканогенных толщ в районах с длительной историей активной магматической деятельности, сложной системы складчатых и разрывных структур. Верхние горизонты этих месторождений отработаны полностью, фронт горных работ опустился на глубину 400–900 м.

Быстрый рост глубины разработки на месторождениях Горной Шории сопровождается горными ударами и усложнением технологии очистных работ особенно при производстве взрывов. В этой связи исследования по геомеханическому обоснованию безопасных условий отработки удароопасных рудных участков имеют не только научный, но и практический интерес. Выемка запасов на этих глубинах обусловлена сложными горно-геологическими условиями разработки, в том числе: изменением размеров рудных тел, выклиниванием их по падению и простиранью, появлением с глубиной новых «слепых» рудных тел; усложнением формы и строения рудных тел, наличием внутри них гнезд и линз безрудных породных прослоев по мощности превышающих кондиционные, уменьшением содержания металла в балансовых и добытых рудах, анизотропией тектонической нарушенности и физико-механических свойств пород, руд [3].

Таштагольское месторождение расположено в осадочно-вулканогенных отложениях среднего кембрия, прорванных габбро-сиенитовой интрузией. В состав Таштагольского месторождения входят пять участков: «Восточный», «Северо-Западный», «Юго-Восточный», «Западный» и «Глубокий». В настоящее время горные работы ведутся на семи горизонтах (с гор. +70 до гор. –350 м) на участках «Восточный», «Северо-Западный» и «Юго-Восточный», очистные работы ведутся на шести горизонтах (с гор. 0 до гор. –350 м), достигнув глубины 800 м от поверхности (от отметки +450 м). Геологоразведочными работами зона оруденения прослежена до глубины 1500 м. На всех участках кроме Восточного рудные тела залегают на глубине без выхода на поверхность. В составе каждого участка насчитывается 2–6 рудных тела мощностью 5–100 м, протяженностью по простиранью 35–1280 м и по падению 80–1000 м [3]. Комплексная оценка напряженного состояния массива горных пород Таштагольского месторождения представлена в таблице [4].

Данные о главных нормальных напряжениях на различных глубинах вне зоны влияния очистных работ Таштагольского месторождения

Место измерения (горизонт, глубина, м)	$\sigma_1$ , МПа	$\sigma_2$ , МПа	$\sigma_3$ , МПа	$A$ , град
Гор. +70, ЮВШ уч. Юго-Восточный, 480	-36.2	-15.8	-11.3	344
Гор. +0, камера УПП уч. Юго-Восточный, 550	-24.8	-16.2	-11.5	343
Гор. -70, камера расдатки уч. Юго-Восточный, 630	-46.0	-19.8	-15.0	352
Гор. -280, уч. "Северо-Западный" СЗРШ-2, 830	-68.6	-41.8	-21.0	356
Гор. -350, ств. "Сибиряк" Новая промплощадка, 900	-53.9	-25.5	-19.8	356

В работе [5] представлена комплексная оценка напряженно-деформированного состояния горного массива геофизическими и геодезическими методами, проведены наблюдения за изменениями уровней гравитационного и электромагнитного полей в подготовительной выработке на глубине более 900 м и сдвигами горного массива и земной поверхности. Полученные результаты позволяют охарактеризовать изменчивость напряженно-деформированного состояния горного массива и проявлений горного давления в районе ведения работ.

Широко признано, что надежность методов измерения и оценки напряжений в натуральных условиях зависит как от технических характеристик измерительных приборов, так и от корректного выбора места измерений, учитывающего сложный структурный характер массива горных пород. Фактически даже при оптимальных условиях в однородной горной породе, которая ведет себя упруго, напряжения определяются с ошибками до 20% по величине и до 20% по их основным направлениям [6].

Уточнение параметров действующего поля напряжений массива Таштагольского месторождения выполнено в 2018 г. Экспериментальные работы на руднике проводились в подземных выработках на глубине порядка 800 м. Измерения осуществлялись методом гидроразрыва с помощью измерительного комплекса, разработанного в Институте горного дела СО РАН [7, 8]. В результате поиска и анализа производственной обстановки выбрано наиболее подходящее место размещения замерных станций (рис. 1)

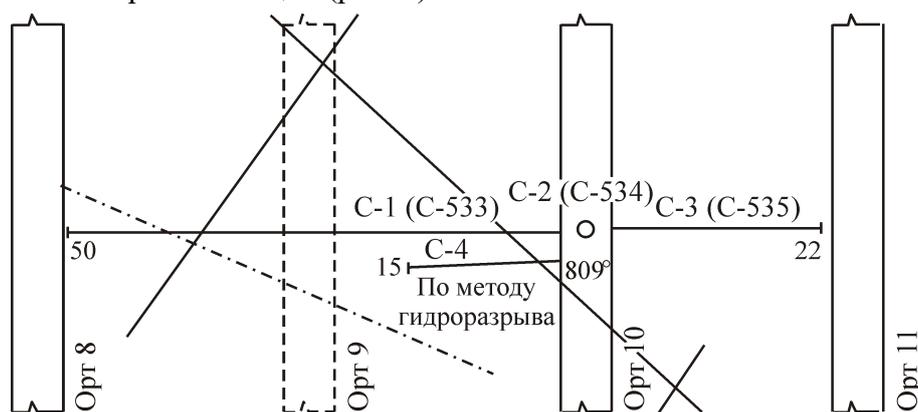


Рис. 1. Схема расположения замерных скважин на горизонте -350 м

На замерной станции выполнено 17 тестов гидроразрыва. В результате обработки  $P - t$  диаграмм установлены следующие значения напряжений, действующих в массиве, МПа:  $\sigma_{\min} = 9.3 - 12.76$ ;  $\sigma_{\max} = 33.95 - 49.6$ ,  $\sigma_H = 21$ . При удалении от подошвы выработки вниз происходит увеличение напряжений, для бортов выработки закономерность обратная.

Тектонические поля напряжений, обусловленные наличием данных нарушений, в значительной мере определяют динамическую активность массива пород при ведении горных работ в зонах их влияния. Так, повышенная динамическая активность в выработках, попадающих в

зону влияния “Диагонального” нарушения, была отмечена уже во время отработки верхних гор. +70, ±0, –70 м. На гор. –140, –210, –280, –350 м она отмечалась на стадии проходки подготовительных выработок в районе нарушения “Нагорный”. Дальнейшая нарезка и подготовка блоков в районе тектонических нарушений также сопровождалась активной динамикой.

Шерегешевское месторождение расположено в 20 км севернее Тащтагольского, входит в Кондомскую группу железорудных месторождений и совместно с Шалымским образует Шерегешевско-Шалымское рудное поле. Месторождение разведано на глубину 1200 м от поверхности и эксплуатируется с 1952 г. Вмещающие породы — известняки, туфы, туфо-песчаники, алевриты, порфириды, габбро, диориты, граниты, сиениты, скарны [3]. Рудная зона месторождения прослежена непрерывной полосой с востока на запад 270–2800 на протяжении 3.5 км. Она состоит из восьми рудных участков: Восточного, II рудного (отработаны), Главного, Болотного, Нового Шерегеша, Подруслового (эксплуатируются), Новой промплощадки, Юго-Западного (в проектном контуре). Главными особенностями условий отработки месторождений являются “слепое” без выхода на поверхность залегание рудных тел (кроме участков Главного и Восточного), широкое развитие флексурных зон, разрывных нарушений, даек, апофиз интрузивных тел, создающих сложные и удароопасные зоны, блочную структуру. Рудные тела залегают среди скарнов и метасоматитов, вулканогенноосадочных пород, секутся дайками и апофизами гранитов, сиенитов, разрывными нарушениями. Простираение их (300–3100), изменчивое, юго-западное падение под углами 30–800. Наиболее крупные тела расположены на участках Новый, Шерегеш, Болотный [9].

На гор. +325 м и ниже Главного участка общее падение рудного тела составляет 50–60°. Большая часть запасов участка сосредоточена в этажах +325 ÷ +115 м, затем до гор. –25 м происходит постепенное выклинивание 15 рудных тел, их средняя мощность 19.5 м. Общая мощность рудной зоны 160–180 м. Магнетитовые руды, как правило, окружены скарнами.

На Болотном участке рудная зона падает под углом 55–60°. Основная часть запасов заключена в двух рудных телах вытянутой формы, расположенных примерно параллельно друг другу. Мощность их колеблется от 5 до 45 м. Со стороны лежащего бока на расстоянии 5–10 м от полевого штрека расположено крупнее тектоническое нарушение с углом падения 85°. На участке Новый Шерегеш рудная зона падает в среднем под углом 40–45°, насчитывается более 10 рудных тел мощностью от 2 до 90 м, основная их часть расположена в интервале гор. +325 и +45 м. На Подрусловом участке падение рудной зоны составляет 40–45°, верхняя кромка рудных тел расположена в 300 м от поверхности.

По падению рудные тела вытягиваются на 600 м. Мощность их колеблется от 2 до 40 м, средняя — 10 м (средняя горизонтальная мощность 25 м). Волнистый характер формы отдельных рудных тел приводит к тому, что угол их падения изменяется от 10 до 80°. Основная часть запасов на участке расположена в интервале гор. +255 и –165 м [10]. Горизонтальные напряжения на Шерегешевском месторождении в 1.5–3.0 раза превышают вертикальные и их рост с глубиной по крайней мере не меньше, чем  $\gamma H$ , где  $\gamma$  — объемный вес налегающих пород,  $H$  — расстояние от земной поверхности.

В результате отработки в горном массиве образованы значительные пустоты, заполненные обрушенными породами, что влечет за собой перераспределение исходного поля напряжений в большой области рудной зоны месторождения, окружающей отработанное пространство. Зоны концентрации сжимающих напряжений, в которых возможно разрушение пород, по занимаемому объему сопоставимы с размерами обрабатываемых участков [11]. В районе расположения участков Главный и Болотный на глубинах 410–430 м минимальное по абсолютной величине главное горизонтальное напряжение находится в пределах 1.4–1.7 $\gamma H$ , максимальное изменяется от 2.8 до 3.0 $\gamma H$  [12].

В нетронутом очистными работами массиве горных пород горизонтальные напряжения составляют  $\sim 20$  и  $\sim 40$  МПа (вертикальная составляющая равна весу налегающих пород). В зонах концентрации их величины могут превосходить исходные в несколько раз и достигать пределов прочности горных пород на разрушение. В этой связи представляется важной оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород, соответствующего различным этапам последовательной выемки участков Шерегешевского месторождения, выяснение закономерностей перераспределения напряжений в областях концентрации и установление объемов этих областей.

На Шерегешевском месторождении в 2019 г. для выбора типа крепи выработок выполнен контроль действующих в массиве напряжений. Выбор мест заложения замерных станций проводился с учетом текущего состояния добычных работ. Эксперименты выполнены на глубине 420 м (гор. +195). Замерная станция № 1 находилась на гор. +195 недалеко от рудоспусков № 6, 7. Все скважины пройдены по магнетитовой руде. Учитывая, что при определении параметров природного поля напряжений в отмеченных местах предполагается незначительное влияние на них самой горной выработки, а также возможно других техногенных и геологических факторов, экспериментально полученные напряжения являются частично наведенными.

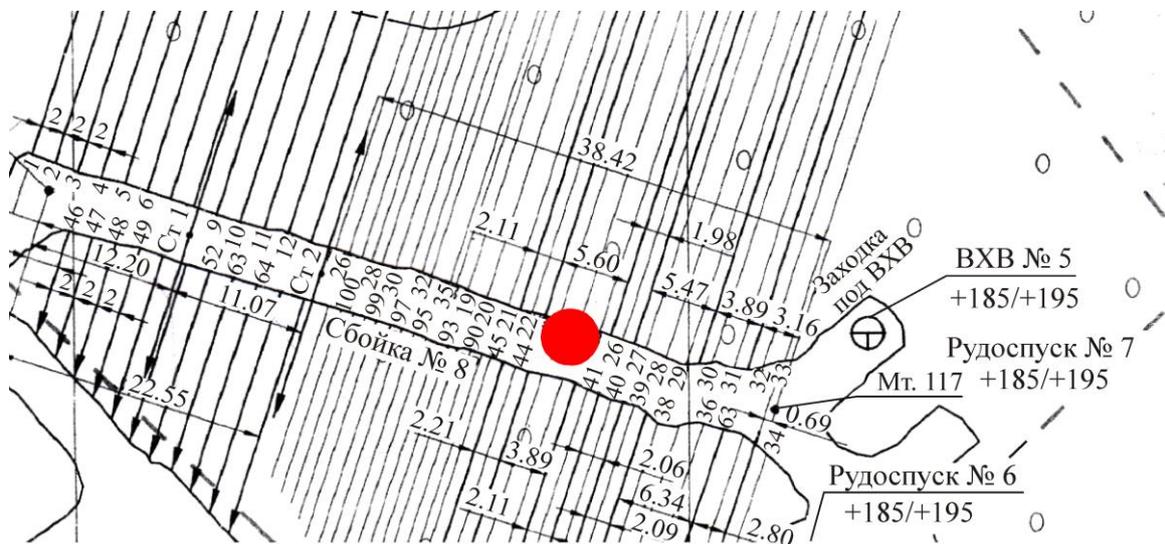


Рис. 2. Схема расположения замерной станции

Выполнено 11 тестов измерительного гидроразрыва. Установлено, что в массиве около замерной станции действует неравнокомпонентное поле напряжений, в котором вертикальная составляющая близка к расчетному значению от веса налегающих пород (около 13.25 МПа), а горизонтальные напряжения имеют коэффициент 1.22 – 1.32 и 1.92.

Величины напряжений в массиве горных пород определены для выбора типа крепи выработок при понижении горных работ. С целью повышения уровня безопасности при проведении, креплении и эксплуатации горных выработок с ноября 2017 г. на Шерегешевской шахте осуществлен переход на 100 %-е использование анкеров СЗА (ТФА) вместо ранее применяемых анкеров КРА-16 (клино-распорный анкер), которые не обеспечивали достаточно надежного закрепления горных пород. Анкер СЗА представляет собой систему элементов, состоящую из полой упругой металлической трубы и опорной плиты. Он закрепляется в шпуре по всей его длине за счет упругих свойств металла анкера и удерживает анкеруемые породы от расслоения, сдвижения и обрушения, в отличие от анкера КРА-16, закрепляемого в шпуре с помощью замка, размещаемого в конце шпура. Для механизации работ по установке анкерного

крепления в конце 2018 г. на Шерегешской шахтой получены три самоходных буровых установки DS-311, с помощью которых проводится бурение шпуров под анкера и монтаж анкеров СЗА, что позволило повысить в 2020 г. безопасность горных работ и увеличить объем проходки подготовительно-нарезных выработок.

## ВЫВОДЫ

При проведении исследований исходного поля напряжений рекомендуется использовать в качестве тестового метод гидроразрыва, а для получения статистически представительных данных на участках месторождения — методы частичной разгрузки, так как измерения поля напряжений методами частичной разгрузки являются менее трудоемкими в сравнении с методом измерительного гидроразрыва, однако характеризуются повышенными требованиями к выбору места измерений и более сложной процедурой интерпретации данных на нетронутый массив.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Eremenko A. A., Gakhova L. N., Konurin A. I., Koltyshev V. N., Prib V. V., and Uzun E. E.** Assessment of the geomechanical state of a rock mass during mining of two close ore bodies at the Sheregeshevskoye deposit, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2018, no. 1, pp. 67–75. (in Russian) [**Еременко А. А., Гахова Л. Н., Конури́н А. И., Колтышев В. Н., Приб В. В., Узун Е. Е.** Оценка геомеханического состояния массива горных пород при отработке двух сближенных рудных тел на Шерегешевском месторождении // ГИАБ. — 2018. — № 1. — С. 67–75.]
2. **Konurin A. I., Eremenko A. A., and Filippov V. N.** Features of assessing the state of a rock massif during industrial explosions and geodynamic phenomena, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2017, no. 7, pp. 153–160. (in Russian) [**Конури́н А. И., Еременко А. А., Филиппов В. Н.** Особенности оценки состояния массива горных пород при промышленных взрывах и геодинамических явлениях // ГИАБ. — 2017. — № 7. — С. 153–160.]
3. **Veselov A. I.** Change with depth of mining and geological conditions for the development of iron ore deposits of Mountain Shoria and Khakassia, *Ore Deposits. Mineralogy, Collection of works*, Tomsk, 2003. pp. 35–45. (in Russian) [**Веселов А. И.** Изменение с глубиной горно-геологических условий разработки железорудных месторождений Горной Шории и Хакасии // Рудные месторождения. Минералогия: сборник трудов. — Томск, 2003. — С. 35–45.]
4. **Sinkevich N. I.** Field studies of stress-strain state parameters at the Tashtagol iron ore deposit, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2004, no. 2, pp. 82–84. (in Russian) [**Синкевич Н. И.** Натурные исследования параметров напряженно-деформированного состояния на Таштагольском железорудном месторождении // ГИАБ. — 2004. — № 2. — С. 82–84.]
5. **Lobanova T. V. and Moiseev S. V.** The results of a comprehensive assessment of the stress-strain state of the Tashtagolsky field massif by geophysical and geodetic methods, *Journal of Mining Science*, 2009, no. 3, pp. 31–39. (in Russian) [**Лобанова Т. В., Моисеев С. В.** Результаты комплексной оценки напряженно-деформированного состояния горного массива Таштагольского месторождения геофизическими и геодезическими методами // ФТПРПИ. — 2009. — № 3. — С. 31–39.]
6. **Amadei B. and Stephansson O.** *Rock stress and its measurement.* Chapman & Hall, London, 1997.
7. **Leontiev A. V.** About the features of the method of measuring hydraulic fracturing during stress control in mine conditions, *Interexpo Geo-Siberia*, 2015, vol. 2, no. 3, pp. 127–132. (in Russian) [**Леонтьев А. В.** Об особенностях метода измерительного гидроразрыва при контроле напряжений в шахтных условиях // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2015. — Т. 2. — № 3. — С. 127–132.]
8. **Leontiev A. V., Rubtsova E. V., Lekontsev Yu. M., and Kachalsky V. G.** Measuring and computing complex Hydraulic fracturing, *Journal of Mining Science*, 2010, no. 1, pp. 104–110. (in Russian) [**Леонтьев А. В., Рубцова Е. В., Леконцев Ю. М., Качальский В. Г.** Измерительно-вычислительный комплекс Гидроразрыв // ФТПРПИ. — 2010. — № 1. — С. 104–110.]

9. **Veselov A. I., Fedorenko A. I., and Stafeev A. A.** Assessment of the impact hazard of a rock mass in the mine field of the Sheregeshevsky deposit during geodynamic zoning, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2010, no. 5, pp. 213–219. (in Russian) [**Веселов А. И., Федоренко А. И., Стафеев А. А.** Оценка удароопасности массива горных пород шахтного поля Шерегешевского месторождения при геодинамическом районировании // ГИАБ. — 2010. — № 5. — С. 213–219.]
10. **Eremenko V. A., Eremenko A. A., Filippov V. N., Gromova I. L., Korochkin S. A., and Piven V. V.** Monitoring the geomechanical state of the geological environment during mining of the Sheregeshevskoye deposit, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2007, no. 12, pp. 155–169. (in Russian) [**Еременко В. А., Еременко А. А., Филиппов В. Н., Громова И. Л., Корочкин С. А., Пивень В. В.** Контроль геомеханического состояния геологической среды при отработке Шерегешевского месторождения // ГИАБ. — 2007. — № 12. — С. 155–169.]
11. **Seryakov V. M., Seryakov A. V., Pesterev A. V.** The stress state of the enclosing rocks during the mining of ore sections of the Sheregeshevskoye deposit, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2000, no. 2, pp. 76–80. (in Russian) [**Серяков В. М., Серяков А. В., Пестерев А. В.** Напряженное состояние вмещающих пород при отработке рудных участков Шерегешевского месторождения // ГИАБ. — 2000. — № 2. — С. 76–80.]
12. **Eremenko A. A., Seryakov V. M., Petin V. V., Gaidin A. P., and Belousov E. A.** Geomechanical assessment of conditions and justification of the technology for mining the ore site at the Sheregeshevskoye deposit, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2003, no. 6, pp. 192–194. (in Russian) [**Еременко А. А., Серяков В. М., Петин В. В., Гайдин А. П., Белоусов Е. А.** Геомеханическая оценка условий и обоснование технологии отработки рудного участка на Шерегешевском месторождении // ГИАБ. — 2003. — № 6. — С. 192–194.]