

УДК 622.765 + 622.778

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНО-МАГНЕТИТОВЫХ РУД

С. В. МАМОНОВ (Негосударственное частное образовательное учреждение высшего образования «Технический университет УГМК», г. Екатеринбург, РФ),
 А. Г. САВИН (ОАО «УГМК-Холдинг», г. Верхняя Пышма, РФ),
 А. А. МЕТЕЛЕВ (ОАО «Святогор», г. Красноуральск, РФ),
 Г. И. ГАЗАЛЕЕВА (ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, РФ)*

Приведены результаты исследования вещественного состава сульфидно-магнетитовой руды Южной залежи Песчанского месторождения. В результате лабораторных технологических исследований определены оптимальные параметры обогащения руды. Разработана комплексная флотационно-магнитная технология ее обогащения, позволяющая получить медный концентрат, содержащий 21,6 % меди при извлечении 91,7 %, и железный концентрат с массовой долей железа 66,5 % и серы 1,2 % при извлечении железа в концентрат 87,9 %. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний технологии обогащения сульфидно-магнетитовой руды в условиях обогатительной фабрики ОАО «Святогор», которые показали возможность получения медного концентрата с массовой долей меди 19,1 % при извлечении 87,1 % и железного концентрата с массовой долей железа общего 66,3 % при извлечении железа общего 84,2 % и железа магнетитового 92,3 %. Массовая доля серы в железном концентрате составила 1,6 %.

Ключевые слова: сульфидно-магнетитовая руда, Песчанское месторождение, медь, железо, пирротин, флотационно-магнитная схема, комплексная технология.

DOI: 10.17580/or.2017.04.03

Введение

Железосодержащие руды ряда уральских месторождений по своему составу являются комплексными и содержат, наряду с основными полезными компонентами (магнетитом и титаномагнетитом), сульфиды меди. К таким рудам относятся титаномагнетитовые руды Волковского месторождения (ОАО «Святогор»), магнетитовые руды Высокогорского (ООО «СП «Эконт») и Вадимо-Александровского (ООО «Валенторский медный карьер») месторождений. При переработке комплексных руд на предприятиях, помимо железа, извлекают и медь.

В качестве дополнительного источника меди можно рассматривать и сульфидно-магнетитовый сорт руды Песчанского магнетитового месторождения.

Исследования по обогащению руд данного месторождения проводились начиная с 1960-х годов. Пробы руд обогащались по флотационно-магнитным, магнитно-флотационным схемам, проверялись схемы доводки промежуточных продуктов обогащения [1].

* Мамонов Сергей Владимирович — зав. кафедрой, канд. техн. наук, Mamonov_SV@umbr.ru; Савин Алексей Геннадьевич — заместитель директора по горному производству и обогащению, info@ugmk.com; Метелев Алексей Анатольевич — главный инженер, Svyatogor@svg.ru; Газалева Галина Ивановна — заместитель генерального директора по аналитической работе, д-р техн. наук, gazaleeva_gi@umbr.ru.

© Мамонов С. В., Савин А. Г., Метелев А. А., Газалева Г. И., 2017

При этом получали медный концентрат, содержащий от 12 до 20 % меди при извлечении от 48 до 86 %, и железный концентрат, содержащий от 63 до 68 % железа и от 0,2 до 3,3 % серы при извлечении железа общего от 68 до 83 % (таблица).

Достигнутые в разные периоды технологические показатели обогащения сульфидно-магнетитовой руды были невысокими.

Результаты и обсуждение

В 2016 году в ОАО «Уралмеханобр» были проведены исследования по разработке эффективной комплексной технологии обогащения медистых магнетитов на укрупненной пробе, отобранной при валовой добыче сульфидно-магнетитовой руды Южной залежи Песчанского месторождения (шахта «Северопесчанская» ОАО «Богословское рудоуправление»), содержащей 0,59 % меди, 39,9 % железа общего и 3,87 % серы общей.

Согласно результатам количественного фазового анализа, медь в пробе сульфидно-магнетитовой руды на 66 % отн. представлена первичными, на 29 % отн. вторичными сульфидными и на 5 % отн. окисленными минералами.

Железо в пробе исследуемой руды в основном связано с магнетитом: его массовая доля составляет 81 % отн. Также отмечается наличие в пробе руды железа, связанного с силикатами (10 % отн.) и пирротинном (5 % отн.). Остальное железо ассоциировано с гидроксидами и карбонатами.

Показатели обогащения сульфидно-магнетитовой руды Песчанского месторождения в лабораторных условиях

Исходное сырье	Массовая доля в исходном сырье, %			Продукт обогащения	Массовая доля, %			Извлечение, %	
	Cu	Fe	S		Cu	Fe	S	Cu	Fe
Смесь руд Северо-и Ново-Песчанского участков	0,082	46,45	2,36	Железный концентрат	—	67,25	0,45	—	81,88
				Сульфидный продукт	0,5	53,32	16,93	—	6,42
				Медный концентрат	16,8	—	—	48,72	—
Сернистые магнетитовые руды Северо-Песчанского участка	0,58	44	3,24	Медный концентрат	19,87	—	—	86	—
				Железный концентрат	—	67	3,26	—	83,27
Концентрат СМС	0,21	48,5	2,86	Медный концентрат	12	—	—	65	—
				Железный концентрат	—	65	0,5	—	—
				Сульфидный продукт	—	—	23,19	—	—
Концентрат СМС	0,2	46,24	2,6	Медный продукт	3,66	38,68	27,64	72,15	3,41
				Железный концентрат	0,035	63,79	0,7	9,12	74,39
Концентрат СМС	0,26	50,7	3,36	Медный концентрат	15,66	—	—	74,42	—
				Железный концентрат	0,015	66,53	0,16	—	82,87
				Сульфидный продукт	1,0	40,0	24,0	86,4	12,9
Промпродукт СМС ДОФ шахты «Северопесчанская»	Лабораторные исследования 0,13	37,2	4,24	Железный концентрат	0,01	65,0	0,2	2,8	68,1
				Сульфидный продукт	—	35,95	9,6	—	22,68
				Промышленные испытания —	38,21	3,0	Железный концентрат	—	68,30

породообразующими минералами являются пироксены, кварц, полевые шпаты, второстепенную роль играют магнезиогорнблендит, кальцит, доломит, анкерит и сидерит. Среди аксессуарных минералов диагностированы апатит, каолинит, рутил, корунд, шпинель и оливин.

Главным железосодержащим минералом в пробе является магнетит, массовая доля которого составляет 45 %. Помимо магнетита, железо содержится в карбонатах, пироксенах, амфиболах, халькопирите, пирротине и пирите. Основным медным минералом в пробе является халькопирит, подчиненное значение имеют ковеллин, халькозин, борнит. Суммарная массовая доля в пробе минералов меди — порядка 1 %.

Минералогический анализ пробы сульфидно-магнетитовой руды показал, что:

- магнетит (рис. 2, а) встречается в виде зерен изометричных форм в основном в составе мономинеральных агрегатов и реже в виде единичных зерен в составе полиминеральных агрегатов; размеры зерен магнетита в среднем не превышают 0,2×0,2 мм; зернистые агрегаты магнетита практически всегда содержат в межзерновом пространстве включения нерудных минералов и сульфидов;

В изучаемой сульфидно-магнетитовой формации магнетитовой руды Северо-Песчанского участка сера ассоциирована на 46 % отн. с пиритом, на 42 % отн. с пирротинном, на 12 % отн. с первичными и вторичными минералами меди.

Детальное изучение распределения серы по модификациям пирротина показало, что в пробе руды 65 % магнитного колчедана представлено моноклинной разновидностью и 35 % — гексагональной.

Известно, что моноклинная модификация пирротина, являясь ферромагнетиком, обладает магнитными свойствами, соизмеримыми со свойствами магнетита [2, 3]. При реализации технологии обогащения сульфидно-магнетитовой руды с использованием магнитной сепарации моноклинный пирротин будет переходить в железный концентрат, а вместе с ним и ассоциированная сера, что приведет к увеличению ее массовой доли в железном концентрате.

Главными рудными минералами в исследуемой пробе руды являются магнетит, пирротин, пирит и халькопирит (рис. 1). Суммарная массовая доля рудных минералов составляет порядка 53 %. Основными

- пирротин (рис. 2, б) встречается в виде изометричных зерен крупностью, в среднем не превышающей 0,5×0,5 мм; наряду со свободными зернами пирротина, наблюдаются и его зерна, находящиеся в сра-

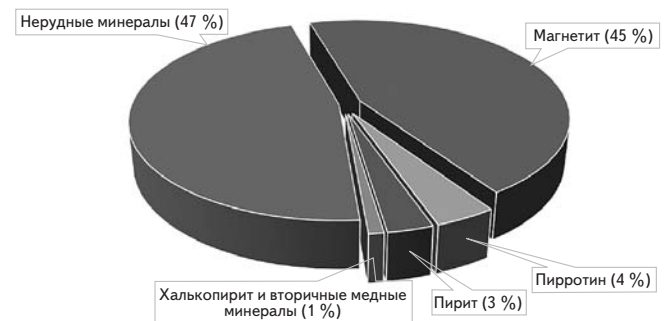


Рис. 1. Минеральный состав пробы сульфидно-магнетитовой руды Северо-Песчанского участка

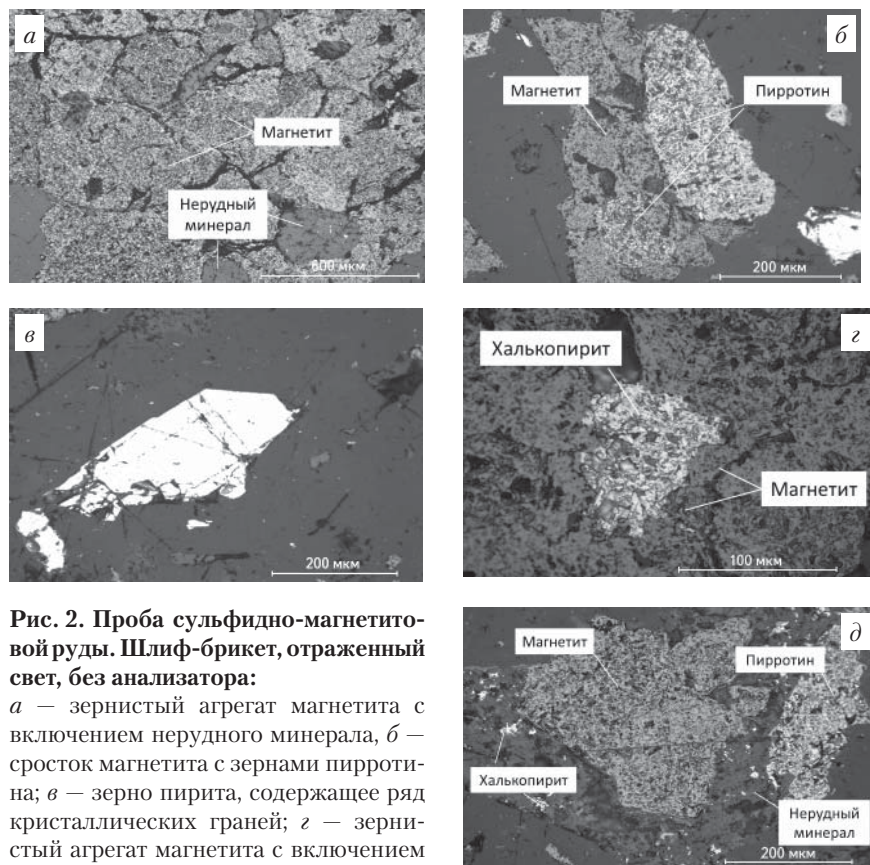


Рис. 2. Проба сульфидно-магнетитовой руды. Шлиф-брикет, отраженный свет, без анализатора:

а — зернистый агрегат магнетита с включением нерудного минерала, *б* — сросток магнетита с зернами пирротина; *в* — зерно пирита, содержащее ряд кристаллических граней; *г* — зернистый агрегат магнетита с включением зерна халькопирита; *д* — сросток зерен магнетита, пирротина и нерудного минерала с мелкой вкрапленностью халькопирита

станции с нерудными минералами, магнетитом, пиритом и халькопиритом;

— пирит (рис. 2, *в*) находится как в свободном виде, так и в виде сростков с нерудными минералами, магнетитом, халькопиритом, образуя с ними четкие, но неровные границы;

— халькопирит (рис. 2, *г*) присутствует в виде зерен, жил и прожилок; зернистые агрегаты халькопирита можно разделить на крупные, размером более 0,1×0,1 мм (рис. 2, *г*), и мелкие, размером менее 0,05×0,05 мм; мелкие зерна халькопирита образуют тонкую, вплоть до эмульсионной, неравномерную вкрапленность в нерудных минералах (рис. 2, *д*); халькопирит в виде жил и прожилок чаще встречается среди нерудных минералов, реже — среди магнетита и сульфидов, выступая в качестве заполнителя их межзернового пространства; мощность жил и прожилок халькопирита менее 0,01 мм; границы выделений минерала при этом четкие, но неровные с тонкими прорастаниями и проникновениями по трещинам и пустотам.

На начальном этапе лабораторных исследований изучалось раскрытие минералов в процессе измельчения пробы сульфидно-магнетитовой руды.

Анализ результатов этих исследований показал, что при измельчении пробы руды до крупности 55 % класса –71 мкм массовая доля свободных зерен медных минералов составляет 90 %, магнетита — 96 %. С

увеличением тонины помола руды до 85 % класса –71 мкм массовая доля свободных зерен этих минералов достигает 99–100 %. В качестве оптимальной крупности измельчения пробы руды принята массовая доля класса –71 мкм, равная 65 %. При этой степени измельчения в измельченном продукте содержится 96 % свободных зерен медных минералов и 98 % раскрытых зерен магнетита.

На продуктах измельчения пробы сульфидно-магнетитовой руды выполнены исследования влияния тонины помола на технологические показатели флотационного обогащения. Исследованиями установлено, что при увеличении в питании медной флотации массовой доли класса –71 мкм с 55 до 85 % качество грубого медного концентрата повышается с 11 до 14 % при одновременном увеличении извлечения медных минералов в медный цикл флотации с 93,0 до 94,2 %. При тонине помола руды, равной 65 % класса –71 мкм, получен грубый медный концентрат, содержащий 13,4 % меди при извлечении 93,8 %.

Флотационные исследования обогатимости пробы сульфидно-магнетитовой руды показали, что оптимальная щелочность пульпы в медном цикле флотации составляет 250–280 г свободного оксида кальция на 1 м³ жидкой фазы пульпы. При этой щелочности достигается максимальное извлечение меди в медный цикл флотации — 94 % — при качестве грубого медного концентрата на уровне 13,5 %.

В связи с тем, что в исследуемой пробе руды содержится 4 % пирротина, с целью снижения вероятности засорения железного концентрата серой проведены исследования по дофлотации магнитного колчедана из хвостов цикла медной флотации в щелочной среде с подачей медного купороса [1, 3–12].

Определено влияние расхода медного купороса на содержание серы в хвостах пирротиновой флотации. В результате исследований установлено, что для максимального извлечения магнитного колчедана в пенный продукт пирротиновой флотации (или для минимального его содержания в хвостах) оптимальный расход медного купороса составляет 300 г/т. При этом расходе медного купороса массовая доля серы в хвостах пирротиновой флотации составила 1,66 % против 3,87 % серы, содержащейся в исходном продукте пирротинового цикла флотации. Дальнейшее увеличение расхода медного купороса до 800 г и более на тонну исходной руды приводит к депрессии пирротина и увеличению содержания серы в камерном продукте пирротиновой флотации.

В ноябре 2016 года на секции № 4 обогатительной фабрики ОАО «Святогор» проведены опытно-промышленные испытания технологии обогащения сульфидно-магнетитовой руды Песчанского месторождения (шахта «Северопесчанская»), содержащей 0,68 % меди, 50,3 % железа и 6,58 % серы.

Необходимо отметить, что опытно-промышленная проба по вещественному составу отличалась от укрупненно-лабораторной пробы: массовая доля меди увеличилась с 0,59 до 0,68 %; массовая доля окисленных форм меди — с 5,08 до 16,18 % отн.; массовая доля железа общего — с 39,9 до 52,9 %, серы — с 3,87 до 6,88 %.

Опытно-промышленные испытания проведены по ранее описанной технологии обогащения сульфидно-магнетитовой руды с незначительными корректировками реагентного и технологического режимов, по схеме аппаратного оформления, приведенной на рис. 3.

В результате испытаний установлено, что по разработанной технологии обогащения возможно получение:

— медного концентрата с массовой долей меди 19,1 % при извлечении 87,1 %;

— железного концентрата с массовой долей железа общего 66,3 % при извлечении железа общего 84,2 % и железа магнетитового 92,3 %. Массовая доля серы в железном концентрате составила 1,6 %.

Таким образом, реализация комплексной технологии обогащения сульфидно-магнетитовой руды Северо-Песчанского участка Песчанского месторождения, содержащей 0,59–0,68 % меди, 39,9–52,9 % железа общего и 3,87–6,88 % серы общей, позволит получить медный концентрат с массовой долей меди 19,1–21,6 % при извлечении 87,1–91,7 % и железный концентрат с массовой долей железа общего 66,3–66,5 % при извлечении 84,2–87,9 %.

Список литературы

1. Мамонов С. В., Дресвянкина Т. П., Волкова С. В. Технология обогащения медистых магнетитов БРУ // Современные тенденции в области теории и практики обогащения и подготовки сырья к металлургической переработке:

материалы Рос. науч.-техн. конф., 24 октября 2016 г. / под общ. ред. С. В. Мамонова. Верхняя Пышма: НЧОУ ВО «ТУ УГМК», 2016.

2. Дорошенко М. В., Башлыкова Т. В. Технологические свойства минералов. Справочник для технологов. М.: Теплоэнергетик, 2007. 296 с.

3. Цыгалов М. А. Повышение комплексности использования пирротинсодержащих медно-цинковых руд за счет применения комбинированной магнитно-флотационной технологии: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2005. 128 с.

4. Oliazadeh M., Vazirizadeh A. Removing impurities from iron ores: methods and industrial cases // XXVIII IMPC, Quebec, September 11–15, 2016. Paper 711. P. 1–13.

5. Bhambhani T., Nagaraj D. R., Yavuzkan O. Improving flotation recovery of oxide copper minerals // XXVIII IMPC, Quebec, September 11–15, 2016. Paper 469. P. 1–13.

6. Modification of the Sarcheshmeh copper complex flotation circuit in response to a reduction in feed grade / Gh. A. Parsapour, S. Darvish Tafvizi, E. Arghavani, A. Akbari, S. Banisi // XXVIII IMPC, Quebec, September 11–15, 2016. Paper 507. P. 1–7.

7. The effect of chlorite on the flotation of pyrrhotite / Q. Shi, Y. Chen, Q. Feng, G. Zhang // XXVIII IMPC, Quebec, September 11–15, 2016. Paper 579. P. 1–10.

8. Пат. 2475308 РФ, МПК В 03 D 1/02. Способ флотационного обогащения пирротинсодержащих руд / М. Г. Видуецкий, В. А. Мальцев, И. Ф. Гарифулин, В. М. Соколов, Г. Д. Топаев, А. А. Бондарев; № 2011134367/03; заявл. 16.08.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5.

9. Пат. 2189867 РФ, МПК В 03 D 1/02, В 03 D 1/008, В 03 D 1/016, В 03 D 103/02. Способ доводки магнетитовых концентратов / Е. Е. Каменева, Н. М. Филимонова, Г. П. Андронов, В. А. Иванова; № 2000124159/03; заявл. 21.09.2000; опубл. 27.09.2002, Бюл. № 27.

10. Matveyeva T., Ivanova T., Gromova N. Application of plant extracts as modifiers for selective flotation of sulfide minerals // Proc. of the XXVII IMPC. Santiago, Chile, 2014. Chap. 3. P. 90–98.

11. Посыпкин Л. Д. Повышение активирующего действия ионов меди при флотации вкрапленных медно-никелевых руд в щелочной среде // Обогащение руд. 1980. № 2. С. 15–18.

12. Посыпкин Л. Д. Исследование особенностей и изыскание путей совершенствования технологии флотации труднообогатимых руд цветных металлов, содержащих сульфиды железа: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1981. 139 с. **IP**

OBOGASHCHENIE RUD, 2017, No. 4, pp. 12–17.
DOI: 10.17580/or.2017.04.03

The sulphide-magnetite ores integrated processing technology

Information about authors

Mamonov S. V.¹, Head of Chair, Candidate of Engineering Sciences, Mamonov_SV@umbr.ru;

Savin A. G.², Deputy Director for Mining and Mineral Processing, info@ugmk.com;

Metelev A. A.³, Chief Engineer, Svyatogor@svg.ru;

Gazaleeva G. I.⁴, Deputy General Director for Analytical Work, Doctor of Engineering Sciences, gazaleeva_gi@umbr.ru.

¹ Technical University of UGМК (Ekaterinburg, Russia);

² UGМК — Ural Mining and Metallurgical Company (Verkhnyaya Pyshma, Sverdlovsk region, Russia);

³ OJSC «Svyatogor» (Krasnouralsk, Sverdlovsk region, Russia);

⁴ OJSC «Uralmexhanobr» (Ekaterinburg, Russia).

Abstract

The paper presents the results of the Peschanskoye deposit Southern body sulfide-magnetite ore material composition study. The analysis results show that the ore contains 0.59 % copper, with 66 % (rel.) of copper being associated with chalcopyrite; as well as 39.9 % iron, 81 % (rel.) of which is attributed to magnetite, and 3.87 % sulfur, 42 % (rel.) of which is associated with pyrrhotine, the latter by 65% being accounted for by a monoclinic modification. The main iron-containing mineral in the ore is magnetite, its mass content being 45 %. In addition to magnetite, iron is also contained in carbonates, pyroxenes, amphiboles, chalcopyrite, pyrrhotine and pyrite. The main copper mineral in the sample is chalcopyrite, while covellite, chalcocite, bornite are of subordinate value. Cumulative mass content of copper minerals in the sample is about 1 %. According to the results of the laboratory technological studies, the following optimal parameters for ore beneficiation were determined: mass content of –71 μm size fraction in flotation feed is 65 %, pulp alkalinity – 250–280 g/m³ of free calcium oxide in pulp liquid phase, rougher copper flotation

time – 20 min, butyl potassium xanthate consumption – 20 g/t, that of frother T-92 – 15 g/t, copper sulfate consumption in pyrrhotite activation – 300 g/t, magnetic field intensity – 119.4 kA/m. An integrated flotation-magnetic ore-processing technology was developed under laboratory conditions, permitting to produce copper concentrate containing 21.6 % copper, recovery being 91.7 %, as well as iron concentrate with mass fraction of iron being 66.5 % and that of sulfur – 1.2 %, iron recovery into concentrate being 87.9 %. The results of the pilot-scale testing of the technology in question at the «Svyatogor» Beneficiation Plant are presented, showing the possibility of obtaining copper concentrate with mass fraction of copper 19.1 %, recovery being 87.1 %, as well as iron concentrate with mass fraction of total iron 66.3 %, total iron recovery being 84.2 % and that of magnetite iron – 92.3 %. Sulfur mass fraction in iron concentrate was 1.6 %.

Key words: sulfide-magnetite ore, Peschanskoye deposit, copper, iron, pyrrhotite, flotation-magnetic flow sheet, integrated process technology

References

1. Mamonov S. V., Dresvyankina T. P., Volkova S. V. Technology of cuprous magnetite beneficiation. *Modern trends in the theory and practice of raw materials beneficiation and preparation for metallurgical processing. Materials of the Russian scientific-technical conf.*, October 24, 2016. Ed. S. V. Mamonov. Verkhnyaya Pyshma: TU UGMK, 2016.
2. Doroshenko M. V., Bashlykova T. V. Technological properties of minerals. Handbook for technologists. Moscow: Teploenergetik, 2007. 296 p.
3. Tsygalov M. A. Increase in the complexity of the pyrrhotite-containing copper-zinc ores use due to the application of combined magnetic flotation technology.

Dissertation for the degree of Candidate of Engineering Sciences. Magnitogorsk, 2005. 128 p.

4. Oliazadeh M., Vazirizadeh A. Removing impurities from iron ores: methods and industrial cases. *XXVIII IMPC*, Quebec, September 11–15, 2016. Paper 711. pp. 1–13.
5. Bhambhani T., Nagaraj D. R., Yavuzkan O. Improving flotation recovery of oxide copper minerals. *XXVIII IMPC*, Quebec, September 11–15, 2016. Paper 469. pp. 1–13.
6. Parsapour Gh. A., Tafvizi S., Darvish, Arghavani E., Akbari A., Banisi S. Modification of the Sarcheshmeh copper complex flotation circuit in response to a reduction in feed grade. *XXVIII IMPC*, Quebec, September 11–15, 2016. Paper 507. pp. 1–7.
7. Shi Q., Chen Y., Feng Q., Zhang G. The effect of chlorite on the flotation of pyrrhotite. *XXVIII IMPC*, Quebec, September 11–15, 2016. Paper 579. pp. 1–10.
8. Pat. 2475308 Russian Federation.
9. Pat. 2189867 Russian Federation.
10. Matveyeva T., Ivanova T., Gromova N. Application of plant extracts as modifiers for selective flotation of sulfide minerals. *Proc. of the XXVII IMPC*. Santiago, Chile, 2014. Ghap. 3. pp. 90–98.
11. Posypkin L. D. Increase of the activating action of copper ions during flotation of disseminated copper-nickel ores in an alkaline medium. *Obogashchenie Rud*. 1980. No. 2. pp. 15–18.
12. Posypkin L. D. Investigation of peculiarities and research of ways to improve flotation technology for refractory non-ferrous metal ores containing iron sulphides. Dissertation for the degree of Candidate of Engineering Sciences. Leningrad, 1981. 139 p.



ПЕТРУ ВАСИЛЬЕВИЧУ МАЛЯРОВУ — 70 ЛЕТ

6 июля 2017 года исполнилось 70 лет Петру Васильевичу Малярову — доктору технических наук, генеральному директору ООО «Ресурс» (г. Ставрополь).

П. В. Маляров окончил Новочеркасский политехнический институт, где приобрел специальность инженера-механика. Свою профессиональную деятельность начал на кафедре «Детали машин» в Ставропольском политехническом институте, где работал с 1972 по 1990 год сначала в должности ассистента, а затем старшего преподавателя и доцента. Пять лет из этого периода пришлось на зарубежную командировку — П. В. Маляров возглавлял Департамент инженерной механики в Национальном университете Мозамбика.

В 1990 году П. В. Маляров организовал частное предприятие, которое в результате нескольких реорганизаций преобразовалось в ООО «Ресурс». Основное направление деятельности компании — исследования в области рудоподготовки и обогащения полезных ископаемых с целью создания высокоэффективных технологий и конкурентоспособного оборудования.

Разработки П. В. Малярова успешно эксплуатируются на обогатительных предприятиях России и стран ближнего зарубежья, таких как флагман отечественной цветной металлургии ПАО «ГМК «Норильский никель»; Лебединский ГОК; ряд предприятий Украины, производящих черные металлы; АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (Узбекистан) и многие другие.

Результаты теоретических исследований П. В. Малярова опубликованы в ряде учебных пособий и широко используются при подготовке студентов соответствующих специальностей, а также востребованы научными коллективами, в том числе при проектировании новых обогатительных предприятий.

Петр Васильевич Маляров является одним из ведущих ученых на постсоветском пространстве в области подготовки руд цветных металлов к обогащению.

Он входит в состав редсовета журнала «Обогащение руд» и активно участвует в его работе.

Редсовет журнала сердечно поздравляет Петра Васильевича с юбилеем и желает ему здоровья, долгих лет творческой работы, новых научных достижений.