

А. А. АЛЁХИН, Е. В. ГОРБУНОВА, В. В. КОРОТАЕВ, А. М. ОЛЬХОВСКИЙ,
Д. Б. ПЕТУХОВА, А. Н. ЧЕРТОВ

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА РУД ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Рассмотрены особенности построения оптико-электронной системы экспресс-анализа минерального сырья. Приведены результаты экспериментальных исследований указанной системы, подтверждающие эффективность ее использования для нужд горно-добывающей промышленности.

Ключевые слова: оптико-электронная система, фотометрический метод, оптический метод, экспресс-анализ, обогащение руд твердых полезных ископаемых.

Оптический метод обогащения руд твердых полезных ископаемых (в зарубежной практике известный как “color sorting”, в отечественной — как „фотометрический“) является наиболее динамично развивающимся среди радиометрических методов и успешно используется в горно-добывающей промышленности при добыче золота [1], алмазов [2], никеля [3], кальция [4], полевых шпатов [5]. Обогащение минерального сырья с использованием данного метода основывается на селекции минералов по их оптическим характеристикам, таким как блеск, цвет, отражательная способность, прозрачность.

На рынке обогатительного оборудования в настоящее время широко представлены оптические сепараторы различных фирм: например, Optosort (“ALIUD GmbH”, Германия), MikroSort (“Mogensen GmbH”, Германия), UltraSort (“Commodas GmbH”, Германия) и др. Опуская подробный анализ их достоинств и недостатков, обратим внимание на одну из ключевых, по мнению авторов, проблем, препятствующих развитию и расширению границ применимости оптического метода.

Указанная проблема заключается в отсутствии методики определения степени обогатимости руд без прямого опробования на существующих сепараторах, а также в отсутствии оборудования, реализующего данную методику. Кроме того, следует отметить отсутствие критериев, определяющих выбор того или иного производителя оптических сепараторов. Прямым следствием сложившейся ситуации является „непрозрачность“ оптического метода и отказ потенциальных заказчиков от его использования.

Очевидно, что в оптических сепараторах различных фирм для обработки получаемых изображений минеральных объектов могут использоваться различные системы цветковых координат и разнообразные алгоритмы обработки [6]. При этом применяемые в сепараторах блоки регистрации, как правило, различаются по своим техническим характеристикам [6, 7].

В то же время во всех без исключения оптических сепараторах реализуются принципы анализа цветных изображений. Следовательно, представляется реальным создание оптико-электронной системы (ОЭС), которая, на основе результатов обработки снимков нескольких минеральных образцов (как содержащих полезные компоненты, так и „пустых“), позволит выработать решение о возможности (или невозможности) разделения минералов оптическим методом. При этом решение может быть принято для совокупности условий проведения анализа: например, ряда источников освещения (белых светодиодов, люминесцентных ламп,

галогенных ламп и т.п.) и систем цветовых координат, используемых для оцифровки изображения (RGB, Yuv, Lab и др.).

Принцип работы ОЭС экспресс-анализа руд твердых полезных ископаемых оптическим методом иллюстрируется схемой, представленной на рис. 1. Блок освещения объектов (БО) создает необходимый уровень освещенности на поверхности анализируемого объекта. Блок регистрации (БР) получает изображения объекта по сигналу его наличия в зоне регистрации от блока синхронизации (БС). Блок управления и анализа данных (БУА) координирует работу всей ОЭС и вырабатывает решение о возможности или невозможности разделения исследуемых образцов оптическим методом, а также определяет значения порогов выделения полезных областей и величин порогов разделения.

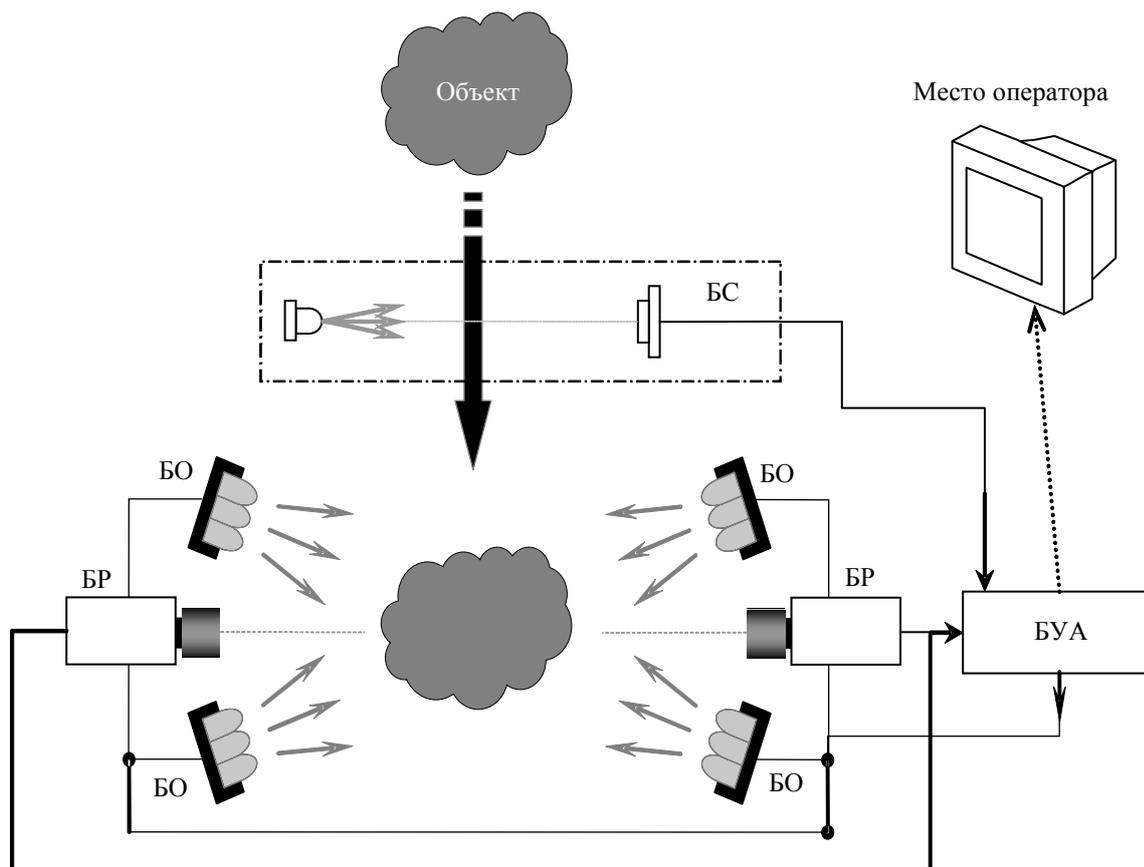


Рис. 1

Как известно, минеральные объекты можно разделять по различным селективным признакам: например, по наличию зон определенной цветности на поверхности объекта [6, 8, 9], по форме изображения объекта [6, 8], по наличию прожилок на объекте и их длине [10] и т.п. Поэтому программное обеспечение ОЭС экспресс-анализа должно предусматривать возможность выбора оператором любого из перечисленных признаков или их сочетания. Схема работы программного обеспечения ОЭС приведена на рис. 2.

На кафедре оптико-электронных приборов и систем НИУ ИТМО был разработан экспериментальный образец оптико-электронной системы экспресс-анализа руд твердых полезных ископаемых оптическим методом. Исследования системы проводились на базе научно-производственного предприятия „ГеоТестСервис“ (Москва) в условиях, максимально приближенных к условиям добычи и предварительного обогащения минерального сырья.

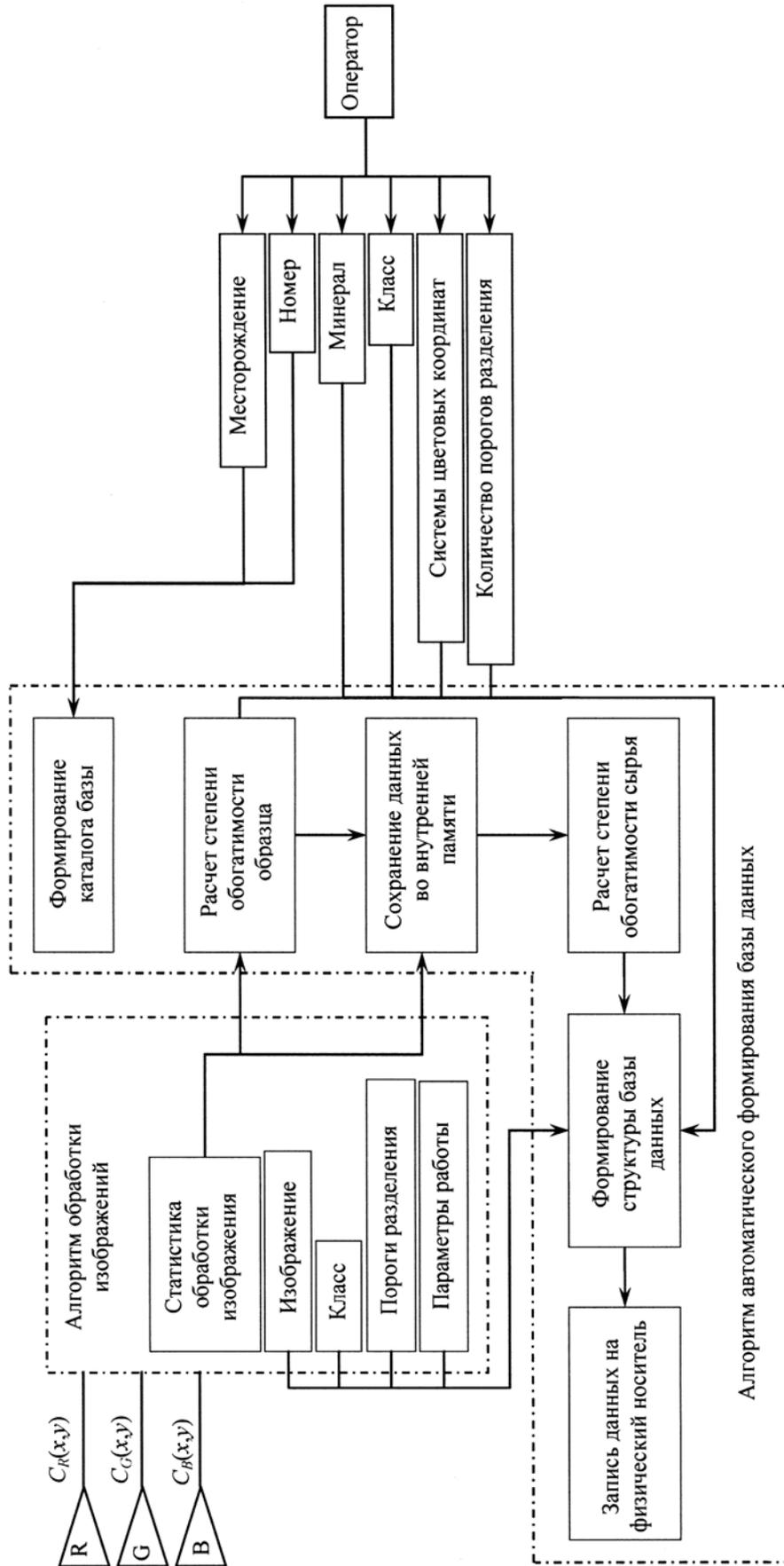


Рис. 2

В качестве анализируемых минеральных объектов были выбраны образцы дубликатов руды попутной добычи класса крупности от -60 до $+30$ мм золотоносного месторождения „Коневинское“. Изображения наиболее характерных минеральных образцов пробы представлены на рис. 3 в порядке уменьшения содержания в них золота (больше всего золота содержит кварц, тогда как гранодиориты фактически не содержат золота и считаются пустой породой).

Визуальный анализ минералов показал, что наличие областей определенной цветности на поверхности образцов является наиболее эффективным селективным признаком (по которому специалист-минералог определяет степень полезности каждого образца): кварцу соответствуют белые и светло-желтые оттенки; окисленный березит представлен различными оттенками оранжевого и коричневого цветов; березит отличается болотно-зелеными оттенками; остальные цветовые оттенки присущи гранодиоритам.

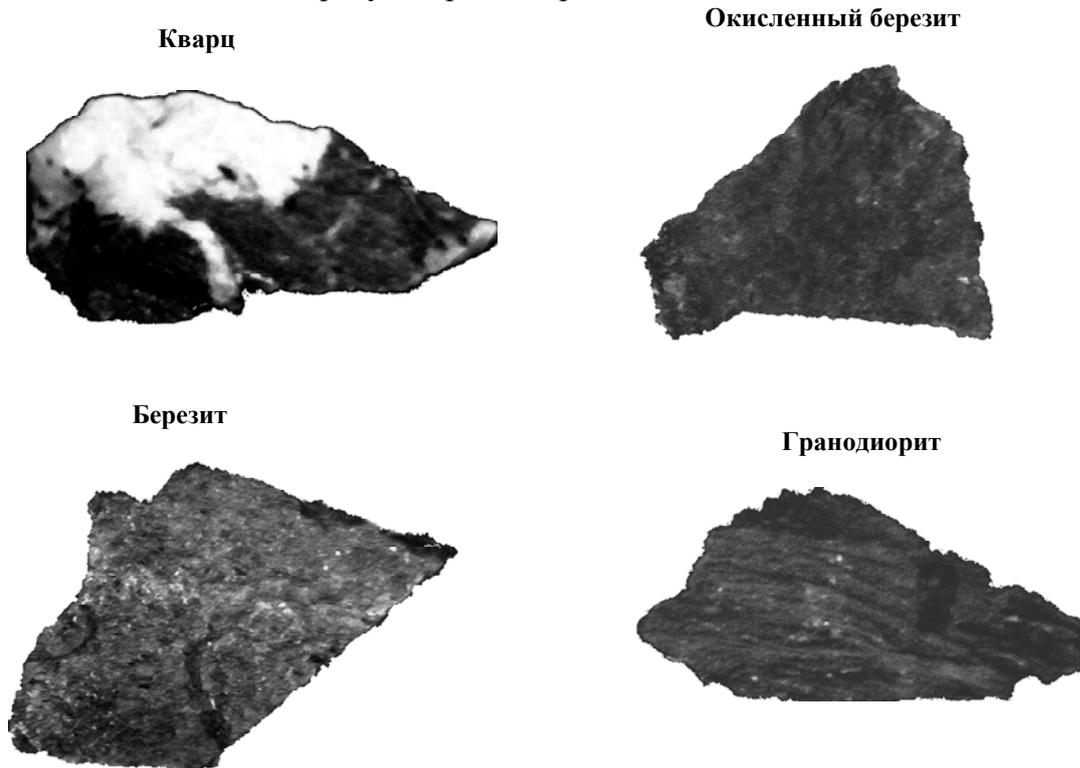


Рис. 3

По результатам проведенных исследований предложена следующая методика определения степени обогатимости руд твердых полезных ископаемых оптическим методом. Сначала вычисляются границы определяемых областей цветности и их относительные площади $S_{R,i}$ для выбранных систем цветовых координат:

$$S_{R,i} = \frac{S_{o,ц,i}}{S_{из}} \cdot 100 \%,$$

где $S_{из}$ — площадь изображения объекта, $S_{o,ц,i}$ — площадь i -й области цветности.

Далее оценивается фактор A каждого минерального образца:

$$A = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^N S_{R,i} \geq P; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где N — количество анализируемых областей цветности; P — величина порога разделения.

Минеральный образец считается полезным при $A = 1$; принадлежности образца к пустой породе соответствует $A = 0$.

Для верификации результатов анализа пробы с помощью разработанной ОЭС образцы руды попутной добычи золотоносного месторождения „Коневинское“ исследовались также на сепараторе фирмы “Commodas”. Результаты сравнительного анализа четырех представленных минеральных образцов с использованием ОЭС экспресс-анализа и сепаратора приведены в таблице.

Образец	Система цветowych координат	$P, \%$, —ОЭС экспресс-анализа,					$P, \%$, — “Commodas”				
		60	70	75	80	90	60	70	75	80	90
Кварц	RGB	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
	Yuv	0	0	0	1	1					
	HLS	0	0	1	1	1					
Окисленный березит	RGB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Yuv	1	1	1	1	1					
	HLS	1	1	1	1	1					
Березит	RGB	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	Yuv	0	0	1	1	1					
	HLS	1	1	1	1	1					
Гранодиорит	RGB	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Yuv	0	0	0	0	0					
	HLS	0	0	0	0	1					

Как видно из представленных результатов, для ОЭС экспресс-анализа порог $P = 75 \dots 80 \%$ позволяет эффективно отделить полезные кварц, окисленный и простой березиты от гранодиоритов в Yuv- и HLS-системах цветowych координат. Этот же порог для RGB-системы цветowych координат составляет 90% .

Сравнение данных анализа пробы сепаратором “Commodas” (работающим в системе Yuv) показало высокую степень совпадения с результатами, полученными с использованием ОЭС экспресс-анализа для той же системы цветowych координат.

Таким образом, показана возможность реализации ОЭС, обеспечивающей оценку степени обогатимости руд оптическим методом без прямого опробования на существующих сепараторах. Также предлагаемая ОЭС экспресс-анализа позволяет оценить результаты применения оптического метода сепарации при использовании различных источников излучения, нескольких систем цветowych координат и разнообразных селективных признаков. Это позволяет выбрать среди известных типов сепараторов наиболее подходящие для обогащения руды конкретного месторождения.

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009—2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Von Ketelhodt L. Viability of optical sorting of gold waste rock dumps // Proc. of World Gold Conf. 2009. P. 271—277 [Электронный ресурс]: <<http://www.saimm.co.za/publications/conference-papers>>.
2. Обзор алмазодобывающей отрасли России [Электронный ресурс]: <<http://www.advisers.ru/file/advisers/almaz.pdf>>.
3. Dehler M. Optical sorting of ceramic raw materials // Tile & Brick Internat. 2003. Vol. 19 [Электронный ресурс]: <http://www.worldcat.org/title/optical-sorting-of-ceramic-raw-material/oclc/210215395&referer=brief_results>.
4. Harbeck H. Optoelectronic separation in feldspar processing at maffei sarda // Aufbereitungs Technik. 2001. Vol. 42, N. 9.

5. *Tako P. R. de Jong*. The Economic Potential of Automatic Rock Sorting / Delft Univ. of Technology. 2005.
6. *Manouchehri H. R.* Sorting: Possibilities, Limitations and Future [Электронный ресурс]: <<http://pure.ltu.se/portal/files/299975/article>>.
7. *Рябкин В. К., Литвинцев Э. Г., Тихвинский А. В., Карпенко И. А., Пичугин А. Н., Кобзев А. С.* Метод полихромной фотометрической сепарации золотосодержащих руд // Горный журн. 2007. № 12.
8. *Reinhardt C.* The use of a mogensen sizer and mikrosort optoelectronic system in aluminium production // Aufbereitungs Technik. 2002. Vol. 43, N 7.
9. *Dehler M.* Optical sorting of quartz gravel to reduce the iron content // Aufbereitungs Technik. 2006. Vol. 47, N 8—9.
10. Успешное обнаружение примесей с помощью сортировочной системы REDWAVE-XRF // GlassRussia. 2012. № 10. С. 32—34 [Электронный ресурс]: <http://www.mgorod.com/index.php?option=com_content&view=article&id=101&Itemid=215>.

Сведения об авторах

- Артём Андреевич Алёхин** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: temka-pk@mail.ru
- Елена Васильевна Горбунова** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: vredina_ia@mail.ru
- Валерий Викторович Коротяев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; заведующий кафедрой; E-mail: korotaev@grv.ifmo.ru
- Александр Михайлович Ольховский** — ОАО «Научно-производственное предприятие „ГеоТестСервис“», Москва; зам. генерального директора; E-mail: a_olh@mail.ru
- Дарья Борисовна Петухова** — студентка; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: petuxovadarja@yandex.ru
- Александр Николаевич Чертов** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; доцент; E-mail: a.n.chertov@mail.ru

Рекомендована кафедрой
оптико-электронных приборов
и систем НИУ ИТМО

Поступила в редакцию
07.02.13 г.