



УДК 622.833.5

Зубков Альберт Васильевич

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

Криницын Роман Владимирович

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией геодинамики
и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: krin@igduran.ru

Ушаков Евгений Михайлович

младший научный сотрудник,
лаборатория геодинамики и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: ushak@mail.ru

Карамнов Дмитрий Викторович

младший научный сотрудник,
лаборатория геодинамики и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: MarlouBT2011@yandex.ru

СПОСОБ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ ТЕЛ С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА***Аннотация:**

В соответствии с законом формирования природных напряжений величина на глубинах более 500 м, т.е. ниже зоны дезинтеграции массива, с учетом гравитационно-тектонических напряжений может возрасти до -130 ÷ -160 МПа. При ведении горных работ в этих условиях в приконтурном массиве очистных и подготовительных выработок величина напряжений может превысить -200 ÷ -300 МПа, что уже частично наблюдается при ведении очистных работ на шахте «Естюнинская», где напряжения в лобовиках дучек достигают -240 ÷ -300 МПа, и они разрушились: в кровле скреперных ортов - 270 МПа; в кровле погрузочных штреков - 250 МПа; в стенах -170 ÷ -240 МПа.

На других рудниках с менее прочными породами такая ситуация потребует проведения специальных работ по укреплению массива горных пород или внедрению новых способов разработки месторождений.

В данной статье предложен способ разработки мощных крутопадающих рудных тел с закладкой выработанного пространства, включающий отработку очистных камер первой и последующих очередей, кровли и днищ которых придают полигональную форму. Он отличается от похожих способов тем, что работы ведутся с

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.04.018

Zubkov Albert V.

Doctor of Technical Sciences,
Chief Researcher,
Laboratory of geodynamics and rock pressure,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
58 Mamina-Sibiryak Str.,
620075 Ekaterinburg
e-mail: stress.igd@mail.ru

Krinitsyn Roman V.

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory of geodynamics
and rock pressure,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: krin@igduran.ru

Ushakov Evgeny M.

Junior Researcher,
Laboratory of geodynamics and rock pressure,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: ushak@mail.ru

Karamnov Dmitry V.

Junior Researcher,
Laboratory of geodynamics and rock pressure,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: MarlouBT2011@yandex.ru

METHOD FOR DEVELOPING POWERFUL STEEP-DIVIDING ORE BODIES WITH BACKING OF WORKED OUT SPACE**Abstract:**

In accordance with the law of formation of natural stresses, the value at depths of more than 500 m, i.e. below the zone of disintegration of the massif, taking into account gravitational and tectonic stresses, can increase to -130 – -160 MPa. When mining operations are carried out under these conditions, in the contiguous array of treatment and preparatory workings, the stresses can exceed -200 – -300 MPa, which is already partially observed during cleaning operations at the Estyuninskaya mine, where the stresses in the lobes of the ducklings reach -240 – -300 MPa and they collapsed: in the roof of the scraper shafts -270 MPa; in the roof of loading shafts - 250Mpa, and in the walls -170 – -240 MPa. In other mines with less durable rocks, this situation will require special work to strengthen the rock mass or introduce new methods of field development.

In this article, a method is proposed for the development of powerful steeply falling ore bodies with the laying of a developed space, including the development of purification chambers of the first and subsequent stages, the roof and bottom of which are given a polygonal shape. It differs from similar methods, in that the work is carried out with the abandonment of the interstitial diamond-shaped pillars of an

* Исследования выполнены в рамках Гос. задания №075-00410-25-00. № гос. рег. 123012300007-7.
Тема 3 (2025-2027)



оставлением межэтажных ромбовидных целиков асимметричной формы. Асимметричные целики обеспечивают заклинивание и смещение пород и исключают подвижки в сторону нижних горизонтов, что позволяет осуществлять очистные работы на нескольких горизонтах.

Ключевые слова: управление горным давлением, ромбовидные целики, высокое напряженное состояние, порядок отработки, камерная система разработки.

asymmetric shape. The asymmetric pillars ensure rock jamming and displacement and exclude movements towards the lower horizons, which allows cleaning operations to be carried out on several horizons.

Key words: rock pressure control, block system, high stress state, order mine of the deposit, camera development system.

Введение

Тенденция к увеличению глубины ведения горных работ неизбежно связана с проблемой возрастания величины напряжений, действующих в массиве горных пород, что может приводить к нарушению его устойчивости и повреждению горных выработок. Обеспечение устойчивости очистных выработок является актуальной задачей, от результата решения которой во многом зависит эффективность и безопасность работы горнодобывающих предприятий [1].

Оценка устойчивости горных конструкций должна базироваться на знании природного поля напряжений на территории объекта (напряженно-деформированного состояния массива пород), его перераспределения в элементах конструкций и сравнении с прочностными и деформационными характеристиками материала конструкции (горной породы, бетона и т.п.).

К настоящему времени как в РФ, так и за рубежом накоплена огромная база данных о величине природных напряжений в массивах горных пород как функции гравитационных и тектонических напряжений, являющихся постоянными в исследованной точке горного массива участка земной коры. В то же время геологи считают, что Земле присущи циклические изменения размеров и вызываемая этим явлением деформация земной коры (массива горных пород). Геологические циклы деформации Земли имеют периодичность от часов до миллиардов лет.

Аварийные ситуации на сооружениях,озведенных в массиве горных пород, связаны с изменением его напряженно-деформированного состояния, имеющего переменную величину в результате объемного и равномерного периодического расширения и сжатия Земли. В соответствии с физическим законом о том, что природное напряженное состояние земной коры формируется в результате наложения полей напряжений, обусловленных гравитационными и тектоническими силами Земли, а также переменными астрофизическими силами, оно представлено нормальными компонентами тензора напряжений.

Одним из важнейших факторов, определяющих развитие опасных процессов в массиве горных пород, является изменение природных напряжений во времени, которые в сочетании с иерархически-блочной структурой массива за счет техногенных процессов формируют в нем неоднородное напряженно-деформированное состояние, в котором величины напряжений и деформаций значительно отличаются от средних значений. Устойчивость и безопасность объектов недропользования, оказавшихся связанными с этой неоднородной и нестабильной средой, всецело зависят от их местоположения относительно активных структурных элементов массива горных пород с повышенными деформациями и напряжениями [2 – 4].

В качестве одной из мер, направленных на повышение устойчивости очистных выработок, предлагается выбор оптимального способа отработки запасов. В данной статье представлена камерная схема отработки рудного тела с твердеющей закладкой выработанного пространства, находящегося на большой глубине в условиях повышенных напряжений.



В настоящее время основные трудности при эксплуатации этажно-камерных систем разработки связаны с проблемами безопасности ведения очистных работ добычи полезного ископаемого и ухудшением технико-экономических показателей.

Объект исследования

Данный способ был рассмотрен для условий Гайского месторождения медно-колчеданных руд, являющегося одним из крупнейших в мире. В составе уникальной Гайской руды, кроме меди, содержатся цинк, свинец, сера, золото, серебро, а также редкие и рассеянные элементы. На сегодняшний день Гайский горно-обогатительный комбинат занимает второе место в Российской Федерации после сырьевого производства Норильского района. Все добываемые руды перерабатываются на собственной обогатительной фабрике комбината. Основными видами товарной продукции являются медный и цинковый концентраты.

Месторождение представлено несколькими изолированными рудными залежами сложных линзообразных и жилообразных форм, различающимися по минеральному составу (сплошной медный колчедан, медно-цинковый колчедан, серный колчедан и прожилково-вкрапленные руды). Рудовмещающая свита представлена альбитофирами, туфобрекчиями, туфами основного и смешанного составов, интенсивно рассланцованными и окварцованными.

С целью ускорения вовлечения в эксплуатацию богатых руд и увеличения мощности предприятия разработку месторождения вели комбинированным способом с совмещением открытых и подземных работ.

На данный момент рудные тела отрабатываются этажно-камерной системой разработки с твердеющей закладкой с применением самоходного оборудования. При мощности рудного тела до 15 – 20 м длинная сторона камер располагается по простирианию, при большей мощности – вкрест простириания рудного тела. Параметры очистных камер следующие: длина 30 – 80 м (или равна мощности рудного тела), ширина 20 м, высота камеры равна высоте этажа 80 м. Толщина днища и размещение буровых горизонтов определяются из параметров предельной глубины бурения и составляют 25 – 30 м.

После выемки камерных запасов производится заполнение очистной камеры закладочной смесью. В качестве вяжущего материала используется цемент, а в качестве заполнителя – хвосты обогатительной фабрики. Прочность закладки составляет от 0,5 до 3 МПа в зависимости от очередности отработки камер.

Результаты исследований

Полученные результаты на Гайском подземном руднике послужили основанием для представления новой гипотезы формирования природных напряжений в массиве горных пород (табл. 1). Также была выдвинута гипотеза, заключающаяся в том, что изменение с высокой частотой напряженно-деформированного состояния массива обусловлено в том числе астрофизическими полями и излучениями, а не только тектоническими силами, как считалось ранее [2].

Исследованиями по определению устойчивости очистных камер, проводимыми на Гайском подземном руднике, было установлено, что обрушение пород висячего бока достигало 20 % от общей длины камеры, а высота свода обрушения кровли достигала 8 м.

При самообрушении горных пород висячего бока и кровли камер возрастают потери и разубоживание руды, создавая дополнительные сложности при обогащении руды, что в свою очередь приводит к увеличению себестоимости добычи и существенно ухудшает технико-экономические показатели по предприятию в целом [5–7].



Таблица 1
Гипотезы формирования природных напряжений в массиве горных пород

Автор гипотезы	Гипотеза
А. Гейм, 1878 г.	$\sigma_x^{\Pi} = \sigma_y^{\Pi} = \sigma_z^{\Pi} = -\gamma H$
А.Н. Динник, 1926 г.	$\sigma_z^{\Pi} = -\gamma H$ $\sigma_x^{\Pi} = \sigma_y^{\Pi} = -\lambda \gamma H$
N. Hast, 1960 г.	$\sigma_z^{\Pi} = -\gamma H$ $\sigma_x^{\Pi} = -\lambda \gamma H + T_1$ $\sigma_y^{\Pi} = -\lambda \gamma H + T_2$
ИГД УрО РАН, 2013 г.	$\sigma_z^{\Pi} = -\gamma H + \sigma_{Zm} + \sigma_{Z_{\Lambda\Phi}}$ $\sigma_x^{\Pi} = -\lambda \gamma H + \sigma_{Xm} + \sigma_{X_{\Lambda\Phi}}$ $\sigma_y^{\Pi} = -\lambda \gamma H + \sigma_{Ym} + \sigma_{Y_{\Lambda\Phi}},$ где $\sigma_{Xm} + \sigma_{X_{\Lambda\Phi}} = T_1$ $\sigma_{Ym} + \sigma_{Y_{\Lambda\Phi}} = T_2$ $\sigma_{Z_{\Lambda\Phi}; X_{\Lambda\Phi}; Y_{\Lambda\Phi}} = \sum_{i=K+1}^{K+2} \sigma_{i(t)}$

Причины разрушения висячего и лежачего боков залежи 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 в субширотном направлении, вдвое превышают напряжения меридионального направления и в 1,5 раза больше вертикальных [8–11].

Перспективы направления дальнейшего ведения работ

Известен способ разработки полезных ископаемых камерами с обрушением вмещающих пород и возведением искусственных целиков в выработанном пространстве путем заполнения пустот в обрушенных породах вяжущим раствором на границе с очередной очистной камерой [12].

Однако этот способ характеризуется низкой производительностью добычи полезного ископаемого, что обусловлено сравнительно длительным набором прочности закладочных смесей и невозможностью ведения работ на нескольких горизонтах в смежных камерах одновременно.

Кроме того, известен способ разработки крутопадающих тел, включающий отработку первичных и вторичных камер со смещением камер нижележащего этажа на половину их ширины, кровле и днищу которых придают сводчатую (ромбовидную) форму [13, 14].

Недостатком такого способа является сравнительно низкая устойчивость очистных камер третьей очереди в условиях высокого напряженного состояния массива горных пород на больших глубинах и накопленных значительных объемах выемочных пустот. А также происходит снижение качества руды за счет обрушения очистных камер с

заложенным выработанным пространством, в результате чего происходит разубоживание и засорение руды, снижение темпов разработки месторождения за счет набора прочностных свойств закладочных смесей в отработанных камерах.

Для обеспечения безопасности и повышения производительности рудника при отработке мощных крутопадающих рудных тел с закладкой выработанного пространства при одновременной выемке руды на нескольких горизонтах предлагается вести отработку очистных камер первой и последующих очередей с оставлением междуэтажных целиков ромбовидной асимметричной формы.

Способ предполагает разработку секциями, включающими камеры первых (I), вторых (II) и третьих очередей (III). Ширина камер первой очереди I в два раза больше ширины камер II-III очередей и составляет 40 м. При оформлении забоя камер I очереди ему придают выпуклую коническую форму (рис. 1).

На рис. 1 изображена схема ведения очистных работ в пределах горизонта (этажа) с оставлением междуэтажных асимметричных ромбовидных целиков и камер I, II и III очереди.

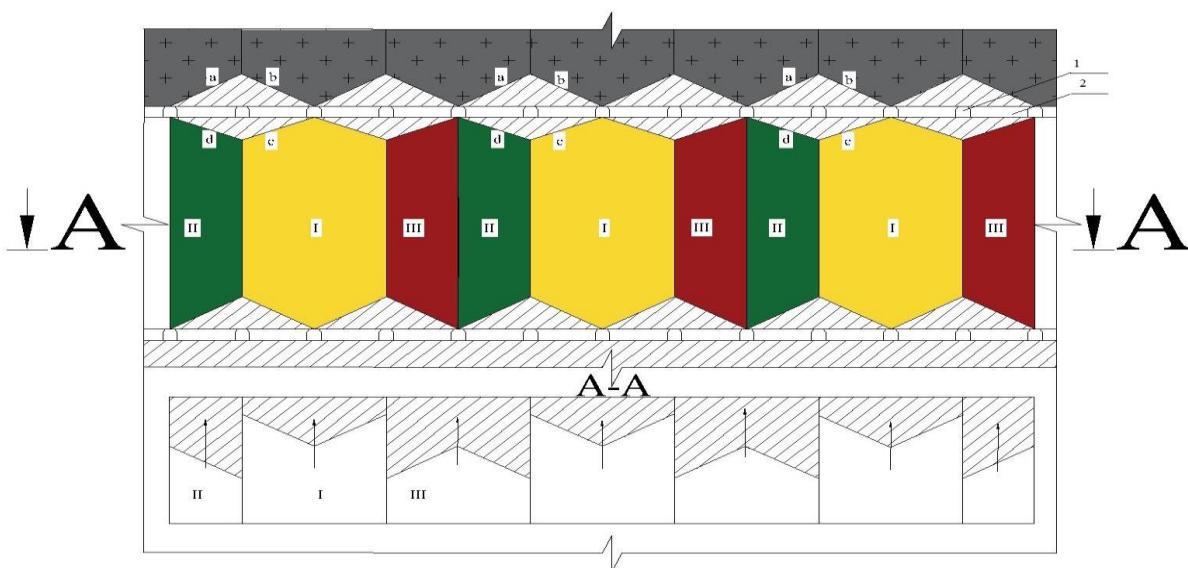


Рис. 1. Схема ведения очистных работ в пределах горизонта (этажа) с оставлением междуэтажных асимметричных ромбовидных целиков и камер I, II и III очереди в вертикальном сечении: 1 – выпускная выработка; 2 – откаточный штrek; a, b, c, d – стороны междуэтажного целика ромбовидной асимметричной формы

Для повышения безопасности очистных работ исключается прямой контакт отбиваемых камер на нижнем этаже с заложенными камерами на верхнем этаже путем оставления на горизонте междуэтажных целиков ромбовидной асимметричной формы, оформленных по контуру так, чтобы сторона «а» не была параллельна стороне «с», а сторона «в» не была параллельна стороне «д». Кроме того, сторона «а» по линейным размерам больше, чем сторона «с», а сторона «в» по линейным размерам больше, чем сторона «д» для обеспечения заклинивания асимметричных ромбовидных целиков в слу чае их подвижек в сторону нижних горизонтов.

Ромбовидный целик вынимают после выемки камерных запасов как на верхнем горизонте, так и на нижнем. Форма целика выбрана такой, чтобы после его обнажения при выемке любой из оконтуривающих его камер он не имел возможности смещаться в сторону выработанного пространства. Целик будет находиться в расклиниченном состоянии после того, как будут отработаны и заложены две камеры сверху целика – стороны а и б, две камеры внизу целика – стороны д и с (рис. 2).

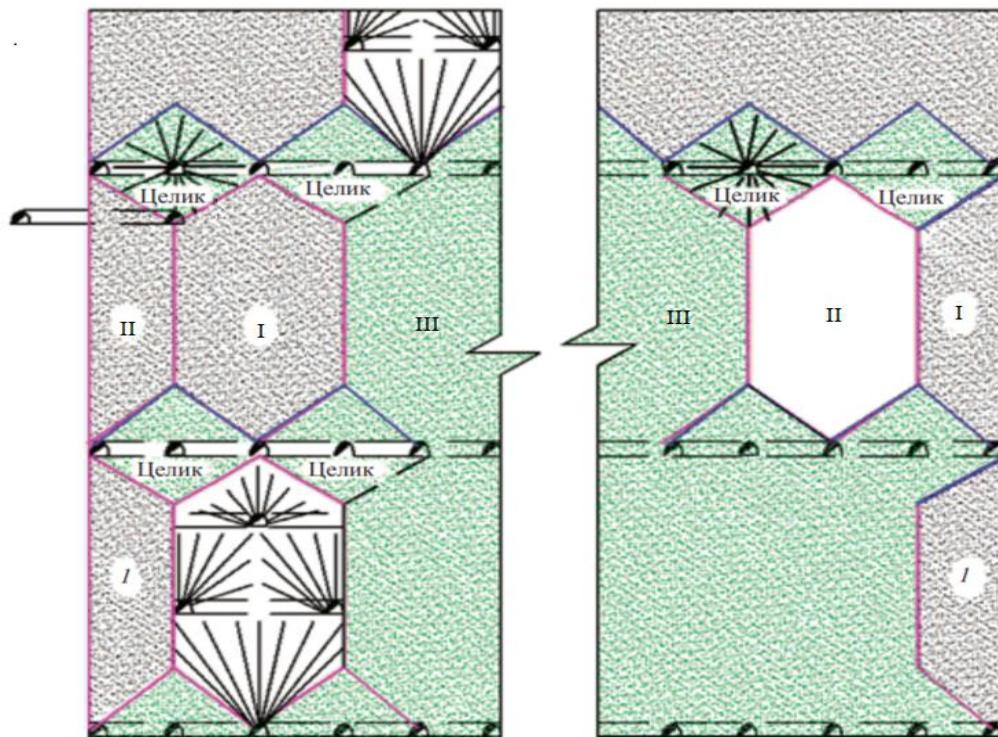


Рис. 2. Схема ведения очистных работ в пределах этажа с оставлением и отработкой междуэтажных асимметричных целиков с очередностью отработки

Для повышения безопасности и эффективности горных работ в условиях высокого напряженного состояния массива горных пород на больших глубинах на каждом горизонте оставляют в качестве камер первой очереди сдвоенные массивы камер мощностью 40 м, придав их забою выпуклую форму, тем самым позволяя увеличить устойчивость камеры и эффективность разработки. Разработку очистных камер первой и последующих очередей, кровле и днищу которых придают полигональную форму, начинают с отработки камер первой очереди в центре фронта, параллельно проводя буровые работы камеры первой и второй очереди. После того как закладочный материал камеры первой очереди набрал соответствующую прочность, а закладочный материал последующих камер первой очереди продолжает набирать прочность, приступают к разработке камер второй очереди и подготовке камер третьей очереди. После выпуска руды из очистных камер заполняют выработанное пространство закладочным материалом в границах очистного пространства [15].

В предлагаемом способе разработки по геомеханическим соображениям длину камер можно увеличивать до инструментально определяемого безопасного параметра. К примеру, на Естюнинском месторождении с очень высоким уровнем природных напряжений после внедрения податливых потолочных и разделительных междукамерных целиков даже при отработке последующих горизонтов (2 – 3 горизонта ниже) удавалось увеличить длину камер с 50 м по ранним проектам до 100 – 220 м. Ограничивали только по геологическим и технологическим показателям при этажно-камерной системе разработки на рудных телах мощностью до 50 – 60 м при угле падения 45 – 80°, длине по простирианию до 1300 м и высоте этажа 60 м.

На рис. 2 приведена схема ведения очистных работ в пределах нескольких горизонтов с оставлением междуэтажных асимметричных ромбовидных целиков с очередностью отработки.

С целью повышения безопасности и эффективности данного способа отработку междуэтажных временных целиков производят с применением дистанционно управляем-



мых погрузочно-доставочных машин (ПДМ) после проведения буро-доставочных выработок через закладочный массив по спецпроекту.

Заключение

Основные практические выводы и рекомендации, полученные при выполнении работы, сводятся к следующему: повышение производительности рудника достигается тем, что разработка мощных крутопадающих рудных тел с закладкой выработанного пространства в условиях прогнозируемого высокого напряженно-деформированного состояния осуществляется при одновременной выемке руды на нескольких горизонтах с применением самоходной погрузочно-доставочной техники, включающая отработку на горизонтах очистных камер первой и последующих очередей с оставлением междуэтажных целиков ромбовидной формы в крепких рудах, не склонных к самовозгоранию.

Список литературы

1. Сосновская Е.Л., Харисова О.Д., 2025. Влияние интенсивности отработки рудного тела на сохранность подготовительных выработок в условиях больших глубин. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 1, С. 639-649.
2. Зубков А.В., 2016. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры. *Литосфера*, № 5, С. 146-151.
3. Афанасьев С.Л., 1998. *Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Циклическая динамика в природе и обществе*. Москва: Научный мир, Т.1, С. 88-94.
4. Авдеев А.Н., Сосновская Е.Л., Селин К.В., 2023. Определение первоначальных напряжений массива горных пород при комбинированной отработке в подземных условиях. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 4, С. 352-364.
5. Влох Н.П., 1994. *Управление горным давлением на подземных рудниках: Производственно-практическое издание*. Москва: Недра, 208 с.
6. Timonin V.V., Kondratenko A.S., 2015. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes. *Journal of mining science*, Vol. 51, No 5, pp. 1056 – 1061.
7. Jianju Du, Xiang huiQin, Qingli Zeng, 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. Зубков А.В., Феклистов Ю.Г., Липин Я.И. и др., 2016. Деформационные методы определения напряженного состояния пород на объектах недропользования. *Проблемы недропользования*, № 4 (11), С. 41-49.
9. Ушаков М.Ю., Тельнов Ю.В., 2020. Обоснование и разработка технико-технологических решений по обеспечению безопасной отработки залежей, склонных к горным ударам на больших глубинах. *Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 19–21 мая 2020 года*. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. Том Выпуск 24. Часть I. Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, С. 120-124.
10. Гарифуллина И.Ю., Гузенко А.Д., 2024. Управление горным давлением при подземной отработке месторождений. *Вестник Северо-Восточного государственного университета*, № 42, С. 91-94.
11. Рассказов М.И., Рассказов И.Ю., Потапчук М.И. и др., 2023. Моделирование полей напряжений и оценка удароопасности конструктивных элементов системы разработки Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд. *Горная промышленность*, № S5, С. 72-79. DOI 10.30686/1609-9192-2023-5S-72-79.



12. Зубков А.В., 2001. *Геомеханика и геотехнология*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 333 с.
13. Волков Ю.В., 2001. *Системы разработки подземной геотехнологии медноколчеданных месторождений Урала*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 248 с.
14. Сентябов С.В., 2025. Разработка мощных крутопадающих рудных тел с закладкой выработанного пространства в условиях высокого напряженного состояния массива горных пород на больших глубинах. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 1, С. 17-28. DOI 10.21440/0536-1028-2025-1-17-28.
15. Пат. № 2810041 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/22. *Способ разработки мощных крутопадающих рудных тел с закладкой выработанного пространства*: № 2023116265: заявл. 21.06.2023: опубл. 21.12.2023 / А.В. Зубков, С.В. Сентябов, Д.В. Карамнов; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук.

References

1. Sosnovskaya E.L., KHarisova O.D., 2025. Vliyanie intensivnosti otrabotki rudnogo tela na sokhrannost' podgotovitel'nykh vyrabotok v usloviyakh bol'sikh glubin [Influence of the intensity of ore body processing on the safety of preparatory workings in conditions of great depths]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, № 1, P. 639-649.
2. Zubkov A.V., 2016. Zakon formirovaniya prirodnogo napryazhennogo sostoyaniya zemnoi kory [The law of formation of the natural stress state of the Earth's crust]. Litosfera, № 5, P. 146-151.
3. Afanas'ev S.L., 1998. Atlas vremennykh variatsii prirodnykh, antropogenykh i sotsial'nykh protsessov [Atlas of temporal variations of natural, anthropogenic and social processes. Cyclical dynamics in nature and society]. Tsiklicheskaya dinamika v prirode i obshchestve. Moscow: Nauchnyi mir, Vol.1, P. 88-94.
4. Avdeev A.N., Sosnovskaya E.L., Selin K.V., 2023. Opredelenie pervonachal'nykh napryazhenii massiva gornykh porod pri kombinirovannoj otrabotke v podzemnykh usloviyakh [Determination of the initial stresses of the rock mass during combined mining in underground conditions]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, № 4, P. 352-364.
5. Vlokh N.P., 1994. Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh: Proizvodstvenno-prakticheskoe izdanie [Rock pressure management in underground ores: An industrial and practical edition]. Moscow: Nedra, 208 p.
6. Timonin V.V., Kondratenko A.S., 2015. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes . *Journal of mining science*, Vol. 51, No 5, pp. 1056 – 1061.
7. Jianju Du, Xiang huiQin, Qingli Zeng, 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. Zubkov A.V., Feklistov Yu.G., Lipin Ya.I. i dr., 2016. Deformatsionnye metody opredeleniya napryazhennogo sostoyaniya porod na obektakh nedropol'zovaniya [Deformation methods for determining the stress state of rocks at subsurface use facilities]. Problemy nedropol'zovaniya, № 4 (11), P. 41-49.
9. Ushakov M.Yu., Tel'nov.V., 2020. Obosnovanie i razrabotka tekhniko-tehnologicheskikh reshenii po obespecheniyu bezopasnoi otrabotki zalezhei, sklonnykh k gornym udaram na bol'sikh glubinakh [Substantiation and development of technical and technological solutions to ensure safe mining of deposits prone to rock impacts at great depths]. Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya: Trudy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, Novokuznetsk, 19–21 maya 2020 goda. Pod obshchei redaktsiei M.V. Temlyantseva. Vol. Vypusk 24. Chast' I. Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, P. 120-124.



-
10. Garifulina I.Yu., Guzenko A.D., 2024. Upravlenie gornym davleniem pri podzemnoi otrabotke mestorozhdenii [Rock pressure management during underground mining]. Vestnik Severo-Vostochnogo gosudarstvennogo universiteta, № 42, P. 91-94.
 11. Rasskazov M.I., Rasskazov I.Yu., Potapchuk M.I. i dr., 2023. Modelirovaniye polei napryazhenii i otsenka udaroopasnosti konstruktivnykh elementov sistemy razrabotki Yuzhno-Khinganskogo mestorozhdeniya margantsevykh rud [Modeling of stress fields and assessment of the impact hazard of structural elements of the system for the development of the Yuzhno-Khinganskoye deposit of manganese ores]. Gornaya promyshlennost', № S5, P. 72-79. DOI 10.30686/1609-9192-2023-5S-72-79.
 12. Zubkov A.V., 2001. Geomekhanika i geotekhnologiya [Geomechanics and geotechnology]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 333 p.
 13. Volkov Yu.V., 2001. Sistemy razrabotki podzemnoi geotekhnologii medno-kolchedannykh mestorozhdenii Urala [Systems for the development of underground geotechnologies of copper-mineralized deposits in the Urals]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 248 p.
 14. Sentyabov S.V., 2025. Razrabotka moshchnykh krutopadayushchikh rudnykh tel s zakladkoi vyrabotannogo prostranstva v usloviyakh vysokogo napryazhennogo sostoyaniya massiva gornykh porod na bol'shikh glubinakh [Development of powerful steeply falling ore bodies with the laying of the worked-out space in conditions of high stress of the rock mass at great depths]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal, № 1, P. 17-28. DOI 10.21440/0536-1028-2025-1-17-28.
 15. Pat. № 2810041 C1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK E21C 41/22. Sposob razrabotki moshchnykh krutopadayushchikh rudnykh tel s zakladkoi vyrabotannogo prostranstva [A method for developing powerful steeply falling ore bodies with the laying of a mined area]: № 2023116265: zayavl. 21.06.2023: opubl. 21.12.2023 / A.V. Zubkov, S.V. Sentyabov, D.V. Karamnov; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut gornogo dela Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk.