

УДК 622.833.5

Сентябов Сергей Васильевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория геодинамики и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: sentyabov1989@mail.ru

ВЫБОР МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ В ГОРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ*

Аннотация:

В работе представлены результаты исследований формирования напряженного состояния в массиве горных пород с использованием современных методов расчета напряженно-деформированного состояния горных конструкций. Были выявлены закономерности распределения напряженного состояния в массиве горных пород при использовании камерных систем разработки. На примере Гайского подземного рудника был сформирован комплекс активных методов управления горным давлением.

Выявлены закономерности формирования напряженного состояния в приконтурных массивах всячего и лежащего боков при их обнажении, в частности, установлено, что при увеличении мощности рудного тела, вне зависимости от угла его падения, происходит уменьшение величин растягивающих напряжений и увеличение сжимающих. Предложен подход к определению параметров выработанного пространства выемочного блока, основанный на выявленной закономерности увеличения напряжений в стенке камеры до достижения размера выработанного пространства по простиранию расчетных значений, при дальнейшем увеличении длины выработанного пространства наблюдается стабилизация напряжений. Разработаны методы управления горным давлением, основанные на выявленных закономерностях, регулирующие статические и динамические нагрузки в конструктивных элементах камерных систем разработки.

Причины разрушения всячего и лежащего боков на данном месторождении связаны не только с низкой устойчивостью вмещающих пород, но и с наличием высоких сжимающих тектонических напряжений, которые были определены авторами. Также не следует забывать, что при отработке месторождения камерными системами разработки наиболее нагруженными элементами являются обнаженная часть всячего и лежащего боков, потолочина, междукамерные целики и днище, поэтому необходимо проводить мероприятия, обеспечивающие повышение устойчивости рудного массива горных пород с целью гарантирования безопасности и эффективности технологии добычи полезного ископаемого.

Ключевые слова: управление горным давлением, всячий бок, лежащий бок, напряженное состояние, порядок отработки, анализ результатов, система разработки.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.01.073

Sentyabov Sergey V.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of Geodynamics and Mining Pressure,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS.
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: sentyabov1989@mail.ru

SELECTION OF METHODS FOR CONTROL OF MOUNTAIN PRESSURE IN MINING STRUCTURES OF THE CHAMBER DEVELOPMENT SYSTEM

Abstract:

The paper presents the results of the formation of a stress state in a rock mass using modern methods for calculating the stress-strain state of mountain structures. As a result of the analysis, the distribution patterns of the stress state distribution in the rock mass were revealed when using chamber mining systems. Based on the example of the Gaysky underground mine, a set of active methods for rock pressure management was formed.

The regularities of the formation of the stress state in the peripheral massifs of the hanging and recumbent sides during their exposure were revealed, in particular, it was found that with the increase of the thickness of the ore body, regardless of the angle of its incidence, a decrease in the values of tensile stresses and an increase in compressive ones were established. We propose a new approach to determine the parameters of the mined-out space of the extraction block, based on the revealed regularity of the increase of stresses in the chamber wall until the size of the mined-out space is reached along the strike of the calculated values; with a further increase in the length of the mined-out space, stress stabilization is to observe. Methods for controlling rock pressure based on the revealed patterns, regulating static and dynamic loads in structural elements of chamber development systems, have been developed.

The causes for destruction of the hanging and recumbent sides in this field are associated not only with the low stability of the host rocks, but also with the presence of high compressive tectonic stresses, which were determined by the authors. It should also not be forgotten that, when mining a deposit with chamber development systems, the most loaded elements are the exposed part of the hanging and recumbent sides, the ceiling, inter-chamber pillars and the bottom, therefore it is necessary to take measures to ensure the stability of the ore massif in order to guarantee the safety and efficiency of the mining technology.

Key words: rock pressure management, hanging side, recumbent side, stress state, mining procedure, analysis of results, development system.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0007

Введение

Эффективность разработки Гайского месторождения подземным способом в значительной мере определяется устойчивостью конструктивных элементов системы разработки. Обрушение рудных стенок в камерах первой и второй очередей вызывает рост нагрузок на междукамерные целики. Это приводит к их разрушению, потере буровых скважин и подготовительных выработок. Падает производительность добычи из камер второй и третьей очередей. При самообрушении пород кровли и висячего бока возрастают потери и засорение руды, выход негабарита.

В процессе выполнения исследований проведено визуальное обследование устойчивости действующих выработок рудника на горизонтах 670 и 750 м, находящихся в зоне влияния очистных работ, а также подготовительных выработок горизонтов 830 и 910 м.

Анализ данных визуального обследования показывает, что наиболее распространенной формой проявлений горного давления в горно-подготовительных выработках являются заколообразование и шелушения пород в стенках и кровле, приводящие к формированию шатровой или полигональной формы поперечного сечения [1].

При очистных работах проявления горного давления наиболее часто происходили в следующих формах:

- разрушение сопряжений заездов с ортами в днищах камер;
- раскрытие трещин в стенках камер;
- обрушение закладочных массивов с вышележащих горизонтов;
- обрушение стенок камер и рудных массивов.

Наибольшее влияние перечисленные негативные явления оказывают на устойчивость целиков и обнажений, поэтому проблема устойчивости конструктивных элементов системы разработки стоит на предприятиях очень остро.

Исследование и расчет первоначального напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород, полученного путем экспериментально-аналитического расчета, имеет важное значение при выборе мест заложения капитальных горных выработок и очередности развития очистных работ [2 – 3].

В процессе проведения исследований по определению устойчивости камер, проводимым на Гайском подземном руднике, на котором применяется этажно-камерная система разработки с закладкой выработанного пространства, было установлено, что обрушение пород висячего бока достигало 20 % от общей длины камеры, а высота свода обрушения кровли достигала 8 м.

При самообрушении пород кровли и висячего бока возрастают потери и разубоживание руды, создавая дополнительные сложности при обогащении руды, что, в свою очередь, увеличивает себестоимость добычи и существенно ухудшает технико-экономические показатели по предприятию в целом [4 – 7].

Причины разрушения висячего и лежащего боков на данном месторождении объясняются не только низкой устойчивостью вмещающих пород, но и наличием высоких сжимающих тектонических напряжений. Измерения напряжений массива горных пород показали, что напряжения, действующие по субширотному направлению, вдвое превышают напряжения меридионального направления и были в 1,5 раза больше вертикальных [8 – 9].

Как уже отмечалось, при разработке крутопадающих месторождений камерными системами наряду с кровлей значительные обрушения наблюдаются с висячего бока. Причины этого явления различны и подробно описаны в работе [10]. По мере образования очистного пространства происходит перераспределение напряжений в призабойных рудных массивах и образуется зона концентрации сжимающих напряжений, размеры которой зависят от мощности, угла падения, формы и размеров выработанного пространства и ряда других немаловажных факторов [11– 12].

Распределение напряжений в массивах лежачего и висячего боков

Чтобы выявить закономерности формирования напряжений в висячем и лежачем боках при их обнажении и обосновать оптимальный порядок очистной выемки в камерах при отработке этажей $-830/-910$ м Гайского рудника, был произведен экспериментально-аналитический расчет для однородного изотропного массива при различных углах падения и расчет выемочных мощностей рудных тел. В качестве граничных условий использованы результаты определения параметров тензора максимальных напряжений, действующих в нетронutom массиве горных пород: по простиранию $\sigma_y = -20$ МПа; вкрест простирания $\sigma_x = -40$ МПа.

Рассчитывались напряжения, действующие на контуре камер со стороны висячего и лежачего боков, имеющих следующие параметры:

- высота камер $H = 80$ м;
- выемочная мощность m (ширина камер) = 20, 40, 60, 80, 100 м;
- угол падения рудных тел $\alpha = 60, 70, 80, 85^\circ$.

Для систематизации анализа напряжений на контуре камеры были выбраны три точки А, В, С в висячем боку и три точки в лежачем боку – А₁, В₁ и С₁, соответственно, схема расположения анализируемых точек приведена на рис. 1.

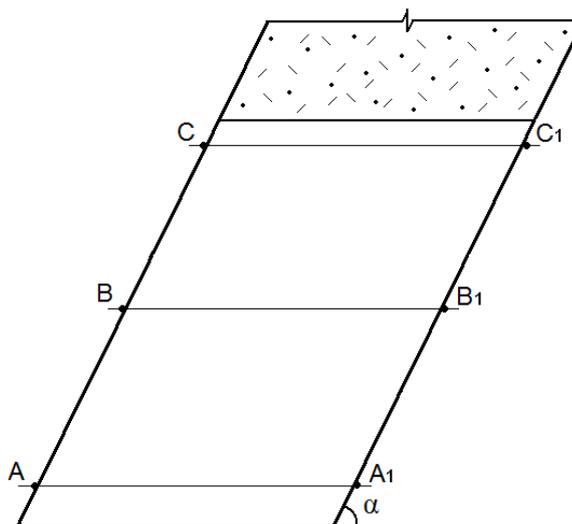


Рис. 1. Схема расположения анализируемых точек

На основе анализа полученных результатов установлено, что при увеличении мощности рудного тела вне зависимости от угла его падения во всех анализируемых точках выявлено уменьшение величины растягивающих напряжений и увеличение сжимающих. В висячем боку в середине этажа (в точке В) величина напряжения практически не зависит от угла падения рудного тела и составляет не более 5 МПа. То же явление характерно для верхней части этажа висячего бока (в точке С). В нижней части этажа лежачего бока (в точке А₁) выявлено anomальное поведение величин напряжений. При угле падения рудного тела $\alpha = 60^\circ$ величины сжимающих напряжений ниже, чем при угле падения рудного тела, равного $\alpha = 70^\circ$. При увеличении угла падения рудного тела с 60 до 85° в верхней части этажа (в точках С и С₁) наблюдается увеличение растягивающих напряжений как в висячем, так и в лежачем боках. В середине этажа (в точке В) в висячем боку наблюдается небольшое снижение растягивающих напряжений, а в лежачем боку (в точке В₁) при $\alpha = 60^\circ \div 70^\circ$ – снижение сжимающих напряжений, переходящее в растяжение при $\alpha = 80^\circ \div 85^\circ$. В нижней части этажа (в точке А) в висячем боку уменьшаются растягивающие напряжения, а в лежачем боку (в точке А₁) – сжимающие. При увеличении мощности рудного тела с 20 до 100 м в

верхней части этажа (в точках С, С₁) в висячем, лежащем боках и в середине этажа в висячем боку (в точках В, В₁) наблюдается снижение растягивающих напряжений. В лежащем боку в середине этажа (в точке В₁) при $\alpha = 60^\circ\div 70^\circ$ наблюдается увеличение сжимающих напряжений, а при $\alpha = 80^\circ\div 85^\circ$ – уменьшение растягивающих напряжений. В нижней части этажа в висячем боку (в точке А) наблюдается уменьшение растягивающих напряжений (при $\alpha = 60^\circ\div 70^\circ$), увеличение сжимающих напряжений (при $\alpha = 80^\circ\div 85^\circ$) и также увеличение сжимающих напряжений в лежащем боку (в точке А₁). При угле падения рудного тела, равном 60° (см. рис. 1.), в лежащем боку сжимающие напряжения изменяются от $-34,9$ МПа (при $m = 20$ м) до $-45,4$ МПа (при $m = 100$ м). В верхней части камеры наблюдается растяжение от $+4,7$ МПа (при $m = 20$ м) до $+1,0$ МПа (при $m = 80$ м). В висячем боку максимальные растягивающие напряжения изменяются от $+29,7$ МПа (при $m = 20$ м) до $+10,9$ МПа (при $m = 100$ м). При угле падения рудного тела, равном 70° , в лежащем боку в верхней части камеры растягивающие напряжения изменяются в диапазоне с $+9,2$ МПа ($\sim \frac{1}{2} h_k$ при $m = 20$ м) до $+2,9$ МПа ($\sim \frac{1}{4} h_k$ при $m = 100$ м), в нижней части камеры сжатие с $-24,8$ МПа (при $m = 20$ м) до $-36,2$ МПа (при $m = 100$ м). В висячем боку растягивающие напряжения изменяются с $+20,4$ МПа (при $m = 20$ м) до $+8,3$ МПа (при $m = 100$ м) [11 – 12].

Таким образом, с увеличением угла падения рудного тела (α) с 60 до 85° величины растягивающих напряжений, действующих в висячем боку, уменьшаются практически в 2 раза, но они все равно довольно высоки, что должно приводить к разрушению торцевых стенок камер и обрушению налегающих пород висячего бока, увеличивая разубоживание руды. Только при $\alpha = 85^\circ$ в нижней части камеры (в точке А₁) ($\sim \frac{1}{4} h_k$) растягивающие напряжения сменяются на сжимающие. В большей части лежащего бока при $\alpha = 60^\circ$ действуют сжимающие напряжения, и только в верхней части камеры наблюдается небольшая зона действия незначительных по величине растягивающих напряжений. С увеличением угла падения рудных тел область сжатия в лежащем боку уменьшается, а растяжение увеличивается, что должно приводить к его разрыву. Но и в этих условиях (по опыту отработки других месторождений) вероятность сползания значительных объемов нарушенного массива пород лежащего бока в выработанное пространство отработываемой камеры ниже, чем пород висячего бока [11 – 12].

Следовательно, при отработке рудных тел месторождения (особенно при $\alpha = 60^\circ \div 65^\circ$, что наиболее часто наблюдается на большой глубине) наиболее целесообразно очистную выемку вести от лежащего бока к висячему.

Методика обоснования порядка отработки запасов

Обоснование оптимального порядка отработки запасов в этажах 830 – 1070 м и 1070 – 1310 м велось на основе численного моделирования НДС рудного и породного массивов.

В качестве граничных условий при расчетах использованы результаты определения параметров тензора максимальных напряжений, действующих в нетронутым массиве горных пород [12]. Средняя прочность рудного массива принималась равной 100 МПа.

Расчетная модель имела следующие параметры:

- высота камер $H = 80$ м;
- ширина камер $b = 20$ м;
- длина камеры $m = 80$ м;
- угол падения рудных тел $\alpha = 60^\circ$.

После получения решений для той или иной схемы отработки подбирались граничные условия, при которых решение плоской задачи в горизонтальной плоскости удовлетворительно сходилось с объемным решением. С этими граничными условиями осуществлялись дополнительные решения, позволяющие детализировать предлагаемые схемы отработки.

Если пренебречь возможным разубоживанием руды закладкой, то до глубины 1150 м подряд может быть отработано не более 5-ти камер пролетом 20 м, а на глубине 1310 м – не более 2-х. Эту закономерность также подтверждает график, на котором приведено изменение напряжений в стенке камеры по мере увеличения выработанного пространства (рис. 2). Основываясь на этом графике, можно заключить, что на этаже 990 – 1070 м наиболее безопасное извлечение камерных запасов может производиться лишь в том случае, если размеры выработанного пространства не будут превышать 100 м, что соответствует мощности 5-ти вынутых камер. Даже в этом случае величины напряжений на верхнем подэтаже будут в незначительной мере превышать предел прочности на сжатие, поэтому в данном случае ими можно пренебречь. Дальнейшая же отработка камер должна сопровождаться предварительной разгрузкой массива.

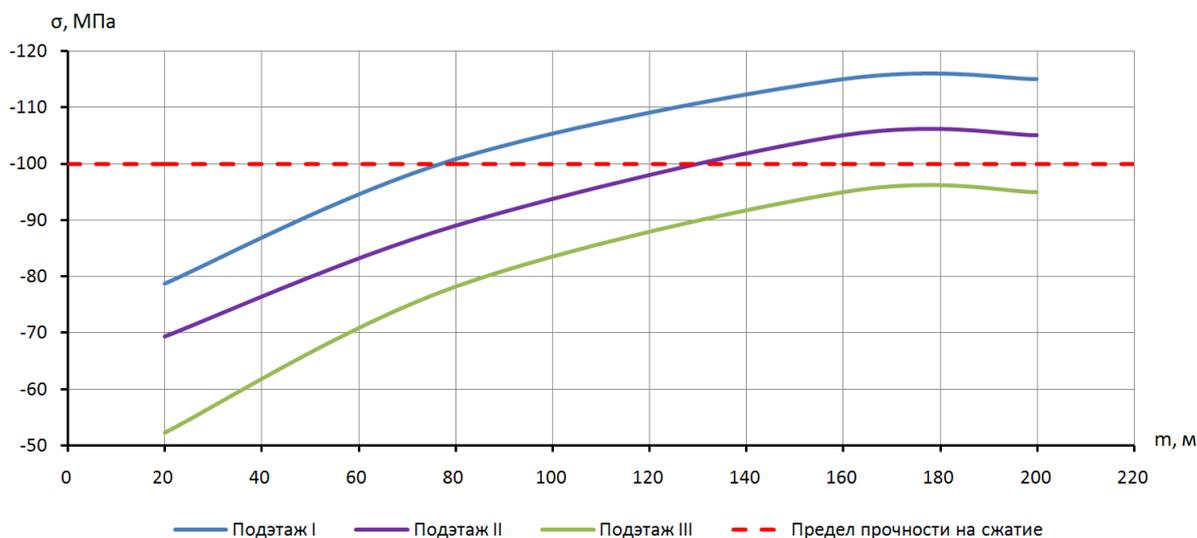


Рис. 2. График изменения напряжений в стенке камеры по мере увеличения выработанного пространства при отработке этажа 990 – 1070 м

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния

Анализ приведенных результатов позволяет утверждать, что ни одна из рассмотренных схем не может быть признана полностью удовлетворительной: при увеличении глубины разработки месторождения на нижних горизонтах величина напряжений на обнажении массива превышает предел прочности на одноосное сжатие руды (100 МПа) [13].

Отработка запасов месторождения ниже гор. –830 м производится согласно технико-экономическому обоснованию. Для отработки запасов в этажах –830/–910 и –910/–990 м предусмотрен вариант камерной системы разработки с выемкой камер в блоке по схеме I – II – III – I – IV – V (на месте камер IV и V оставляются временные рудные целики, обрабатываемые потом с помощью защитных мероприятий).

Методы управления горным давлением, анализ полученных результатов, заключение

Для доработки запасов руды в интервале 990 – 1310 м регламентом выбран вариант камерной системы разработки с закладкой и сплошным порядком выемки камер в блоке. При такой схеме ведения очистных работ, с выработанным пространством суммарной мощностью, равной восьми вынутым камерам (160 м) и целика, равного мощности трех камер (60 м), возникает запредельная концентрация напряжений в целиках, подлежащих последующей отработке.

При упорядоченной планомерной выемке камерных запасов в этаже общим развитием фронта очистных работ камер I – III-й очереди, не возникнет никаких особо се-

резных проблем, а вот при выемке камер IV, V-й очереди, а также рудных междублоковых целиков необходимо будет предусмотреть мероприятия по их защите.

Отработку целиков необходимо вести от центра к флангам. При использовании данной схемы ведения очистных работ после отработки первого целика в результате перераспределения напряжений величины сжимающих напряжений в следующем целике возрастут на 35 %, начнется его запредельное деформирование, в нем в результате нарушения рудного массива возникнут сложности с бурением и увеличится разубоживание из-за разрушения закладочного материала у контуров камер.

Поэтому в качестве мероприятий по защите междублоковых рудных целиков необходимо применять активные методы управления горным давлением, включающие в себя непосредственное изменение концентрации напряжений в локальных участках массива горных пород путем снижения или перераспределения напряжений.

Одним из наиболее эффективных и часто применяемых активных методов управления горным давлением массива горных пород является применение разгрузочных щелей. Такое широкое распространение данный метод получил из-за его простоты в осуществлении. Основные трудозатраты образования разгрузочной щели сводятся только к дополнительным буровзрывным работам, не требующим дополнительной проходки выработок. Сущность разгрузочной щели заключается в создании дополнительных свободных поверхностей, что влечет за собой перераспределение НДС массива горных пород, снятие напряжений в защитном элементе системы разработки.

Плоскость разгрузочной щели должна быть перпендикулярна направлению действия в массиве максимальных напряжений.

Список литературы

1. Зубков А.В., 2001. *Геомеханика и геотехнология*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 333 с.
2. Сидоров Д.В., Потапчук М.И., Сидляр А.В., 2018. Прогнозирование удароопасности тектонически нарушенного рудного массива на глубоких горизонтах Николаевского полиметаллического месторождения. *Записки Горного института*, Т. 234, С. 604 – 611.
3. Еременко В.А., Гахова Л.Н., Семенякин Е.Н., 2012. Формирование зон концентрации напряжений и динамических явлений при отработке рудных тел Таштагольского месторождения на больших глубинах. *ФТПРПИ*, № 2, С. 80–87.
4. Мясков А.В., 2011. Методологические основы эколого-экономического обоснования сохранения естественных экосистем в горнопромышленных регионах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 1, С. 399 – 401.
5. Мясков А.В., 2014. Современные эколого-экономические проблемы недропользования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 2, С. 157 – 160.
6. Timonin V.V., Kondratenko A.S., *J. Min. Sci.*, 2015. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes, Vol 51, No 5, pp. 1056 – 1061.
7. Jianju Du, Xiang huiQin, QingliZeng, Luqing Zhang, Qunce Chen, Jian Zhou, Wen Meng, 2017. Estimation of the present-day stress field using in-situ stress measurements in the Alxa area, Inner Mongolia for China's HLW disposal. *Engineering Geology*, Vol. 220, 30 March, pp. 76 - 84.
8. Сентябов С.В., Зубков А.В., 2020. Исследование параметров поля напряжений на глубоких горизонтах Гайского месторождения. VIII Международная научная конференция "Проблемы комплексного освоения георесурсов", Хабаровск, 8 – 10 сентября, 2020 г., Т. 192, с. 01028. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201028>
9. Зубков А.В., Сентябов С.В., 2020. Взаимосвязь физических процессов в космосе на солнце и их проявление в литосфере. *Земля и наука об окружающей среде: международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям "FarEastCon" (Владивосток, остров Русский, 1 - 4 октября*

2019 года), Т. 459, гл. 3., С. 042082. doi: 10.1088/1755-1315/459/4/042082.

10. Волков Ю.В., 2001. *Системы разработки подземной геотехнологии медно-колчеданных месторождений Урала*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 248 с.

11. Влох Н.П., 1994. *Управление горным давлением на подземных рудниках*. Москва: Недра, 206 с.

12. Бирючев И.В., Зубков А.В., Смирнов О.Ю., 2013. Закономерности распределения напряжений в висячем и лежащем боках камер при отработке рудных тел этажно-камерной системой разработки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3, С. 5 - 12.

13. Зубков А.В., Сентябов С.В., 2020. Новые подходы к оценке устойчивости скальных массивов горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 - 1, С. 68 - 77. DOI: 25018/0236-1493-2020-31-0-68-77.

References

1. Zubkov A.V., 2001. *Geomekhanika i geotekhnologiya* [Geomechanics and geotechnology]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 333 p.

2. Sidorov D.V., Potapchuk M.I., Sidlyar A.V., 2018. *Prognozirovanie udaropasnosti tektonicheski narushennogo rudnogo massiva na glubokikh gorizontakh Nikolaevskogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya* [Predicting the impact hazard of the tectonically disturbed ore mass in the deep horizons of the Nikolayevsky polymetallic deposit]. *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 234, pp. 604 – 611.

3. Eremenko V.A., Gakhova L.N., Semenyakin E.N., 2012. *Formirovanie zon kontsentratsii napryazhenii i dinamicheskikh yavlenii pri otrabotke rudnykh tel Tashtagol'skogo mestorozhdeniya na bol'shikh glubinakh* [Formation of zones of stress concentration and dynamic phenomena during mining of ore bodies of the Tashtagolskoye field at deep levels]. *FTPRPI*, № 2, pp. 80–87.

4. Myaskov A.V., 2011. *Metodologicheskie osnovy ekologo-ekonomicheskogo obosnovaniya sokhraneniya estestvennykh ekosistem v gornopromyshlennykh regionakh* [Methodological fundamentals of ecological and economic justification for the preservation of natural ecosystems in mining regions]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 1, pp. 399 - 401.

5. Myaskov A.V., 2014. *Sovremennye ekologo-ekonomicheskie problemy nedropol'zovaniya* [Current ecological and economic issues of subsurface use]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 2, pp. 157 – 160.

6. Timonin V.V., Kondratenko A.S., *J. Min. Sci*, 2015. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes, Vol 51, No 5, pp. 1056 – 1061.

7. Jianju Du, Xiang huiQin, QingliZeng, Luqing Zhang, Qunce Chen, Jian Zhou, Wen Meng, 2017. Estimation of the present-day stress field using in-situ stress measurements in the Alxa area, Inner Mongolia for China's HLW disposal. *Engineering Geology*, Vol. 220, 30 March, pp. 76 - 84.

8. Sentyabov S.V., Zubkov A.V., 2020. *Issledovanie parametrov polya napryazhenii na glubokikh gorizontakh Gaiskogo mestorozhdeniya* [Investigation of the stress field parameters at the deep horizons of the Gaisky field]. VIII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Problemy kompleksnogo osvoeniya georesurov", Khabarovsk, 8 – 10 sentyabrya, 2020 g., Vol. 192, p. 01028 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201028>

9. Zubkov A.V., Sentyabov S.V., 2020. *Vzaimosvyaz' fizicheskikh protsessov v kosmose na solntse i ikh proyavlenie v litosfere* [Interrelation of physical processes in the solar cosmos and their manifestation in the lithosphere]. *Zemlya i nauka ob okruzhayushchei srede: mezhdunarodnaya mul'tidistsiplinarnaya konferentsiya po promyshlennomu inzhiniringu i sovremennym tekhnologiyam "FarEastCon"* (Vladivostok, ostrov Russkii, 1 - 4 oktyabrya 2019 goda), Vol. 459, gl. 3., p. 042082. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042082.

10. Volkov Yu.V., 2001. *Sistemy razrabotki podzemnoi geotekhnologii med-nokolchedannykh mestorozhdenii Urala* [Development systems of the underground geotechnology for copper-pyrite deposits in the Urals]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 248 p.

11. Vlokh N.P., 1994. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh* [Control of rock pressure in underground mines]. Moscow: Nedra, 206 p.

12. Biryuchev I.V., Zubkov A.V., Smirnov O.Yu., 2013. *Zakonomernosti raspredeleniya napryazhenii v visyachem i lezhachem bokakh kamer pri otrabotke rudnykh tel etazhno-kamernoi sistemoi razrabotki* [Regularities of stress distribution in the hanging and the recumbent sides of chambers during the mining of ore bodies using the floor-chamber mining system]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3, pp. 5 - 12.

13. Zubkov A.V., Sentyabov S.V., 2020. *Novye podkhody k otsenke ustoychivosti skal'nykh massivov gornykh porod* [New approaches to assessing the stability of solid rock in a terrain]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 - 1, pp. 68 - 77. DOI: 25018/0236-1493-2020-31-0-68-77.