

**Л.А. Крупник, Ю.Н. Шапошник, С.Н. Шапошник**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА РУДНИКЕ ТЕЛЛУР ТОО «АКМОЛА ГОЛД»**

Приведена геологическая характеристика месторождения и запасы руд, принятых для проектирования. Приведена схема вскрытия и проведен выбор систем разработки для выемки золотосодержащих руд месторождения Теллур. Принята система разработки горизонтальными слоями в нисходящем порядке с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Проведен расчет основных параметров системы разработки. Даны расчетные значения допустимых пролетов обнажений бетонной закладки при различной толщине несущего слоя и прочности закладки при системе разработки нисходящими горизонтальными слоями. Принята технология производства закладочной смеси мельничным способом на основе цементно-золевого вяжущего с использованием в качестве заполнителя дробленой горной массы с самотечной доставкой закладочной смеси в выработанное пространство трубопроводным транспортом. Определена рецептура закладочных смесей. Выполнен расчет необходимой нормативной прочности закладочного массива в горизонтальном и вертикальном обнажениях при системе разработки нисходящими горизонтальными слоями. На основании проведенных лабораторных исследований построены корреляционные зависимости прочности закладочного массива от количества цемента в составе закладочной смеси. Приведены прочностные характеристики закладочных массивов при различной рецептуре закладочных смесей. Проведен расчет основного технологического оборудования для измельчения инертного заполнителя. Проведен расчет параметров закладочного трубопровода.

*Ключевые слова:* закладочный комплекс, твердеющая закладочная смесь, прочность закладочного массива.

**З**олоторудное месторождение Теллур находится в Акмолинской области Республики Казахстан в регионе с развитой золотодобывающей промышленностью. На месторождении выявлены три рудных тела (1а, 1б и 2-1), контролируемых двумя кварцево-жильными зонами. Рудовмещающие зоны № 1 и 2 расположены кулисообразно в 50–70 м друг от друга, имеют простирание  $340^\circ$  и пологое ( $30\text{--}45^\circ$  до  $5\text{--}15^\circ$ ) падение в западных румбах. Суммарно они прослежены до 500 м по простиранию и пересечены скважинами на глубинах от 30 до 190 м. Прослеженная протяженность каждой из зон около 300 м. Мощность зон колеблется от 3–5 до 10–3 м и в отдельных случаях до 16–19 м.

Месторождение Теллур характеризуется разнообразием залегания рудных тел, представленных маломощными (1,5–3,0 м) и средней мощности (3–10 м) рудными телами, с углами падения  $30\text{--}45^\circ$ , руды и вмещающие породы от устойчивых, средней устойчивости до неустойчивых, крепостью по шкале проф. М.М. Протоdjяконова  $f = 5\text{--}12$ . Породы склонны к самобрушению.

Запасы золотосодержащих руд месторождения Теллур по состоянию на 2010 г. по категории  $C_1 + C_2$  составляют 392,7 тыс. т при содержании золота 12,57 г/т и серебра 3,14 г/т. Производительность подземного рудника принята 60 тыс. т в год. Месторождение вскрывается автотранспортным

уклоном и фланговыми вентиляционными восстающими.

В соответствии с горно-геологическими условиями месторождения и учитывая опыт отработки месторождений в аналогичных условиях принята система разработки горизонтальными слоями в нисходящем порядке с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Основные параметры системы разработки: высота блока равна высоте этажа – 30–35 м, длина блока – 200–250 м, высота выемочного слоя – 3,0–3,2 м. Общие средневзвешенные расчетные потери и разубоживание руды по месторождению составляют: потери – 7,2%, разубоживание – 22,6%. При использовании слоевых систем разработки с закладкой длина очистных заходок в несколько раз превышает их ширину, поэтому расчетным параметром для таких систем является ширина очистных заходок.

Допустимый пролет (ширина) очистных заходок при системе разработки нисходящими горизонтальными слоями с закладкой рассчитывается по формуле ВНИМИ [1, 2]:

$$l_3 = \sqrt{\frac{h_n \cdot \sigma_{сж}}{2,8 \cdot \gamma_3 (1 + k_n)}}, \text{ м,}$$

где  $h_n$  – высота нижнего несущего слоя закладки, м;  $\gamma_3$  – объемный вес закладки,  $\gamma_3 = 0,02 \text{ МН/м}^3$ ;  $\sigma_{сж}$  – прочность нижнего несущего слоя закладки при одноосном сжатии, МПа;  $k_n$  – коэффициент пригрузки несущего слоя вышележащими,  $k_n = 1,0 \div 1,5$ , принимается  $k_n = 1,5$ .

Таблица 1

**Допустимые пролеты обнажения закладки при системе разработки нисходящими горизонтальными слоями с закладкой**

Прочность твердеющей закладки $\sigma_{сж}$ , МПа	Толщина несущего слоя $h_n$ , м		
	0,75	1,0	1,5
4,0	4,63	5,34	6,54
4,5	4,91	5,66	6,94

Расчетные значения допустимых пролетов обнажений бетонной закладки при различной толщине несущего слоя и прочности закладки сведены в табл. 1.

Учитывая затруднительность создания несущего слоя высотой 0,75 м на практике, принимаем ширину очистных заходок равной 2,98 м.

Принятая технология приготовления закладочной смеси должна обеспечивать достижение прочности закладочного массива ориентировочно в пределах: несущего слоя в 28-суточном возрасте 4,0–4,5 МПа, дозалива в 14-суточном возрасте 1,0–1,5 МПа [3].

Нормативная прочность при системе разработки с выемкой слоев сверху вниз с закладкой выработанного пространства определяется расчетным методом по условию работы закладочного массива, как искусственного сооружения, применительно к конкретным технологическим схемам очистной выемки в пространстве и во времени.

Нормативная прочность по условию устойчивости горизонтальных обнажений для систем разработки с нахождением людей в очистном пространстве определяется по формуле:

$$\delta_n = \frac{2,8 \cdot \gamma \cdot l^2 (1 + k_n)}{h_n}, \text{ МПа,}$$

где  $l$  – пролет обнажения закладки,  $l = 2,98 \text{ м}$ ;  $k_n$  – коэффициент пригрузки несущего слоя вышележащим,  $k_n = 1,0 \div 1,5$ ;  $\gamma$  – объемный вес закладки,  $\gamma = 0,02 \text{ МН/м}^3$ ;  $h_n$  – высота несущего слоя закладки,  $h_n = 1,0 \text{ м}$ .

Таблица 2

**Зависимость толщины несущего слоя и прочности закладочного массива от мощности рудного тела**

Показатели	Мощность рудных тел, м			
	3	5	7	10
Значение $h_n$ , м	1,0	1,0	1,0	1,0
Значение $l$ , м	2,98	3,5	4,0	4,5
Расчетное значение $\sigma_{сж}$ , МПа	1,24	1,72	2,24	2,83

При выемке маломощных рудных тел прочность закладочного массива по условию горизонтальных обнажений при высоте несущего слоя определяют дифференцированно в зависимости от мощности рудного тела по табл. 2.

С учетом коэффициента запаса, равного 3,0, для принятой системы разработки и параметров очистной выемки нормативная прочность по условию устойчивости горизонтальных обнажений составляет 3,7 МПа.

Нормативная прочность закладочного массива по условию устойчивости вертикальных обнажений рассчитана по формуле ВНИМИ:

$$\sigma_{сж}^B = [(E_3 \cdot \Delta h / h_3) + \gamma_3 \cdot h_3] \cdot k_3, \text{ МПа,}$$

где  $E_3$  – модуль упругости закладочного массива,  $E_3 = 100\text{--}400$  МПа;  $\Delta h$  – уменьшение высоты выработанного пространства у искусственной стенки очистной выработки при продвигании забоя на шаг закладки, принимается для  $h_3 > 10$  м равным 0,02 м;  $h_3$  – высота вертикального обнажения закладочного массива, м;  $k_3$  – коэффициент запаса,  $k_3 = 2$ .

Значения в зависимости от представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Значения  $\sigma_{сж}^B$  в зависимости от  $h_3$** 

$h_3$ , м	$\sigma_{сж}^B$ , МПа
3,0	1,44
4,0	1,16
5,0	1,0

Окончательная нормативная прочность для производства закладочных работ должна быть наибольшей из всех расчетных значений и на основании регламентирующих нормативных документов принимается равной: горизонтального обнажения – 3,7 МПа, вертикального обнажения – 1,0 МПа.

На основании проведенных лабораторных исследований по выявлению влияния добавок золы-уноса на реологические и прочностные характеристики закладки установлены корреляционные зависимости прочности закладочного массива с использованием в качестве вяжущего портландцемента (ПЦ) и шлакопортландцемента (ШПЦ) производства АО «Central Asia Cement», золы-уноса ТЭЦ г. Аксу, а также добавок пластификатора Pozzolith MR 55, представленные на рис. 1, которые с достаточной степенью точности аппроксимируются следующими выражениями:

на основе ПЦ

$$\sigma_{сж1} = -14,87 + 7,49 \cdot \lg q_{ц};$$

на основе ПЦ с добавкой MR 55

$$\sigma_{сж2} = -14,55 + 7,51 \cdot \lg q_{ц};$$

на основе ШПЦ с добавкой MR 55

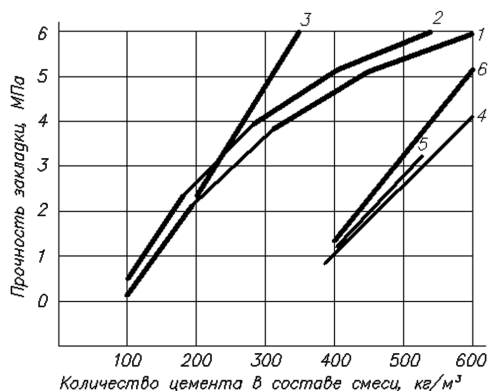
$$\sigma_{сж3} = -32,82 + 15,27 \cdot \lg q_{ц};$$

на основе ПЦ с добавкой сухой золы

$$\sigma_{сж4} = -42,64 + 16,84 \cdot \lg q_{ц};$$

на основе ПЦ с добавкой сухой золы и MR 55

$$\sigma_{сж5} = -42,74 + 16,88 \cdot \lg q_{ц};$$

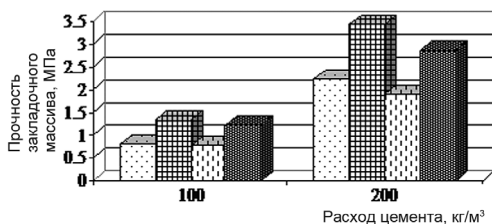


**Рис. 1. Зависимость прочности закладочного массива от количества цемента в составе закладочной смеси в возрасте 28 суток:** 1 – закладочная смесь на основе ПЦ; 2 – закладочная смесь на основе ПЦ с добавкой MR 55; 3 – закладочная смесь на основе ШПЦ с добавкой MR 55; 4 – закладочная смесь на основе ПЦ с добавкой сухой золы; 5 – закладочная смесь на основе ПЦ с добавкой сухой золы и MR 55; 6 – закладочная смесь на основе ШПЦ с добавкой сухой золы и MR 55

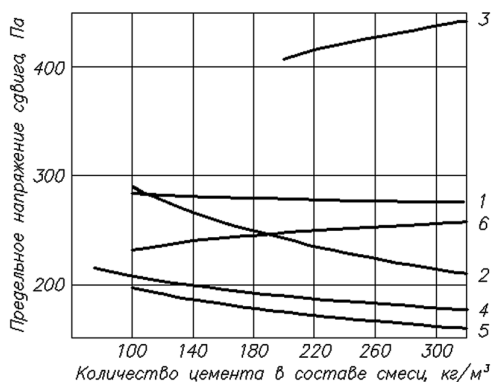
- на основе ШПЦ с добавкой сухой золы и MR 55

$$\sigma_{сжб} = -55,05 + 21,66 \cdot \lg q_{ц} .$$

Сравнение прочностных характеристик составов закладки показало,



**Рис. 2. Зависимость прочностных характеристик закладки при составах смесей с применением в качестве вяжущего ПЦ и ШПЦ:** 1 – закладочная смесь на основе ШПЦ с золой и добавкой MR 55 в возрасте 14 суток; 2 – закладочная смесь на основе ШПЦ с добавкой MR 55 в возрасте 28 суток; 3 – закладочная смесь на основе ПЦ с золой и добавкой MR 55 в возрасте 14 суток; 4 – закладочная смесь на основе ПЦ с золой и добавкой MR 55 в возрасте 28 суток



**Рис. 3. Зависимость предельного напряжения сдвига от количества вяжущего в составе закладочной смеси:** 1 – закладочная смесь на основе ПЦ; 2 – закладочная смесь на основе ПЦ с добавкой MR 55; 3 – закладочная смесь на основе ШПЦ с добавкой MR 55; 4 – закладочная смесь на основе ПЦ с добавкой сухой золы; 5 – закладочная смесь на основе ПЦ с добавкой сухой золы и MR 55; 6 – закладочная смесь на основе ШПЦ с добавкой сухой золы и MR 55

что прочность закладочного массива при использовании ШПЦ выше аналогичного состава с применением ПЦ на 15% в возрасте 14 суток и на 20% в возрасте 28 суток (рис. 2).

Кроме прочностных характеристик закладки весьма существенное влияние на качество формируемых закладочных массивов, особенно при слоевых системах разработки, оказывают и реологические свойства закладочной смеси. Установлено закономерное снижение предельного напряжения сдвига от количества вяжущего в составе закладочной смеси. Это объясняется повышенным объемом затворителя в составе смеси (рис. 3), данная закономерность описывается следующими выражениями:

на основе ПЦ

$$\tau_{0-1} = 318,26 - 17,13 \cdot \lg q_{ц} ;$$

на основе ПЦ с добавкой MR-55

$$\tau_{0-2} = 606,06 - 158,3 \cdot \lg q_{ц} ;$$

на основе ШПЦ с добавкой MR-55

$$\tau_{0-3} = 18,39 - 169,8 \cdot \lg q_{ц};$$

на основе ПЦ с добавкой сухой золы

$$\tau_{0-4} = 330,63 - 61,52 \cdot \lg q_{ц};$$

на основе ПЦ с добавкой сухой золы и MR-55

$$\tau_{0-5} = 346,15 - 74,58 \cdot \lg q_{ц};$$

на основе ШПЦ с добавкой сухой золы и MR-55

$$\tau_{0-6} = 127,83 - 52,49 \cdot \lg q_{ц}.$$

Сравнение реологических характеристик различных составов закладки показало, что подвижность смеси с использованием ПЦ выше аналогичного состава с применением ШПЦ на 11% (12,0 см и 10,8 см, соответственно), предельное напряжение сдвига у составов с портландцементом ниже на 67% (166,8 Па и 248,6 Па, соответственно). Это свидетельствует о лучшей текучести закладочных смесей с портландцементом. Следует отметить, что суммарное количество смешанного цементно-золяного вяжущего не должно быть менее 350–400 кг/м<sup>3</sup>. В противном случае не удается получить закладочную смесь нужной транспортабельности даже при повышенном расходе воды [5].

На основе всесторонних лабораторных исследований выявлены составы

закладочных смесей для условий месторождения Теллур (табл. 4).

Удельная производительность мельницы МШЦ 1500×3100 рассчитана по формуле [4]:

$$q = q_{э\tau} \cdot k_{и} \cdot k_{д} \cdot k_{т} \cdot k_{е} \cdot k_{к} \cdot k_{\phi}, \text{ т/ч} \cdot \text{м}^3,$$

где  $q_{э\tau}$  – удельная производительность эталонной мельницы,  $q_{э\tau} = 4,0 \text{ т/ч} \cdot \text{м}^3$  (Малеевский рудник Зырянского ГОКа ТОО «Казцинк», МШР 2100×3000);  $k_{и}$  – коэффициент, учитывающий различие в исходных материалах,  $k_{и} = 1$ ;  $k_{д}$  – коэффициент, учитывающий различия в диаметрах мельниц,  $k_{д} = 1,4$ ;  $k_{т}$  – коэффициент, учитывающий различия в типах мельниц,  $k_{т} = 1$ ;  $k_{е}$  – коэффициент, учитывающий различия в длинах мельниц,  $k_{е} = 0,96$ ;  $k_{\phi}$  – коэффициент, учитывающий различия объема заполнения,  $k_{\phi} = 1,5$ .

Удельная производительность мельницы МШЦ 1500×3100 составит:  $q = 4 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 1,5 = 8,06 \text{ т/ч} \cdot \text{м}^3$

Расчетная производительность мельницы МШЦ 1500×3100 по приготовлению закладочной смеси производится по формуле:

$$Q_{\text{шт}} = \frac{q \cdot V}{\rho \cdot 0,8},$$

где  $V$  – рабочий объем мельницы, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность закладочной смеси,  $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$ .

Таблица 4

**Рекомендуемые составы закладочных смесей для закладочного комплекса месторождения Теллур**

Закладочный массив	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>						Прочность закладочного массива, МПа в возрасте, сутки	
	ПЦ 400-Д20	ШПЦ 400	сухая зола-уноса	дробленая порода	вода	пластификатор Pozzolith MR 55	R <sub>14</sub>	R <sub>28</sub>
Несущий слой	250	–	300	906	435	1,0	–	3,7
Дозалив	125	–	300	965	440	1,0	1,0	–

Производительность мельницы МШЦ 1500×3100 (плотность  $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$ ; соотношение Т : Ж = 75 : 25;  $V = 4,2 \text{ м}^3$ ) составляет:

$$Q_{\text{пл}} = \frac{8,06 \cdot 4,2}{1,8 \cdot 0,75} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расчетная производительность мельницы МШЦ 1500×3100 по приготовлению цементно-зольной пульпы (плотность  $\rho_1 = 1,65 \text{ т/м}^3$ ; соотношение Т : Ж = 49 : 51) составляет:

$$Q_{\text{плз}} = \frac{8,06 \cdot 4,2}{1,65 \cdot 0,5} = 41,03 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таким образом, расчетная производительность мельницы МШЦ 1500×3100 удовлетворяет требуемой производительности закладочного комплекса по подготовке цементно-зольного вяжущего  $q_2 = 5,24 \text{ м}^3/\text{ч}$  и закладочной смеси  $q_1 = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$  для обеспечения проектной производительности подземного рудника, а также имеет резервы для расширения его функциональных возможностей.

Закладочная смесь подается с поверхности на горизонт 251 м по тру-

бопроводу, смонтированному в закладочной скважине. В скважине монтируется став из бесшовных горячедеформированных труб из коррозионностойкой стали (по ГОСТ8732-78, сталь 30 ХГСА) внутренним диаметром 77 мм и толщиной стенки 6 мм, по которому и подается закладочная смесь. Магистральный и участковый закладочные трубопроводы соединяют в единый став с помощью быстроразъемных соединений из труб наружным диаметром 89 мм, толщиной стенки 6 мм согласно ГОСТ 8732-78.

В условиях месторождения Телдур при фактической высоте столба  $H = 54 \text{ м}$  и дальности транспортирования  $L \approx 250 \text{ м}$  возможно применить самотечный способ трубопроводного транспорта литой закладочной смеси.

Расчитанные параметры для условий транспорта твердеющей смеси в целом соответствуют расчетным данным, рекомендуемым рядом авторов, но требуют экспериментального подтверждения в ходе освоения технологии закладочных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по определению нормативной прочности твердеющей закладки и оценке прочностных свойств искусственных массивов, ВНИМИ, 1975. – 43 с.
2. Руководство по определению нормативной прочности твердеющей закладки на рудниках цветной металлургии. – СПб., 1993. – 40 с.
3. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки (методические рекомендации). Согласованы приказом

Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 4 декабря 2008 года, № 46.

4. Нормы технологического проектирования флотационных фабрик для руд цветных металлов. – ВНТП 21–86.

5. Битимбаев М.Ж., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н. Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых. – Алматы: ТОО РПИК «Дауір», 2012. – 624 с. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Крупник Леонид Андреевич – доктор технических наук, профессор,  
e-mail: leonkr38@mail.ru,

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева,  
Шапошник Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор,  
e-mail: shaposhnikuryu@mail.ru, Институт горного дела СО РАН им. Н.Н. Чинакала,

Шапошник Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор,  
e-mail: shaposhniksergey@mail.ru,

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева.

## THE DEVELOPMENT OF BACKFILLING TECHNOLOGY IN TERMS OF TELLUR MINE, AKMOLA GOLD

Krupnik L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
e-mail: leonkr38@mail.ru,

K.I. Satpaev Kazakh National Technical University,  
050013, Almaty, Kazakhstan,

Shaposhnik Yu.N., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
e-mail: shaposhnikyury@mail.ru,

N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch,  
Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia,

Shaposhnik S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
e-mail: shaposhniksergey@mail.ru,

D. Serikbaev East-Kazakhstan State Technical University,  
070004, Ust Kamenogorsk, Kazakhstan.

---

*The article describes geology and ore reserves as well as the opening scheme and the selection of mining method of gold ore in Tellur deposit. Descending horizontal slicing with solidifying backfilling has been established. Basic parameters of the mining method were calculated. The design values of allowable exposed spans of concrete backfill at different layer thickness and strength of backfill have been given for descending horizontal slicing. The production technology of backfill mixture includes milling method, fly ash-cement binder, a crushed rock as filling material, and backfill flow by gravity via pipelines. Backfill mixture formulation has been defined. The required standard strength of filling mass horizontally and vertically has been calculated for descending horizontal slicing. On the basis of laboratory tests, the strength of filling mass versus the amount of cement in backfill mixture has been plotted. The strength properties of filling mass at different formulations of backfill mixtures have been presented. The equipment for mineral filler milling has been presented. The parameters of the backfill flow pipeline have been calculated.*

*Key words: backfill mixture preparation plant, solidifying backfill mixture, strength of filling mass*

### REFERENCES

1. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu normativnoy prochnosti tverdeyushchey zakladki i otsenke prochnostnykh svoystv iskusstvennykh massivov* (Instructive regulations on defining standard strength of solidifying backfill and evaluating strength properties of artificial masses), Moscow, VNIMI, 1975, 43 p.

2. *Rukovodstvo po opredeleniyu normativnoy prochnosti tverdeyushchey zakladki na rudnikakh tsvetnoy metallurgii* (Methodological instructive regulations on defining standard strength of solidifying backfill at non-ferrous ore mines), Saint-Petersburg, 1993, 40 p.

3. *Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatiy s podzemnym sposobom razrabotki (metodicheskie rekomendatsii)*. Soglasovany prikazom Komiteta po gosudarstvennomu kontrolyu za chrezvychaynymi situatsiyami i promyshlennoy bezopasnost'yu Respubliki Kazakhstan ot 4 dekabrya 2008 goda, no 46 (Technological design standards for underground mines (recommended practice). The order of the Committee on State Control of Emergency and Industrial Safety of the Republic of Kazakhstan dated December 4, 2008, no. 46).

4. *Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya flotatsionnykh fabrik dlya rud tsvetnykh metallov*. VNTP 21–86 (Technological design standards for flotation plants for nonferrous metal ores. – VNTP 21–86).

5. Bitimbaev M.Zh., Krupnik L.A., Shaposhnik Yu.N. *Teoriya i praktika zakladochnykh rabot pri razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* (Theory and practice of backfilling in mineral mining), Almaty, TOO RPIK «Daur», 2012, 624 p.

