

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ИСХОДНЫХ ПЕСКОВ РУДНО-РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУЧЬЯ БОЛОТИСТЫЙ (НИЖНЕЕ ПРИАМУРЬЕ)

В.С. Алексеев<sup>1</sup>, Т.С. Банщикова<sup>1</sup>, Р.С. Серый<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия,  
e-mail: alekseev-vs\_83@mail.ru

**Аннотация:** Для сохранения и увеличения уровня добычи золота недропользователи вынуждены эксплуатировать россыпи, которые характеризуются повышенным содержанием мелкого и тонкого золота и требуют для его извлечения применение специальных технологий и обогащательных аппаратов. Потери золота с шлюзов промывочных приборов происходят по ряду причин: качество оборотной воды, используемой для промывки песков; повышенное содержание илово-глинистых частиц в исходных песках; наличие попутных тяжелых минералов; морфология золота; конструктивные параметры обогащательного оборудования. Существенное влияние на показатели извлечения золота оказывает повышенное содержание тяжелых попутных компонентов в песках россыпей, поэтому предварительное удаление магнитных и электромагнитных минералов из процесса обогащения позволит уменьшить потери и положительно скажется на общих экономических показателях разработки месторождения. Имеющие большой удельный вес минералы, такие как магнетит, ильменит, хромит, касситерит, тетрадимит накапливаются и уплотняются на шлюзах, мешая осаждению частиц благородных металлов. На месторождении руч. Болотистый произведена комплексная оценка эффективности работы промприбора ПГШ-50 с анализом выхода тяжелых минералов в концентрат, в хвосты ШГН и ШМН, а также разработана технология извлечения магнитных фракций непосредственно в технологическом процессе работы промприбора. Предложенная схема обогащения песков позволила не только значительно повысить извлечение золота за счет вывода магнетита из процесса обогащения, но и дополнительно извлекать магнитные минералы.

**Ключевые слова:** россыпные месторождения золота, магнитные минералы, мелкое и тонкое золото, потери золота, извлечение золота, промывочный прибор, шлюзы глубокого и мелкого наполнения, магнитная сепарация

**Для цитирования:** Алексеев В. С., Банщикова Т. С., Серый Р. С. Обоснование применения магнитной сепарации при переработке исходных песков рудно-россыпного месторождения ручья Болотистый (Нижнее Приамурье) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 8. – С. 190–197. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-190-197.

### Justification of magnetic separation application in processing of initial gold sand from the Bolotisty Stream primary-and-placer deposit, Lower Amur Region

V.S. Alekseev<sup>1</sup>, T.S. Bانشchikova<sup>1</sup>, R.S. Seryy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia,  
e-mail: alekseev-vs\_83@mail.ru

**Abstract:** For the sake of gold production capacity maintenance and improvement, subsoil users have to exploit poor and rebellious ore placers or waste, which often feature increased content of fine gold extractable using special technology and equipment. The causes of gold loss in sluices are mainly: quality of circulation water for sand washing; higher content of silt–clay particles in initial sand; associated heavy minerals; morphology of gold; design factors of processing equipment. Efficiency of gold recovery is greatly affected by the increased content of heavy associated components in placer sand. For this reason, preliminary removal of magnetic and electromagnetic minerals from dressing circuit will reduce losses and improve total economic performance of mining. Minerals of high specific gravity, such as magnetite, ilmenite, chromite, cassiterite and tetradymite accumulate and compact on sluices, preventing from deposition of noble metal particles. At the Bolotisty Stream placer deposit, integrated performance evaluation is completed for gold washing machine PGSH-50, with the analysis of heavy metal yield in concentrate, as well as in tailings of deep and shallow filling gateways; furthermore, the technology is developed for recovery of magnetic fractions right within operation cycle of the washing machine. The proposed gold sand processing circuit both increases gold recovery, due to magnetite removal from processing and allows concurrent extraction of magnetic minerals.

**Key words:** gold placer, magnetic minerals, fine gold, gold loss, gold extraction, washing machine, deep and shallow filling gateways, magnetic separation.

**For citation:** Alekseev V. S., Banshchikova T. S., Seryy R. S. Justification of magnetic separation application in processing of initial gold sand from the Bolotisty Stream primary-and-placer deposit, Lower Amur Region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(8):190-197. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-190-197.

### Объект исследований

Многие рудные и россыпные месторождения золота Дальнего Востока, в особенности Южного и Северного Сихотэ-Алиня, характеризуются теллуридо-висмутовой минерализацией. На фланге Центрального Сихотэ-Алиньского разлома локализовано рудно-россыпное месторождение руч. Болотистый, которое представлено в виде зон штокверкообразного и линейного прожилково-жильного окварцевания. Россыпь представляет единую залежь протяженностью более 10 км и шириной до 400 м, мощность торфов колеблется от 0,8 до 5,0 м. Плотик россыпи сложен интенсивно выветрелыми туфогенными песчаниками, базальтами и аллохтонными глинами. Золото в россыпи, в основном, мелкое (52,6%), очень мелкое (30,6%), пылевидное (6,2%). Форма золотин тонкоаблитчатая, пластинчатая, чешуйчатая. Среднее содержание золота в песках нижней части россыпи — 612 мг/м<sup>3</sup> [1, 2].

Обработка месторождения осуществляется сверху вниз открытым гидромеханизированным способом с бульдозерной вскрышей и обогащением песков на промывочных приборах ПГШ-50 со шлюзами глубокого (ШГН) и мелкого (ШМН) наполнения. Расчетные потери золота составляют 17,8%, извлечение на ШГН — 54,6%, на ШМН — 27,6% [2].

### Анализ работы промывочного прибора

Анализ работы шлюзовых промывочных приборов [3–7] говорит о том, что потери золота происходят по ряду причин, основные из которых: повышенное содержание илово-глинистых частиц в песках, качество технологической воды, класс крупности и морфологическая характеристика золота, технические и технологические параметры обогатительного оборудования, а также высокое содержание в исходных песках тяжелых минералов.

Имеющие большой удельный вес минералы, такие как магнетит, ильменит, хромит, касситерит, тетрадимит могут накапливаться на шлюзах и, постепенно уплотняясь, мешать осаждению частиц золота.

При большой концентрации тяжелых магнитных и электромагнитных минералов рекомендуется производить одноили двухстадийную классификацию песков с отделением из мелких фракций тяжелых магнитных минералов и последующей подачей песков в процесс обогащения.

Как показывает проведенный анализ [8—13], значительная часть россыпных месторождений содержат тяжелые, в основном, магнитные частицы, засоряющие гравитационные обогатительные приборы, что неизбежно ведет к снижению эффективности их работы. Это происходит как при первичном обогащении на полигоне, так и при доводке концентрата на ШОУ.

В настоящее время и в ближайшей перспективе золотодобывающая промышленность вынуждена работать на устаревшем технологическом оборудовании. В связи с этим повышение эффективности перерабатывающих и обогатительных установок возможно, по-видимому, только за счет модернизации существующей техники. Одно из актуальных направлений этой модернизации — создание устройств для снижения негативного влияния на процесс обогащения тяжелых минеральных частиц.

Существует два основных способа: предварительное разделение магнитных и немагнитных минеральных частиц в потоке пульпы перед подачей на обогатительные шлюзы и применение дополнительных магнитных силовых установок. В первом случае для выделения магнитных частиц могут быть использованы барабанные магнитные сепараторы, устанавливаемые перед шлюзами

мелкого наполнения с предварительным обогащением исходного питания до уровня 5—8 мм. Во втором случае магнитные шлюзы (по существу магнитно-флокуляционные шлюзовые установки) монтируются в качестве приставок к шлюзам мелкого наполнения и обеспечивают доизвлечение мелкого и тонкого золота с помощью сформированной ими магнитной постели. Для работы этих установок наличие в пульпе магнетита и других магнитных частиц является обязательным условием их работы, так что магнетит здесь играет, наоборот, положительную роль.

Применение магнитных сепараторов может считаться действенным средством повышения эффективности процесса последующего обогащения. Работа этих устройств достаточно хорошо изучена, и их промышленный выпуск освоен. Магнитно-флокуляционные установки в настоящее время находятся в стадии опытной (реже опытно-промышленной) эксплуатации, поэтому они мало знакомы основным потребителям (золотодобывающим артелям). Можно согласиться с тем, что эффективность магнитных шлюзов как аппаратов для доизвлечения золота достаточно высока, однако практическая их реализация затруднительна. Рабочая технологическая схема обогащения при этом усложняется. В частности, возникают проблемы эффективной очистки этих шлюзов и последующего извлечения золота из практически чистого магнетита. В промышленных масштабах магнитные шлюзовые установки не выпускаются, поэтому стоимость единичных экземпляров достаточно высока.

### **Натурные и лабораторные исследования**

На месторождении руч. Болотистый произведена комплексная оценка эффективности работы промприбора ПГШ-50 с анализом выхода тяжелых минералов

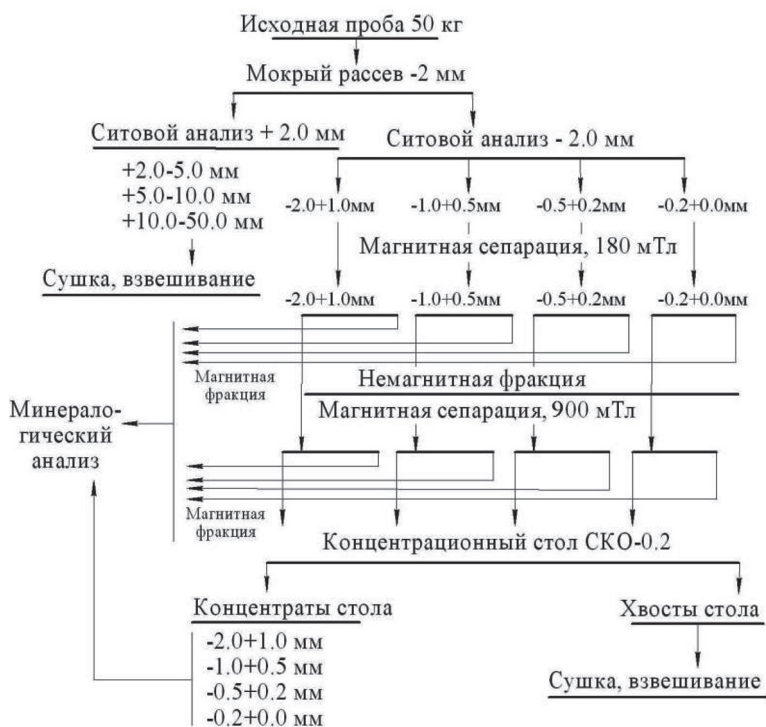


Рис. 1. Схема технологической обработки проб  
Fig. 1. The scheme of sample processing

в концентрат, хвостов ШГН и ШМН, а также осуществлен анализ исходных песков. Отбирались 3 вида проб: исходные пески, хвосты шлюзов мелкого наполнения, хвосты шлюзов глубокого наполнения; средний вес каждой пробы — 50 кг.

Обработка проб осуществлялась по развитой технологической схеме, представленной на рис. 1.

В результате обработки проб получены магнитные фракции на сепараторе ПБМ-2,0 с магнитной индукцией на поверхности 180 мТл (с классом крупности от  $-2,0$  до  $0,0$  мм) и магнитные фракции на сепараторе МБС-Л 250×250 с магнитной индукцией на поверхности 900 мТл (с классом крупности от  $-2,0$  до  $0,0$  мм).

Полученные концентраты стола СКО-0,2 взвешивались, делились в тяжелой жидкости на легкую и тяжелую фракции. В результате магнитной сепарации опре-

делены основные магнитные (магнетит, лимонит, ильменит, хромит, биотит и т.д.) и немагнитные минералы, присутствующие в тяжелом шлихе. Определен выход магнитных минералов для каждого класса при двухстадийной магнитной сепарации и определены исходные содержания. Данные по распределению магнитных фракций по классам крупности представлены на рис. 2 и 3.

Минеральный состав полученной магнитной фракции следующий: магнетит — 62,0%, ильменит — 5,5%, гематит — 2,5%, турмалин (дравит) — 3,2%, лимонит — 1,0%, сростки породообразующих и магнитных минералов — более 25%.

На графике (рис. 2) хорошо прослеживается падение выхода слабомагнитных минералов от крупной к мелкой фракции. Это обусловлено тем, что крупнозернистые пески имеют минералы в сростках с кварцем, поэтому у них сла-

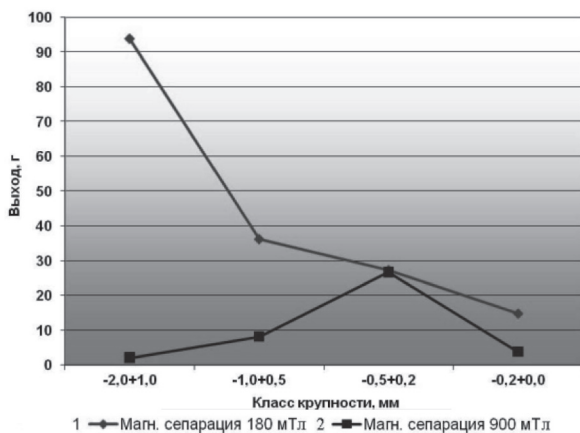


Рис. 2. Распределение магнитных фракций в исходных песках по классам крупности  
 Fig. 2. The distribution by size of magnetic minerals in the initial sand

бый показатель магнитной восприимчивости, и они практически не извлекаются при сепарации 180 мТл, но хорошо извлекаются при сепарации 900 мТл. При уменьшении размера частиц происходит высвобождение минералов и переход их из слабомагнитных в сильномагнитные, что подтверждается ростом значений кривой 2. Для хвостов ШМН также характерен резкий рост концентрации магнитных минералов (рис. 3) за счет вымывания илово-глинистых фракций и грохочения по классу 10 мм при поступлении песков на ШМН.

Если суммарный выход в концентрат магнитных материалов составляет

порядка  $4,7 \text{ кг/м}^3$  (в расчете фракция  $-2,0+1,0 \text{ мм}$  не учитывалась из-за большого количества сrostков и низкого удельного веса), то в хвостах ШМН мы наблюдаем рост магнитных минералов до  $74 \text{ кг/м}^3$ .

Учитывая, что для данного месторождения характерен узкий класс выхода магнитных минералов ( $-2,0+0,2 \text{ мм}$ ), то при классификации породы на шлюзах глубокого наполнения по классу в среднем 5 мм практически весь магнитный материал поступал на ШМН, и в некоторых случаях его концентрация на них достигает  $1,5-2 \text{ т/м}^3$ . Полученные данные позволяют сделать вывод, что для место-

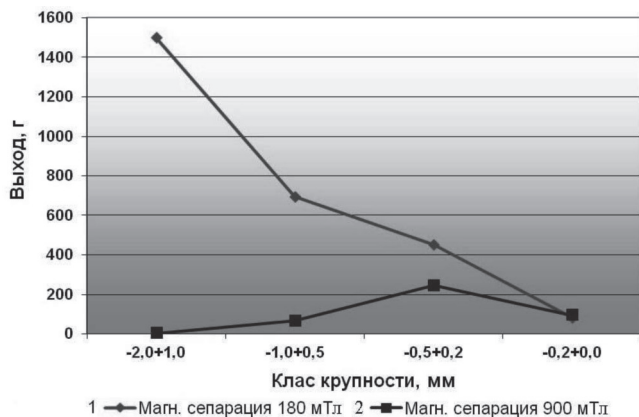


Рис. 3. Распределения магнитных фракций в хвостах ШМН по классам крупности  
 Fig. 3. The distribution by size of magnetic minerals in the tailings of the sluices of shallow filling



Рис. 4. Схема обогащения исходных песков с магнитной сепарацией  
 Fig. 4. The scheme of the sands enrichment with magnetic separation

рождений с высоким содержанием тяжелых магнитных минералов, таких как месторождение руч. Болотистый, необходимо включать магнитную сепарацию в стадию обогащения на ШМН, чтобы снизить нагрузку на них.

В Институте горного дела ДВО РАН разработана технология комплексного извлечения полезных компонентов из россыпей и реализована в качестве нового промывочного промприбора ПГШ-50 с трехстадийной системой обогащения золотосодержащих песков и магнитной сепарацией. Данная технологическая схема была реализована в модернизированном промприборе ПГШ-50 (рис. 4) на месторождении руч. Болотистый.

Она заключалась в установке магнитного сепаратора (ПБМ-1200/600) с магнитной индукцией на поверхности 250 мТл и третьей стадии обогащения. Хвосты ШМН 1 попадали в выносную колоду, в которой установлены полиуретановые щелевые грохота с шириной щели 2 мм. Подрешетный продукт элеватором, установленным в хвостовой части выносной колоды, перекачивался на другую сторону промприбора в приемный бункер магнитного сепаратора. Немагнитная фракция обогащалась на 3-х шлюзах

мелкого наполнения (ШМН 2), магнитная — складировалась в специальном отвале.

Такая схема обогащения песков позволила не только повысить извлечение золота на 5% за счет вывода магнетита из процесса обогащения, дополнительно извлекать магнитные минералы, но и производить съем концентрата с ШМН 2 без остановки прибора. На данном месторождении извлечение магнитной фракции, содержащей магнетит в количестве 60–65%, составило 3,7 т/сут, что позволит в течение сезона извлекать дополнительно не менее 600 т магнетитового концентрата.

### Выводы

Проведенные исследования показывают, что при обогащении песков месторождения руч. Болотистого по традиционной схеме наблюдаются значительные потери золота, связанные с наличием большого количества магнитных минералов. Установлено, что включение в схему обогащения магнитной сепарации позволит значительно повысить извлечение золота на шлюзах, а также добывать попутные ценные компоненты, содержащиеся в магнитной фракции.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В. В., Замбржинский А. И., Молчанов Г. Б. Особенности минерализации золото-висмут-теллуривого оруденение Сихотэ-Алиня / Современные проблемы металлогении. Материалы научной конференции, посвященной 90-летию академика Х.М. Абдуллаева. — Ташкент, 2012. — С. 176–178.
2. Литвинцев В. С., Банщикова Т. С., Пономарчук Г. П. Особенности вещественного состава и эксплуатации рудно-россыпного месторождения руч. Болотистый (Хабаровский край) // Маркшейдерия и недропользование. — 2011. — № 1. — С. 35–38.
3. Серый Р. С., Алексеев В. С., Сас П. П. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов при отработке россыпных месторождений золота // Цветные металлы. — 2017. — № 2. — С. 31–35. DOI: 10.17580/tsm.2017.02.04.
4. Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П. Техногенные россыпи благородных металлов Дальневосточного региона России и их рациональное освоение. — М.: Изд-во «Горная книга», 2010. — 309 с.
5. Litvintsev V. S., Bانشchikova T. S., Leonenko N. A. et al. Effective methods for gold recovery from mining wastes at placers // Journal of Mining Science, 2012, Vol. 48, no 1, pp. 198–202. DOI: 10.1134/S1062739148010224.
6. Сас П. П. Комплексная оценка технологических потерь золота и решение проблемы интенсификации процесса его обогащения на промывочном приборе ПГШ-II-50 // Проблемы недропользования. — 2014. — № 2. — С. 185–189.
7. Litvintsev V. S., Sas P. P., Pulyaevsky A. M. Optimization of flushing sluice flow in hydrohoist gold washing machines // Journal of Mining Science, 2012, Vol. 48, no 6, pp. 1054–1057. DOI: 10.1134/S1062739148060147.
8. Litvintsev V. S. Resource potential of placer mining waste // Journal of Mining Science, 2013, no 49, pp. 99–105. DOI: 10.1134/S1062739149010127.
9. Мирзеханов Г. С., Мирзеханова З. Г. Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота. — М.: МАКС Пресс, 2013. — 288 с.
10. Oberthuer T., Melcher F., Weiser T. W. Detrital platinum-group minerals and gold in placers of southeastern Samar Island, Philippines // Canadian Mineralogist, 2017, Vol. 55(3), pp. 45–62.
11. MacFarlane K. E., Nordling M. G. Yukon Exploration and Geology Overview 2013. Whitehorse: Canada (Yukon Geological Survey), 2014. 80 p.
12. Van Loon S., Bond J. D. Yukon Placer Mining Industry Report 2010–2014. Whitehorse: Canada (Yukon Geological Survey), 2014. 230 p.
13. Litvintsev V. S., Sas P. P. Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East federal district [Электронный ресурс] // E3S Web of Conferences. 2018, Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004. **PLA**

## REFERENCES

1. Ivanov V. V., Zambrzhinskiy A. I., Molchanov G. B. Features of the gold–bismuth–tellurium mineralization Sikhote–Alin. *Sovremennye problemy metallogenii. Materialy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu akademika KH.M. Abdullaeva*. Tashkent, 2012, pp. 176–178. [In Russ].
2. Litvintsev V. S., Bانشchikova T. S., Ponomarchuk G. P. Material constitution and operation of primary-and-placer deposit of the Bolotisty Stream, Khabarovsk Territory. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2011, no 1, pp. 35–38. [In Russ].
3. Seryy R. S., Alekseev V. S., Sas P. P. Performance of sluice washers in gold placer mining. *Tsvetnye metally*. 2017, no 2, pp. 31–35. DOI: 10.17580/tsm.2017.02.04. [In Russ].
4. Mamaev Yu. A., Litvintsev V. S., Ponomarchuk G. P. *Tekhnogennyye rossypi blagorodnykh metallov Dal'nevostochnogo regiona Rossii i ikh ratsional'noe osvoenie* [Noble metal placer mining waste and sound management in the Russian Far East], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2010, 309 p.
5. Litvintsev V. S., Bانشchikova T. S., Leonenko N. A. et al. Effective methods for gold recovery from mining wastes at placers. *Journal of Mining Science*, 2012, Vol. 48, no 1, pp. 198–202. DOI: 10.1134/S1062739148010224.
6. Sas P. P. Integrated evaluation of process gold loss and intensification of gold extraction on washing machine PGSH-II-50. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2014, no 2, pp. 185–189. [In Russ].

7. Litvintsev V.S., Sas P.P., Pulyaevsky A.M. Optimization of flushing sluice flow in hydrohoist gold washing machines. *Journal of Mining Science*, 2012, Vol. 48, no 6, pp. 1054–1057. DOI: 10.1134/S1062739148060147.

8. Litvintsev V.S. Resource potential of placer mining waste. *Journal of Mining Science*, 2013, no 49, pp. 99–105. DOI: 10.1134/S1062739149010127.

9. Mirzekhanov G.S., Mirzekhanova Z.G. *Resursnyy potentsial tekhnogennykh obrazovaniy rossypanykh mestorozhdeniy zolota* [Resource potential of gold placer mining waste], Moscow, MAKS Press, 2013, 288 p.

10. Oberthuer T., Melcher F., Weiser T.W. Detrital platinum-group minerals and gold in placers of southeastern Samar Island, Philippines. *Canadian Mineralogist*, 2017, Vol. 55(3), pp. 45–62.

11. MacFarlane K.E., Nordling M.G. *Yukon Exploration and Geology Overview 2013*. Whitehorse: Canada (Yukon Geological Survey), 2014. 80 p.

12. Van Loon S., Bond J.D. *Yukon Placer Mining Industry Report 2010–2014*. Whitehorse: Canada (Yukon Geological Survey), 2014. 230 p.

13. Litvintsev V.S., Sas P.P. *Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East federal district*. E3S Web of Conferences. 2018, Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев Владимир Сергеевич<sup>1</sup> — канд. техн. наук,

старший научный сотрудник, e-mail: alekseev-vs\_83@mail.ru,

Банщикова Тамара Сергеевна<sup>1</sup> — старший научный сотрудник,

Серый Руслан Сергеевич<sup>1</sup> — канд. техн. наук, старший научный сотрудник,

<sup>1</sup> Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН.

Для контактов: Алексеев В.С., e-mail: alekseev-vs\_83@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.S. Alekseev<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, alekseev-vs\_83@mail.ru,

T.S. Banshchikova<sup>1</sup>, Senior Researcher,

R.S. Seryy<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

<sup>1</sup> Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 680000, Khabarovsk, Russia.

Corresponding author: V.S. Alekseev, e-mail: alekseev-vs\_83@mail.ru.



---

## РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

---

### РАСЧЕТ ТЮБИНГОВОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА ШАХТЫ

(№ 1202/08–19 от 08.07.2019; 18 с.)

Балахнина Евгения Евгеньевна — канд. техн. наук, доцент,

e-mail: autobusred@yandex.ru, НИТУ «МИСиС».

Рассмотрены вопросы расчета тюбинговой крепи вертикальных стволов шахт и предложена методика расчета крепи на прочность. При этом тюбинговая крепь рассматривается как замкнутая цилиндрическая оболочка, подкрепленная регулярной системой кольцевых и прямолинейных ребер.

Ключевые слова: тюбинговая крепь, цилиндрическая оболочка, ребро, вариационное уравнение, уравнение в конечно-разностной форме, узлы сетки.

### VERTICAL SHAFT MINE TUBBING LINING CALCULATION

E.E. Balakhnina, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: autobusred@yandex.ru,

National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

In this paper calculation of the vertical shaft mine tubbing lining has been performed. Wherein atubbing lining is considered as a closed cylindrical shell, reinforced by regular system of annular and rectilinear ribs.

Key words: tubbing lining, cylindrical shell, rib, variation equation, finite difference equation, grid nodes.