



БУТОБЕТОННАЯ ЗАКЛАДКА НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Ю. Н. Шапошник, С. А. Неверов, А. А. Неверов

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, E-mail: shaposhnikyury@mail.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Рассмотрена технология возведения бутобетонных закладочных массивов. Определены свойства искусственных целиков в зависимости от вмещающих пород, добытых при проходке горных выработок на месторождениях Ведугинское и Перевальное. На основе результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива пород при освоении камерной системы разработки с отбойкой руды из подэтажных выработок и формированием бутобетонных целиков установлены конструктивные особенности технологии выемки рудных залежей. Рекомендованы безопасные параметры системы разработки с комбинированной закладкой для отработки Ведугинского месторождения с учетом глубины очистных работ.

Вмещающие породы, бутобетонная закладка, технология возведения, лабораторные испытания, прочность, система разработки, параметры

RUBBLE CONCRETE FILLING IN UNDERGROUND MINES OF RUSSIAN FAR NORTH

Yu. N. Shaposhnik, S. A. Neverov, and A. A. Neverov

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: shaposhnikyury@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The technology of laying rubble concrete filling masses is considered. The properties of artificial pillars have been determined depending on the enclosing rocks extracted during the excavation of mine workings at the Veduginskoye and Perevalnoye deposits. Based on the results of numerical modeling of stress-strain state of the rock mass during the development of chamber mining system with ore breaking from sublevel workings and formation of rubble concrete pillars, main design features of the technology of ore deposit extraction are determined. Safe parameters of the mining system with a combined backfill for the development of the Veduginskoye field are recommended, taking into account the depth of stoping.

Enclosing rocks, rubble concrete filling, laying technology, laboratory tests, strength, mining system, parameters

Анализ технологий возведения бутобетонных закладочных массивов. Ведение горных работ в условиях криолитозоны характеризуется рядом природных факторов, определяющих технологию разработки, основными из которых являются суровые климатические условия и мерзлое состояние вмещающих пород; сложный и труднодоступный рельеф местности; снижение прочности породы при оттаивании; вентиляция и пылеподавление (смерзание руды, заполнение старых выработок льдом и т. д.) [1]. Известны следующие отдельные методы возведения искусственных массивов: метод залива, инъекционный способ возведения закладочных массивов, метод погружения крупного заполнителя в раствор [2]. Сущность этих методов заключается в отдельной подаче вяжущего раствора и заполнителя с последующим смешиванием их в процессе укладки, либо перед сбросом в выработанное пространство.

Как показывает анализ мирового и отечественного опыта, одним из перспективных путей снижения себестоимости закладочных работ при камерных системах разработки является применение бутобетонной закладки, где в качестве заполнителя используется порода от проходческих работ без дополнительного измельчения [3–5]. Так, на руднике ОАО “Приаргунское производственное горно-химическое объединение (ППГХО)” подача вяжущего раствора и крупнокускового заполнителя к месту закладочных работ осуществлялась отдельно. Состав литой твердеющей смеси для породобетонной закладки для условий ОАО “ППГХО” представлял собой варианты смесей:

— цемент М400 — 172 кг/м³, песчано-гравийная смесь — 1590 кг/м³; вода — 344 л; добавка Мегалит С-ЗРС — 0.77 кг/м³, время схватывания — 8 ч; водоцементное отношение В/Ц — 2.0, прочность закладочного массива в возрасте 28 сут — 3.0 МПа;

— цемент М400 — 224 кг/м³, песчано-гравийная смесь — 1545 кг/м³, вода — 344 л, добавка Мегалит С-ЗРС — 1.01 кг/м³, время схватывания — 8 ч, отношение В/Ц — 1.53, прочность закладочного массива в возрасте 28 сут — 6.0 МПа.

Технология приготовления и подачи закладочной смеси в выработанное пространство очистных камер достаточно разработана и апробирована на подземных рудниках России и Казахстана [6–15]. Однако условия Крайнего Севера накладывают свои ограничения на применение бутобетонной закладки на подземных рудниках, к которым относятся низкие температуры окружающей среды при гидратации закладочных смесей и мерзлое состояние вмещающих пород.

Опытно-промышленные испытания бутобетонной закладки успешно проведены на подземных рудниках АО “Полиметалл”, расположенных в криолитозоне: Майском, Биркачан, Албазино, выполнены исследования для месторождения Перевальное. Примерно 90 % всех очистных камер закладывается пустыми породами от проходческих работ.

Использование закладочной смеси на месторождении Биркачан с расходом материалов: цемент М500 — 200 кг/м³, порода крупной фракции — 1968 кг/м³, вода — 170 л показало себя с положительной стороны. Отработка прилегающих (смежных) камер не провоцировала обрушений искусственного массива. Состояние возведенных бутобетонных целиков оценивалось как удовлетворительное, прочность закладки в возрасте 90 сут изменялась от 2.5 до 10.0 МПа, в среднем 8.4 МПа, что достаточно для проведения добычных работ в очистной камере. На участке обнажения закладочного массива наблюдалась равномерная пропитка цементного раствора по породной массе, присутствовали пустоты, приуроченные к неоднородной фракции скального материала. Приготовление бутобетона осуществлялось в следующем порядке. Мелкая фракция породы от проходки горных выработок и цемент в упаковке массой 900 кг доставлялись в ковше погрузочно-доставочных машин (ПДМ) до зумпфа объемом 40 м³, вода — в емкостях по 1 м³. Далее ковшом ПДМ цемент и вода перемешивались. После перемешивания и получения цементного молока в зумпф разгружали три ковша породы (9 м³) и перемешивание продолжалось до получения бутобетона, Затем готовая закладочная смесь транспортировалась в очистную камеру.

В ходе выполнения исследований разработаны рецептуры составов закладочных смесей с использованием различных способов приготовления цементирующей матрицы. Испытаниями образцов бутобетонной закладки установлено, что в возрасте 14 сут при расходе вяжущего 130 кг/м³ их прочность достигает 3.46–3.48 МПа, в возрасте 30 сут — 4.04–4.06 МПа. В тоже время при расходе вяжущего 80 кг/м³ прочность образцов на 14 и 30 сут составляла 1.24–1.26 и 1.37–1.42 МПа соответственно (рис. 1).

Анализ технологии закладочных работ на подземных рудниках показал, что приготовление и формирование бутобетонных закладочных массивов может происходить по разным вариантам. Наибольшее распространение получили схемы предварительного приготовления бутобетонной закладки с последующей ее доставкой в отработанные камеры выемочных единиц.

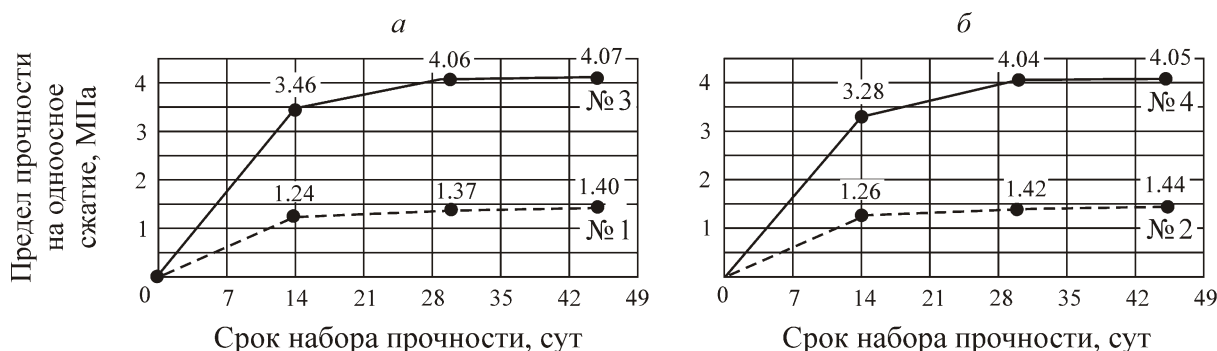


Рис. 1. Динамика набора прочности для контрольных составов: составы № 1, 2, 3 и 4 соответственно, кг/м³: цемент — 80, 80, 130 и 130; инертный материал — 2065, 1955, 1970 и 1860; вода — 180, 180, 200 и 200; Ц/В — 0.45, 0.45, 0.6 и 0.6

В связи с изложенным технологии с возведением бутобетонных междукамерных и междуэтажных целиков являются весьма перспективным направлением эффективной и безопасной разработки рудных месторождений.

Технология возведения бутобетонных закладочных массивов на месторождении Перевальное. Лабораторные испытания бутобетонной закладки для условий месторождения “Перевальное” выполнены в аккредитованной испытательной лаборатории АО “Западно-Сибирский испытательный центр”. Подбор состава бутобетона проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 27006-86 “Бетоны. Правила подбора состава” [16].

Заполнитель для приготовления бутобетонной закладки представлен пустыми породами от проходческих работ — смесь песчаников и алевролитов месторождения “Перевальное”. Предел прочности на одноосное сжатие песчаников 85.8 МПа, алевролитов — 69.09 МПа. Влажность песчаников 1.84 %, алевролитов — 1.99 % [17]. В качестве вяжущего материала использовался портландцемент марки М400. Расчет составов и выбор компонентов закладочной смеси осуществлялся по методике “абсолютных” объемов для бетонных смесей и адаптированному к условиям бутобетонных закладочных смесей [2].

Сумма абсолютных расходов объемов исходных материалов в 1 м³ готовой смеси рассчитывается по формуле:

$$\frac{Ц}{\gamma_{ц}} + \frac{П}{\gamma_{п}} + \frac{В}{\gamma_{в}} = 1, \quad (1)$$

где Ц, П и В — расход цемента, пустой породы от проходческих работ и воды, т/м³; $\gamma_{ц} = 3.0$ — плотность цемента, т/м³; $\gamma_{пор}^{ал} = 2.51$ — плотность алевролитов, т/м³; $\gamma_{пор}^{пес} = 2.63$ — плотность песчаников, т/м³; $\gamma_{в} = 1.0$ — плотность воды, т/м³.

Нормативная прочность закладочных массивов в возрасте 20 сут для обеспечения устойчивости смежных камер должна составлять 2 МПа, по условию устойчивости в кровле камеры — не менее 4 МПа.

В ходе выполнения лабораторных исследований разработаны и испытаны два компонентных состава (рецептур) закладочной бутобетонной смеси:

I — при твердении закладки не менее 20 сут набор нормативной прочности бутобетонного закладочного массива не менее 2 МПа: цемент М400 — 100 кг/м³; порода от проходческих работ — 1950 кг/м³; вода — 180 л.

II — при твердении закладки не менее 45 сут набор нормативной прочности бутобетонного закладочного массива не менее 4 МПа: цемент М400 — 150 кг/м³, порода от проходческих работ — 2000 кг/м³, вода — 180 л.

Прочностные характеристики образцов-кубиков бутобетонной закладки в возрасте 90 сут приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Прочностные характеристики образцов-кубиков бутобетонной закладки для условий месторождения Перевальное в возрасте 90 сут

Номер п/п	Индекс состава	Расход компонентов, кг/м ³			Прочность, МПа
		Портландцемент М400	Инертный заполнитель	Затворитель	
1	I-1	100	1950	180	5.5
2	I-2	100	1950	180	6.7
3	I-3	100	1950	180	6.4
4	II-1	150	2000	180	6.3
5	II-2	150	2000	180	9.7
6	II-3	150	2000	180	8.7

Примечание. I состав: цемент М400 — 100 кг/м³, порода от проходческих работ — 1950 кг/м³, вода — 180 л; II состав: цемент М400 — 150 кг/м³; порода от проходческих работ — 2000 кг/м³; вода — 180 л

Прогнозную прочность закладочного массива в возрасте от 14 до 90 сут вычисляли по формуле [2]:

$$\sigma_y = \sigma_x \frac{\text{Ln}(y)}{\text{Ln}(x)}, \quad (2)$$

где x — время твердения массива до испытания, сут; y — прогнозное время обнажения закладочного массива, сут; σ_x , σ_y — фактическая и прогнозная прочность закладочного массива.

Прочность бутобетонного закладочного массива для компонентного состава I в возрасте 20 сут (должна быть не менее 2 МПа):

$$\sigma_{20} = \sigma_{90} \frac{\text{Ln}(20)}{\text{Ln}(90)} = 5.5 \cdot \frac{2.99}{4.49} = 3.66 \text{ МПа} > 2 \text{ МПа},$$

для компонентного состава II в возрасте 45 сут (должна быть не менее 4 МПа):

$$\sigma_{45} = \sigma_{90} \frac{\text{Ln}(45)}{\text{Ln}(90)} = 6.3 \cdot \frac{3.81}{4.49} = 5.34 \text{ МПа} > 4 \text{ МПа}.$$

Результаты показывают, что условия набора необходимой прочности бутобетонной закладкой по времени твердения 20 и 45 сут выполняются, следовательно безопасность ведения горных работ будет обеспечена.

Для получения более полной информации о физико-механических свойствах бутобетонной закладки проведены исследования образцов по установлению плотности закладки, сцепления, угла внутреннего трения и модуля упругости. Принимая во внимание неоднородность фракционного состава инертного заполнителя бутобетонной закладки, а также отсутствие выбуренных кернов из искусственного бутобетонного массива (деформационные свойства определяются согласно ГОСТ 28985-91 [18] с использованием цилиндрических образцов), исследования прочности на срез (сцепления, угла внутреннего трения), а также деформационных свойств (модуля упругости, коэффициента Пуассона) закладки осуществляли на образцах кубической формы с приложением нагрузки к ровным боковым граням методом среза со сжатием. Модуль упругости Юнга рассчитывался из отношения нагрузки к величине изменения высоты образца при постепенном нагружении. Скорость нагружения составляла 0.5 кН/мин, что примерно соответствует приращению напряжений 0.1 МПа в минуту. Величину модуля упругости вычисляли при нагрузке 40, 50 и 60 % от ожидаемой прочности на сжатие.

В условиях отрицательных температур весьма существенным является количество выделяемого тепла, продолжительность тепловыделения и влияние его на повышение температуры бетона [19]. В процессе твердения закладочного массива происходит химическая реакция гидратации вяжущего в закладочной смеси. Характерная особенность данной реакции — экзотермичность. Выделившееся тепло разогревает закладочный массив, теплообмен которого с рудничным воздухом и вмещающими горными породами в конечном итоге приводит к их нагреву [20].

Известно, что при замерзании бетона на ранних стадиях (в возрасте до четырех суток) его твердение может прерываться, так как вся вода переходит в твердую фазу, а твердые тела в химическое соединение почти не вступают [19]. К тому же свободная вода, замерзнув, расширяется на 10% от первоначального объема, создавая пористую структуру, и образует наледь на зернах щебня или гравия, препятствуя дальнейшему повышению прочности после размораживания. Это является главной причиной понижения прочности бетона при его раннем замерзании. Поэтому составы бутобетонной закладки при отрицательных температурах необходимо уточнять в ходе эксплуатации месторождения (например, при температурах около -20°C) или вводить в состав закладки противоморозные добавки.

Результаты лабораторных испытаний бутобетонной закладки на Ведугинском месторождении. Разработка запасов участка Юго-Восточный Ведугинского месторождения подземным способом планируется камерной системой разработки с формированием бутобетонных целиков и породной закладкой (рис. 2).

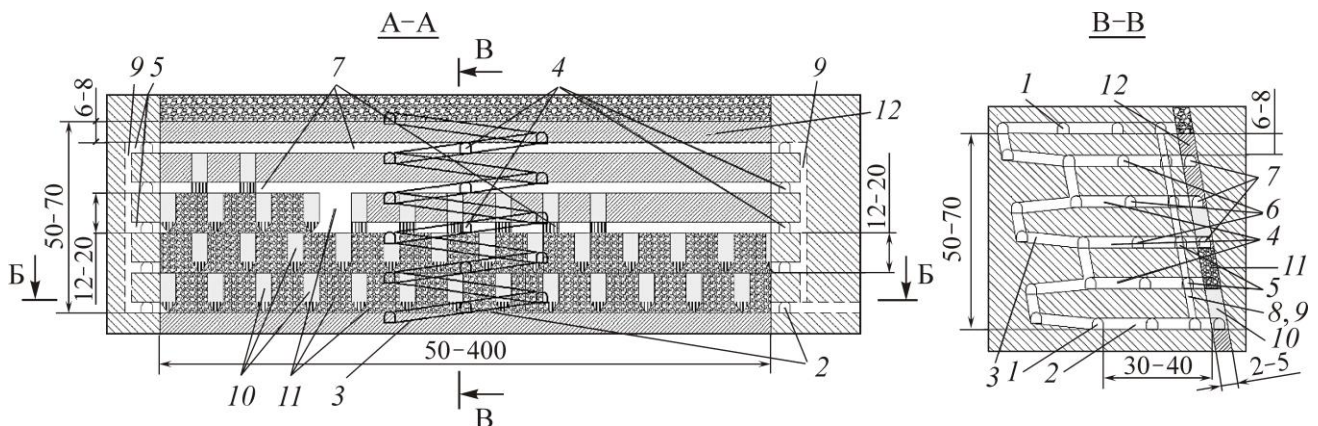


Рис. 2. Камерная системы разработки с формированием бутобетонных целиков: 1 — полевой откаточный штрек; 2 — полевой доставочный (вентиляционно-доставочный) орт; 3 — участковый спиральный съезд; 4 — заезд на подэтаж; 5 — ниша под рудоспуск и вентиляционный восстающий; 6 — полевые подэтажные штреки; 7 — буро-доставочные подэтажные рудные штреки; 8 — рудоспуски; 9 — вентиляционные восстающие; 10 — камера первой очереди (бутобетонные целики); 11 — камера второй очереди (породная закладка); 12 — междуэтажный целик

Сущность камерной системы разработки с отбойкой руды из подэтажных выработок с формированием бутобетонных целиков и породной закладкой заключается в следующем. Этаж разделяется на подэтажи высотой 12–20 м в зависимости от устойчивости массива пород. Выемка подэтажей в пределах этажа совершается в восходящем порядке. Запасы подэтажа отработываются в две очереди. Сначала закладываются бутобетоном камеры первой очереди. После набора закладочным массивом нормативной прочности и создания необходимого опережения фронта горных работ приступают к отработке камер второй очереди (между бутобетонными целиками). По мере их погашения с рудного штрека вышележащего подэтажа производится закладка выработанного пространства пустой породой (породы от горнопроходческих работ, отвальная масса с поверхности).

В качестве заполнителя для приготовления бутобетонной закладки, как было отмечено, применялись пустые породы от проходческих работ: смесь метапелитов, метаалевролитов, темно-серых сланцев и черных углеродистых сланцев Ведугинского месторождения. Предел прочности на одноосное сжатие метапелитов — 80.0 МПа, метаалевролитов — 94.8 МПа, темно-серых сланцев — 101.6 МПа, черных углеродистых сланцев — 102.7 МПа. Вяжущий материал представлен портландцементом без минеральных добавок марки 400 (ПЦ 400-Д0 по ГОСТ 10178-85) производства ООО “Красноярский цемент”. Прочностные характеристики образцов-кубов определяли на лабораторном прессе согласно ГОСТ 10180-2012 в возрасте 14, 20 и 45 сут. Составы бутобетонной закладки для лабораторных испытаний приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Составы бутобетонной закладки

Номер п/п	Расход компонентов на 1 м ³		
	Портландцемент ПЦ 400-Д0, кг	Порода, кг	Вода, л
I	90	2125	180
II	100	2130	180
III	130	2045	200

Результаты испытаний изготовленных образцов-кубов бутобетонной закладки представлены в табл. 3. Видно, что условия набора необходимой прочности бутобетонной закладкой при времени твердения в 20 и 45 сут выполняются, следовательно, безопасность ведения горных работ будет обеспечена.

ТАБЛИЦА 3. Деформационно-прочностные свойства образцов-кубов бутобетонной закладки в возрасте 14, 20 и 45 сут

Номер состава	Срок твердения, сут.	Прочность на сжатие, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град	Модуль упругости, ГПа
I	14	1.05	0.32	30	0.8
	20	1.20	0.36	31	1.01
	45	1.52	0.44	32	1.35
II	14	1.15	0.35	30	0.96
	20	1.31	0.39	31	1.15
	45	1.67	0.48	32	1.46
III	14	2.83	0.79	33	2.16
	20	3.21	0.90	34	2.35
	45	4.08	1.11	35	2.65

Исходя из лабораторных испытаний образцов-кубиков бутобетонной закладки для условий Ведугинского месторождения предлагается следующий компонентный состав закладочной смеси: при времени твердения не менее 20 сут набор нормативной прочности бутобетонного закладочного массива не менее 1.5–2.0 МПа, и не менее 45 сут — не менее 4.0 МПа: цемент М400 — 130 кг/м³; порода от проходческих работ — 2045 кг/м³; вода — 200 л.

Выполненный комплекс исследований по геомеханическому обоснованию безопасных параметров камерных систем разработки подэтажными штреками при отработке Юго-Восточной рудной зоны Ведугинского золоторудного месторождения позволил рекомендовать следующие конструктивные параметры и элементы системы разработки для массивов со средней и ниже средней степенью нарушенности (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. Параметры камерной системы разработки с бутобетонной закладкой

Параметр	Мощность залежи, м		
	2	5	10
Длина камеры I очереди (ширина бутобетонных целиков), м	5–6	6–7	8–10
Длина камеры второй очереди, м	18–20	15–18	10–12
Высота междуэтажных целиков, м	5	6–7	8–10
Высота подэтажа, м	15–20	15	12–15
Нормативная прочность бутобетонной закладки, МПа	≥ 3	≥ 4	≥ 5

ВЫВОДЫ

Разработаны составы бутобетонной закладки в условиях месторождений Ведугинское и Перевальное. Определены деформационно-прочностные свойства образцов-кубов бутобетонной закладки в различном возрасте. Установлены условия и безопасные параметры камерной системы разработки с отбойкой руды из подэтажных выработок и формированием комбинированного искусственного массива, представленного бутобетонными целиками с породной закладкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Rice V. V.** Determination of technology parameters with freezing backfill of worked-out space during the development of valuable ores of vein deposits in the permafrost zone, Thesis of Cand. Tech. Sciences, St. Petersburg Mining University, 2019, 215 pp. [**Райс В. В.** Определение параметров технологии с замораживаемой закладкой выработанного пространства при отработке ценных руд жильных месторождений в криолитозоне. Дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: СПбГУ, 2019. — 215 с.]
2. **Bitimbaev M. Zh., Krupnik L. A., and Shaposhnik Yu. N.** Theory and practice of stowing operations in the development of mineral deposits, Almaty, 2012, 624 pp. [**Битимбаев М. Ж., Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н.** Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых. — Алматы, 2012. — 624 с.]
3. **Medvedev V. V.** Substantiation of an effective technology for the formation of rock-concrete fill in chamber mining systems, Synopsis of Cand. Tech. Sci. Thesis, Chita, 2009, 20 pp. [**Медведев В. В.** Обоснование эффективной технологии формирования пороодо-бетонной закладки при камерных системах разработки, автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Чита, 2009. — 20 с.]
4. **Medvedev V. V.** Selection of the compositions of the hardening rock-concrete mixture for laying underground chambers, Kulagin Readings: materials of the XI International Scientific and Practical Conference, Chita, 2011, Part 3, pp. 50–52. [**Медведев В. В.** Подбор составов твердеющей пороодо-бетонной смеси для закладки подземных камер // Кулагинские чтения: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 3. — Чита, 2011. — С. 50–52.]
5. **Medvedev V. V. and Pakulov V. V.** Improving the technology of stowing operations with chamber mining systems with stowage, Bulletin of the Trans-Baikal State University, 2013, vol. 10 (101), pp. 25–31. [**Медведев В. В., Пакулов В. В.** Совершенствование технологии закладочных работ при камерных системах разработки с закладкой // Вестник ЗабГУ. — 2013. — Вып. 10 (101). — С. 2–31.]
6. **Kaplunov D. R., Kalmykov V. N., and Rilnikova M. V.** Combined Geotechnology, Moscow, Publishing House “Ore and Metals”, 2003, 560 pp. [**Каплунов Д. Р., Калмыков В. Н., Рыльникова М. В.** Комбинированная геотехнология. — М.: Изд. дом “Руда и металлы”. — 2003. — 560 с.]

7. **Kuzmenko A. M., Petlevany M. V., and Usatii V. Yu.** Bookmarking during the development of steep ore deposits in difficult mining and geological conditions, Monograph, Dnipropetrovsk, National Mining University, 2015, 139 pp. [Кузьменко А. М., Петлеваний М. В., Усатый В. Ю. Твердеющая закладка при отработке рудных крутых залежей в сложных горно-геологических условиях. Монография. — Днепропетровск: НГУ, 2015. — 139 с.]
8. **Yun R. B., Yakovenko V. G., and Lavrik V. D.** Technology of filling operations based on hardening mixture and coarse rock, Protection of subsoil and the natural environment based on the integrated use of mineral raw materials and resource-saving technologies, theses of the Republican scientific and practical conference, Ust-Kamenogorsk, 1989, 88 pp. [Юн Р. Б., Яковенко В. Г., Лаврик В. Д. Технология закладочных работ на основе твердеющей смеси и крупнокусковой породы // Охрана недр и окружающей природной среды на основе комплексного использования минерального сырья и ресурсосберегающих технологий: тезисы Респ. науч.-практ. конф. — Усть-Каменогорск., 1989. — 88 с.]
9. **Gusev Yu. P., Berezikov E. P., Krupnik L. A., Shaposhnik Yu. N., and Shaposhnik S. N.** Resource-saving ore mining technologies at the Maleevsky mine of the Zyryanovsky GOK (Kazzinc JSC), Mining Journal, 2008, no. 11, pp. 20–22. [Гусев Ю. П., Березиков Е. П., Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н. Ресурсосберегающие технологии добычи руды на Малеевском руднике Зырянского ГОКа (АО “Казцинк”) // Горный журнал. — 2008. — № 11. — С. 20–22.]
10. **Krupnik L. A. and Shaposhnik Yu. N.** Ways of utilization of rock from tunneling works in underground mines, Mining Information and Analytical Bulletin, 2005, no. 5, pp. 200–201. [Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н. Пути утилизации породы от проходческих работ на подземных рудниках // ГИАБ. — 2005. — № 5. — С. 200–201.]
11. **Berezikov E. P., Vykhodtsev V. L., Shakhov A. P., Krupnik L. A., Shaposhnik Yu. N., and Faustov S. I.** Schemes of utilization of rock from tunneling operations by self-propelled machines at the Maleevsky mine, Mining Journal of Kazakhstan, 2005, no. 3, pp. 8–10. [Березиков Е. П., Выходцев В. Л., Шахов А. П., Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Фаустов С. И. Схемы утилизации породы от проходческих работ самоходными машинами на Малеевском руднике // Горный журнал Казахстана. — 2005. — № 3. — С. 8–10.]
12. **Shaposhnik Y. N., Neverov A. A., Neverov S. A., Konurin A. I., and Shokarev D. A.** Development of technology for filling voids between metal frame support and adjacent rock mass by foam materials, Journal of Mining Science, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 237–247. [Шапошник Ю. Н., Неверов А. А., Неверов С. А., Конурин А. И., Шокарев Д. А. Разработка технологии забутовки закрепных пустот вспенивающимися материалами // ФТПРПИ. — 2018. — № 2. — С. 237–247.]
13. **Uskov V. A., Kondrat'ev S. A., and Neverov S. A.** Economic expediency of copper ore mining with waste rock fill of secondary stopes in the west wing of the Oktyabrsky deposit, Journal of Mining Science, 2017, 53(6), pp. 1090–1095. [Усков В. А., Кондратьев С. А., Неверов С. А. Об экономической целесообразности отработки западного фланга медистых руд Октябрьского месторождения с породной закладкой вторичных камер // ФТПРПИ. — 2017. — № 6. — С. 133–139.]
14. **Neverov A. A., Neverov S. A., Shaposhnik Yu. N., and Konurin A. I.** Analysis of stress-strain state of “contact ore zone-backfilling mass” system at the Orlovsky mine, Fundamental and Applied Mining Science, 2019, vol. 6, no. 2, pp. 193–200. [Неверов А. А., Неверов С. А., Шапошник Ю. Н., Конурин А. И. Анализ напряженно-деформированного состояния приконтурной рудной зоны с закладочным массивом на Орловской шахте // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — Т. 6. — № 2. — С. 193–200.]
15. **Shaposhnik Yu. N., Neverov S. A., Neverov A. A., Konurin A. I., and Shaposhnik S. N.** Geomechanical substantiation of sublevel caving when mining the lower horizons of the Orlovsky deposit, Fundamental and Applied Mining Science, 2019, vol. 6, no. 2, pp. 310–317. [Шапошник Ю. Н., Неверов С. А., Неверов А. А., Конурин А. И., Шапошник С. Н. Геомеханическое обоснование поэтажно-камерной системы разработки при освоении нижних горизонтов Орловского месторождения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — Т. 6. — № 2. — С. 310–317.]

16. **GOST 27006-86.** Concrete. Rules for the selection of the composition. [**ГОСТ 27006-86.** Бетоны. Правила подбора состава.]
17. **Technical report** “Engineering-geological and permafrost-hydrogeological studies during exploration at the deposit of silver-polymetallic ores” Perevalnoye”, LLC” NPP Hidrogeolog”, Magadan, 2015. [**Технический отчет** “Инженерно-геологические и мерзлотно-гидрогеологические исследования при производстве геологоразведочных работ на месторождении серебро-полиметаллических руд Перевальное. ООО “НПП Гидрогеолог”. — Магадан, 2015.]
18. **GOST 28985-91.** Mountain rocks. Method for determination of deformation characteristics under uniaxial compression. [**ГОСТ 28985-91.** Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии.]
19. **Rudenko D. V.** Methods for calculating the parameters of concrete heating using heating wires, St. Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2007, 11 pp. [**Руденко Д. В.** Методы расчета параметров прогрева бетона при помощи греющих проводов. — СПб.: СПбГАСУ, 2007. — 11 с.]
20. **Kazakov B. P., Zaitsev A. V., and Shalimov A. V.** Influence of stowing operations on the formation of thermal conditions in mine workings in the conditions of the mines of OJSC “Norilsk Nickel”, Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology, Oil and gas and mining, 2012, vol. 11, no. 2, pp. 110–114. [**Казаков Б. П., Зайцев А. В., Шалимов А. В.** Влияние закладочных работ на формирование теплового режима в горных выработках в условиях рудников ОАО “Норильский никель” // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2012. — Т. 11. — № 2. — С. 110–114.]