

УДК 622.271

## Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления

**А.Ю.ЧЕБАН**

*Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия*

Разработка Ошурковского месторождения апатитов традиционными методами с применением буровзрывных работ, а также обогащением добытой руды с использованием флотации и созданием гидротехнических комплексов для хранения мокрых хвостов невозможно, поскольку месторождение расположено в особой экологической зоне Забайкалья, кроме того, для месторождения характерны сложное геологическое строение и низкое содержание полезного компонента в руде. Повышение качества минерального сырья, прежде всего, достигается при его обогащении, однако можно управлять качеством руды уже в процессе ее добычи. Благодаря развитию технических средств повышаются возможности селективной выемки горных пород сложноструктурных месторождений. Целью работы является создание технологии, обеспечивающей повышение качества подаваемого на переработку минерального сырья непосредственно на этапе выемки горной массы. В статье предлагается технологическая схема разработки Ошурковского месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса, включающего транспортно-сортировочный агрегат и контрольно-измерительное устройство для определения содержания полезного компонента в отфрезерованной горной массе, что позволит выделять обогащенную полезным компонентом мелкую фракцию некондиционных руд, которая при использовании традиционных добычных технологий отправлялась бы на склад временно некондиционной руды. Выделение мелких фракций апатитовой руды на транспортно-сортировочном агрегате обеспечит сокращение пыления при ведении добычных работ и снизит потери полезного компонента, связанные с выдуванием мелких фракций при погрузке и транспортировке горной массы. Размещение надрешетного продукта в отрытой траншее с последующей его селективной выемкой погрузчиком позволит выемочно-сортировочному комплексу работать без остановок для замены и ожидания автосамосвалов под погрузку, что обеспечит повышение производительности добычных работ.

**Ключевые слова:** выемочно-сортировочный комплекс; горная масса; сортировка; обогащение; полезный компонент; навигационная система; селективная погрузка

**Как цитировать эту статью:** Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 399-404. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.399

**Введение.** На Дальнем Востоке России большая часть пахотных земель характеризуется кислой реакцией среды и низкой обеспеченностью подвижной фосфорной кислотой, поэтому улучшение агрохимических свойств почвы путем внесения фосфатов положительно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. Отсутствие в округе промышленности по добыче и переработке фосфатов вынуждает производителей ввозить удобрения из западной части страны или из-за рубежа. Таким образом, существует потребность в создании местной промышленности фосфорных удобрений. Также необходимо отметить, что географо-экономическое положение юга Дальнего Востока позволяет в перспективе развивать и ориентировать такую промышленность и на экспортные поставки (Северный Китай, Япония) для чего имеется соответствующая благоприятная конъюнктура. На Дальнем Востоке и в Забайкалье разведан ряд месторождений апатитов, в том числе крупные – Ошурковское и Селигдарское. Селигдарское месторождение апатитов расположено в южной части Республики Саха (Якутия), в 30 км от г. Алдан, среднее содержание полезного компонента – пентаоксида фосфора  $P_2O_5$  в рудах месторождения составляет 6,7 %, запасы апатитовой руды оцениваются в 1277 млн т [7]. Ошурковское месторождение расположено в Республике Бурятия, в 12 км к северо-западу от г. Улан-Уде, на левом берегу реки Селенга, запасы руд месторождения оцениваются в 996 млн т [9]. В Амурской области и Хабаровском крае изучен ряд небольших месторождений апатитов, достоинством некоторых из них является близкое расположение к Байкало-Амурской магистрали. На разработку одного из таких месторождений получена лицензия, однако добыча пока не ведется в связи с низким содержанием полезного компонента в руде (4,02 %  $P_2O_5$ ).

**Постановка проблемы и состояние вопроса.** Вовлечение в разработку месторождений апатитов Дальнего Востока и Забайкалья, географически удобно расположенных для освоения, сдерживается как низким содержанием полезного компонента в руде, так и сложным геологиче-

ским строением месторождений. Для обеспечения плановых объемов добычи минерального сырья с использованием традиционных технологий при невысоком, а впоследствии непрерывно ухудшающемся качестве руды предприятиям придется добывать и перерабатывать большие объемы горной массы. Обогащение бедных руд переменного состава помимо значительного увеличения себестоимости товарного продукта за счет увеличения расхода токсичных реагентов и количества тонкоизмельченных хвостов приведет к дополнительной экологической нагрузке в районах работы горнорудных предприятий.

Наиболее перспективным для освоения является Ошурковское месторождение, однако его разработка сдерживается наличием значительных ограничений, в связи с расположением месторождения в особой экологической зоне Забайкалья [1, 3]. Ошурковское месторождение сложено различными по составу породами, контакты между которыми постепенные и расплывчатые. На месторождении апатит является одним из породообразующих минералов практически во всех разновидностях пород [4]. Распределение апатита в массиве крайне неравномерное, причем содержание изменяется не только в породах разного состава, но и в одной и той же породе, что связано с постмагматическими процессами. Среднее содержание  $P_2O_5$  в кондиционных рудах Ошурковского месторождения составляет 4,37 % при бортовом содержании 3,5 %, при этом в рудных телах имеются участки некондиционной руды с содержанием  $P_2O_5$  от 1 до 3,5 % (в среднем 2,84 %). Большая часть рудного массива представлена мягкими рудами с временным сопротивлением сжатию около 30 МПа [3]. Участки кондиционных и некондиционных руд образуют сплошные рудно-породные зоны различной формы, размеров и структур (рис.1).

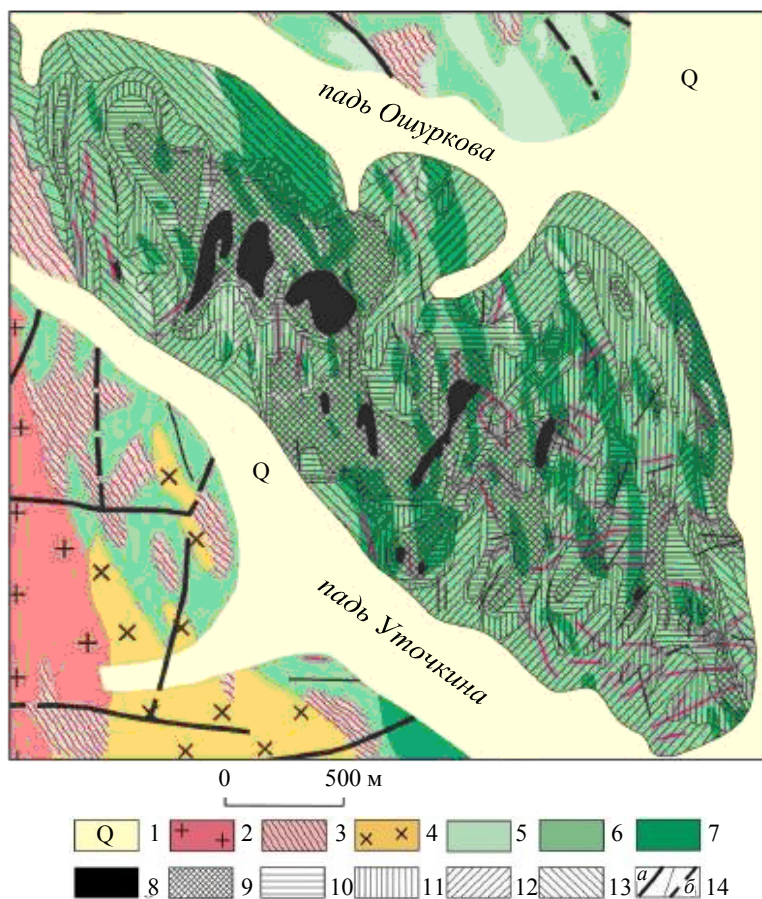


Рис.1. План изолиний содержания  $P_2O_5$  Ошурковского месторождения по С.В.Костромину (1964 г.)

- 1-7 – породы (1 – четвертичные отложения, 2 – граниты лейкокатровые, 3 – метапороды (гнейсы, мигматиты), 4 – сиениты (краевая фракция гранитов), 5 – лейкокатровые габброиды, 6 – мезокатровые габброиды, 7 – меланокатровые габброиды); 8-13 – содержание  $P_2O_5$  (8 – 5 % и более; 9 – от 4 до 5 %; 10 – от 3,5 до 4 %; 11 – от 3 до 3,5 %; 12 – от 2 до 3 %; 13 – от 1 до 2 %), 14 – линии разрывных нарушений (а – установленные, б – предполагаемые)

Неравномерное распределение и низкое содержание полезного компонента в массиве требует ведения селективной выемки рудной массы с обеспечением минимально возможного примешивания вмещающих пород при добыче. Наличие экологических ограничений исключает возможность освоения месторождения с применением буровзрывных работ, а также обогащения добытой руды с использованием традиционного метода флотации и созданием гидротехнических комплексов для хранения мокрых хвостов [3]. Выходом из создавшегося положения является разработка и внедрение прогрессивных технологий и оборудования по добыче и переработке руд, обеспечивающих комплексность и полноту извлечения полезных компонентов, снижение энергоемкости и себестоимости работ, минимизацию потерь и экологических последствий производства [2, 6]. К настоящему времени разработаны и на некоторых отечественных и зарубежных предприятиях внедрены системы управления качеством руд, базирующиеся на усреднительном или разделительном принципах [11, 14]. Известны научные работы, в которых с учетом имеющихся ограничений

Ошурковское месторождение предлагается разрабатывать с применением механических средств выемки горных пород, в частности карьерных комбайнов [9], а обогащение полученной минеральной массы вести с применением сухой технологии получения черного апатитового концентрата [3] и использованием эффекта вибрационного псевдосжижения [13, 16]. Полученный черновой концентрат после доизмельчения предлагается доводить до товарного качества на флотационных фабриках Забайкалья, имеющих свободные производственные мощности.

Повышение качества минерального сырья, прежде всего, достигается при его обогащении, однако можно управлять качеством руды уже в процессе ее добычи [10]. Благодаря развитию технических средств повышаются возможности селективной выемки горных пород сложноструктурных месторождений. Карьерные комбайны успешно применяют при разработке сложноструктурных месторождений угля, известняков, горючих сланцев, фосфоритов и других полезных ископаемых [5, 8, 17, 20].

Так, при переходе от использования бульдозерно-рыхлительных агрегатов и колесных погрузчиков к применению карьерного комбайна при выемке двух пластов малой мощности (по 0,35-1,0 м) на Джерой-Сардинском месторождении фосфоритов в Узбекистане потери и разубоживание уменьшились соответственно с 10 до 9 % и с 22,4 до 15 % [5]. Выполненное опробование руды в двух штабелях показало, что руда, добытая по новой технологии, имеет содержание от 19 до 21 %  $P_2O_5$ , тогда как содержание полезного компонента в руде, добытой по традиционной технологии, составляло 13 %.

В работе [9] с целью контроля содержания полезного компонента в горной массе при разработке Ошурковского месторождения предлагается использование карьерного комбайна с установленным над разгрузочным конвейером контрольно-измерительного комплекса, работа которого основана на применении рентгенорадиометрического способа. На каждой порции горной массы (объем кузова автосамосвала) предлагается выполнять не менее 60 измерений, по которым рассчитывается среднее содержание  $P_2O_5$  в загружаемой горной массе, после чего автосамосвал получает адрес разгрузки. Недостатком данной технологии является валовая погрузка горной массы с различным содержанием полезного компонента в кузов автосамосвала, где она перемешивается, таким образом, контрольно-измерительный комплекс обеспечивает лишь более точное определение среднего содержания полезного компонента в порции горной массы.

Общими недостатками технологии с применением карьерных комбайнов и автосамосвалов являются простои комбайнов при замене автосамосвалов, которые составляют от 10 до 20 % и более от времени фрезерования [19], а также пыление и потери мелких и тонких фракций от выдувания при фрезеровании, погрузке и транспортировке горной массы (рис.2). В то же время различные исследования подтверждают, что руды многих полезных ископаемых имеют наиболее богатое содержание полезного компонента в мелких фракциях.

Так, исследование технологической пробы рядовых апатит-нефелиновых руд месторождения Олений Ручей в Мурманской области крупностью –200 мм и массой 2 т показало неравномерное распределение основного полезного компонента во фракциях различной крупности. При среднем содержании полезного компонента в технологической пробе 10,1 % во фракции крупностью свыше 20 мм среднее содержание  $P_2O_5$  5,5 %, в то же время во фракции –20+10 мм содержание апатита составляло 16,5 %, а в рудном отсеке размером –10 мм содержалось 18,05 % апатита [6]. Исследование аналогичной технологической пробы бедных апатит-нефелиновых руд месторождения Олений Ручей показало, что при среднем содержании апатита в руде технологической пробы



Рис.2. Оработка карьерным комбайном месторождения фосфоритов в Узбекистане

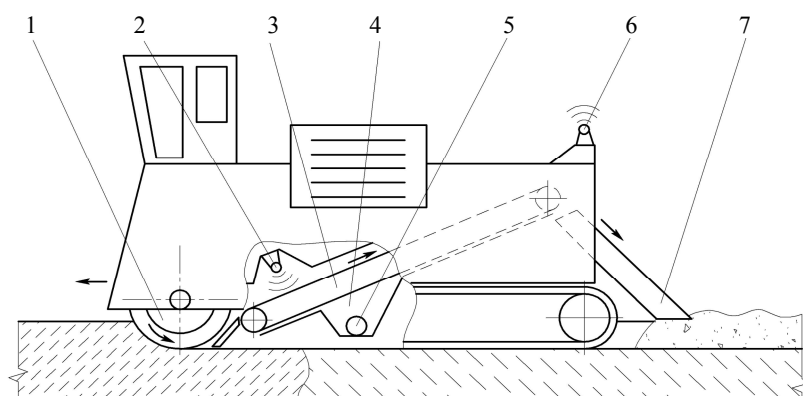


Рис.3. Разработка сложноструктурного месторождения апатитов с применением выемочно-сортировочного комплекса

5,4 % в материале крупностью  $-200+20$  мм среднее содержание  $P_2O_5$  составляло 3,66 %, в материале крупностью  $-20+10$  мм – 4,16 %, а в рудном отсеке  $-10$  мм – 7,22 % [6].

Целью работы является создание технологии, обеспечивающей повышение качества подаваемого на переработку минерального сырья за счет углубления его селективной выемки, а также увеличение коэффициента извлечения полезного ископаемого из недр путем

выделения обогащенной полезным компонентом мелкой фракции некондиционных руд, которая при использовании традиционных добычных технологий отправлялась бы на склад временно некондиционной руды.

**Результаты исследований.** В настоящее время во всем мире идет становление и развитие автоматизированных систем управления горными, транспортными и другими машинами. Развитие систем автоматизации и навигации при ведении открытых горных работ дает возможность в значительной мере трансформировать технико-технологические принципы деятельности добывающих предприятий [12, 15, 18], аппаратура позволяет с использованием спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС регистрировать перемещения горного оборудования с составлением карт-схем.

Институтом горного дела ДВО РАН предлагается технологическая схема разработки Ошурковского месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса, включающего фрезерный рабочий орган 1, контрольно-измерительное устройство 2 (работа которого основана на применении рентгенорадиометрического способа [9]), транспортно-сортировочный агрегат 3, накопитель 4 и систему пневмотранспортирования 5 для подачи подрешетного продукта в контейнер транспортного средства, а также навигационную систему 6, лоток 7 для спуска надрешетного продукта в открытую траншею (рис.3).

Транспортно-сортировочный агрегат 3 предназначен для отделения обогащенных полезным компонентом мелких фракций апатитовой руды. В кондиционной руде выделяется фракция  $-M_k$  ( $-20$  мм), а в некондиционной руде – фракция  $-M_n$  ( $-10$  мм). Регулировка ширины разгрузочных щелей решетки транспортно-сортировочного агрегата 3 осуществляется автоматически, после поступления сигнала от контрольно-измерительного устройства 2 при изменении содержания полезного компонента в поступающей горной массе.

Выемочно-сортировочный комплекс посредством фрезерного рабочего органа ведет послойную отработку сложноструктурного массива (рис.4). Отфрезерованная горная масса подается на транспортно-сортировочный агрегат, где посредством контрольно-измерительного устройства осуществляется контроль качества горной массы по содержанию полезного компонента. При разработке кондиционной апатитовой руды ширина щелей решетки транспортно-сортировочного агрегата настроена на получение подрешетного продукта размером  $-M_k$ . При выемке некондиционной руды ширина щелей решетки уменьшается для выделения подрешетного продукта размером  $-M_n$ . В случае выемки пустой породы щели решетки транспортно-сортировочного агрегата полностью перекрываются и выделение подрешетного продукта прекращается. Подрешетный продукт сыпается в накопитель, откуда посредством системы пневмотранспортирования перемещается в контейнер транспортного средства и подается на обогащение.

Надрешетный продукт, полученный при выемке кондиционной руды, некондиционной руды и пустой породы, по лотку послойно отсыпается в траншею. Одновременно с использованием навигационной системы составляется карта-схема расположения надрешетного продукта по сортам в траншее. Погрузчик, также оборудованный элементами навигационной системы, с учетом

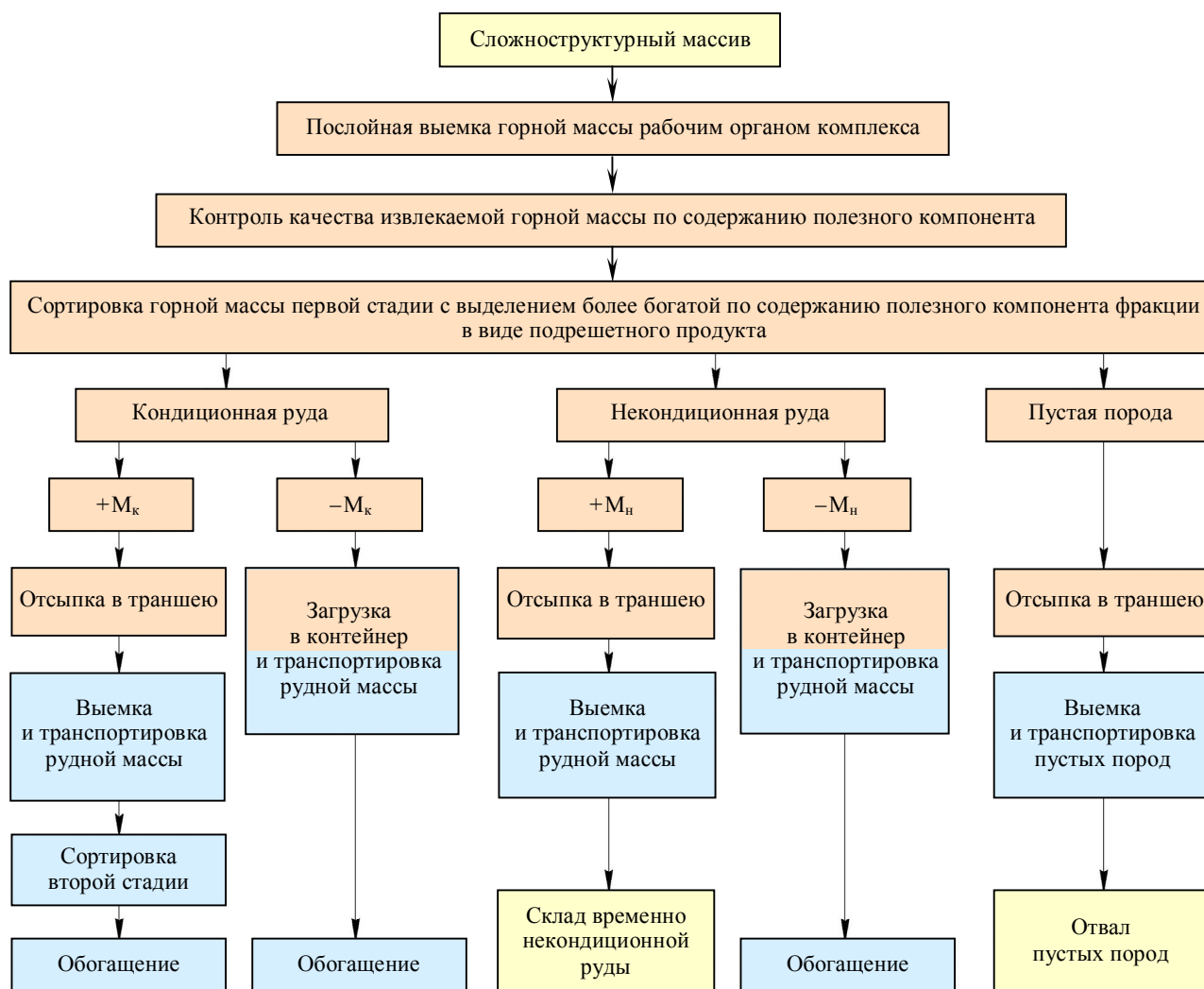


Рис.4. Блок-схема технологии разработки сложноструктурного месторождения апатитов с применением выемочно-сортировочного комплекса и первичной переработки минерального сырья

карты-схемы ведет селективную погрузку кондиционной руды, некондиционной руды и пустой породы в автосамосвалы, которые соответственно перемещают груз на обогащение (с применением сухой технологии получения черного апатитового концентрата), на склад временно некондиционной руды и в отвал пустых пород. По наличию или отсутствию мелких фракций в горной массе, отсыпанной в траншее, машинист погрузчика может дополнительно визуальным образом контролировать смену кондиционности вынимаемой горной массы.

**Заключение.** Предлагаемая технология с использованием выемочно-сортировочного комплекса обеспечит повышение качества добываемого минерального сырья при разработке сложноструктурных месторождений непосредственно на этапе выемки горной массы. Кроме того, она позволит выделять обогащенную полезным компонентом мелкую фракцию некондиционных руд, которая при использовании традиционных добычных технологий отправлялась бы на склад временно некондиционной руды. Выделение мелких фракций апатитовой руды на транспортно-сортировочном агрегате позволит сократить пыление при ведении добычных работ и снизить потери полезного компонента, связанные с выдуванием мелких фракций при погрузке и транспортировке горной массы. Размещение надрешетного продукта в отрытой траншее обеспечит независимость процесса фрезерования массива от транспортных работ, что дает возможность выемочно-сортировочному комплексу работать без остановок для замены и ожидания автосамосвалов под погрузку. Предлагаемое технико-технологическое решение позволит повысить производительность добычных работ и уменьшить количество оборудования в технологической цепочке последующей переработки полученного минерального сырья, что снизит себестоимость апатитового концентрата и повысит рентабельность горного производства.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Викулов В.Е. Эколого-экономические экспертизы технических проектов освоения Ошурковского месторождения / В.Е. Викулов, С.Д. Ширапова // Вестник Бурятского государственного университета. 2012. № 4. С. 36-40.
2. Гурьев А.А. Устойчивое развитие рудно-сырьевой базы и обоганительных мощностей АО «Апатит» на основе лучших инженерных решений // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 662-673. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.662
3. Дмитриев С.В. Вещественный состав и технология сухого обогащения апатитовой руды Ошурковского месторождения / С.В.Дмитриев, Е.Л.Котова, А.О.Мезенин // Обогащение руд. 2016. № 2. С. 9-13. DOI: 10.17580/or.2016.02.02
4. Егорова Н.Н. Петрографические особенности метасоматически измененных сиенитно-диоритовых и диоритовых пород Ошурковского месторождения апатита / Н.Н.Егорова, А.Н.Новикова // Материалы по геологии и полезным ископаемым Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бурят. книжное изд-во, 1970. Вып. 13. С. 119-130.
5. Панкевич Ю.Б. Тонкослоевая выемка решает вопросы повышения качества продукции / Ю.Б.Панкевич, Г.Хартман, В.Д.Долгушин // Горная промышленность. 1997. № 2. С. 10-12.
6. Ресурсосберегающая технология обогащения апатит-нефелиновых руд Хибинского массива / С.В.Терещенко, В.В.Марчевская, Д.Н.Шибаета, В.Н.Аминов // Обогащение руд. 2018. № 3. С. 32-38. DOI: 10.17580/or.2018.03.06
7. Состояние, проблемы развития и освоения сырьевой базы неметаллических полезных ископаемых / Е.М.Аксенов, Р.Ф.Вафин, Р.К.Садыков, П.П. Сенаторов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 5. С. 150-163.
8. Чебан А.Ю. Селективная разработка Эльгинского угольного месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 4. С. 247-254.
9. Швабенланд Е.Е. Управление грузопотоками при послонно-порционной разработке сложноструктурных месторождений комбайнами фрезерного типа // Рациональное освоение недр. 2016. № 3. С. 70-75.
10. Шибаета Д.Н. Экономическая оценка целесообразности отработки месторождения бедных руд с использованием различных принципов управления их качеством / Д.Н.Шибаета, С.В.Терещенко // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14. № 4. С. 778-783.
11. Broicher H.F. Ore and waste identification and quality control by means of laser induced fluorescence // The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. 1999. Vol. 92. N 1034. P. 59-63.
12. Brown C. Autonomous Vehicle Technology in Mining // Autonomous Mining. 2012. N 1. P. 30-32.
13. Constitutive laws in liquid-fluidized beds / P.Duru, M.Nicolas, J.Hinch, É.Guazzelli // Journal of Fluid Mechanics. 2002. Vol. 452. P. 371-404. DOI: 10.1017/S0022112001007017
14. Dehler M. Optical sorting of quartz gravel to reduce the iron content // Aufbereitungs Technik. 2006. Vol. 47. N 8-9. P. 6-8.
15. Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges // Software & Systems Modeling. 2014. Vol. 13. N 3. P. 941-962.
16. Kudrolli A. Size separation in vibrated granular matter // Reports on Progress in Physics. 2004. Vol. 67. N 3. P. 209-248.
17. Niemann-Delius C. Mining technical and profitability of Continuous Surface Mining for two open-pit coal mines in Yugoslavia based on Krupp Surface Mining // Braunkohle. 1991. N 11. P. 10-12.
18. Thompson R. Development of mine haul road surfacing condition monitoring through digital image processing / R.Thompson, S.Hahn, S.Pastor // Mining Engineering. 2015. Vol. 67. N 9. P. 34-45.
19. Upgrading continuous and cyclic excavation and transportation during open-pit mining / A.Yu.Cheban, G.V.Sekisov, N.P.Khrunina, S.A.Shemyakin // Eurasian mining. 2014. N 1. P. 22-24.
20. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia // Zement-Kalk-Gips Int. 2014. Vol. 67. N 10. P. 18-19.

*Автор А.Ю.Чебан, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, chebanau@mail.ru (Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия).*

*Статья поступила в редакцию 16.10.2018.*

*Статья принята к публикации 10.04.2019.*