

В.М. Шек, В.В. Морозов, А.Г. Литвинов

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В МИНЕРАЛЬНЫХ ПРОДУКТАХ

Рассмотрены вопросы автоматизированного определения количества и качества ценных компонентов в продуктах горно-обогатительного производства с применением геоинформационных технологий и методов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: горное производство, минеральные продукты, хроматография, геоинформационные технологии.

Известно, что полезные ископаемые, которые являются основным и, зачастую, единственным источником материальных продуктов, обеспечивающих земную цивилизацию, залегают в небольших локальных ареалах земной коры и извлекаются (разрабатываются), как правило, в тех случаях, когда содержащиеся в них ценные компоненты являются запасами. При этом существующие технологии добычи полезных ископаемых не позволяют получать в качестве конечного продукта чистые минеральные продукты, последние отгружаются на дальнейшую переработку в совокупности с залегающими совместно с ними малоценными и неценными компонентами. Поэтому в большинстве случаев приходится обогащать идущие для последующей переработки смеси. Особенно актуально это при разработке рудных месторождений, где содержание ценных компонентов может составлять тысячные доли массы добытой руды.

Эффективность управления процессами обогащения полезных ископаемых сильно зависит от качества информации о составе перерабатываемых смесей минеральных продуктов. На большинстве существующих обогатительных предприятий такую информацию получают путем отбора проб из потока перерабатываемых продуктов и дальнейшего их исследования в специальных химических лабораториях или САК состава минеральных продуктов. Зачастую результаты опробования выдаются недостаточно оперативно, особенно в случаях использования АСУТП процессами обогащения на предприятиях с сильной изменчивостью состава входного сырья.

Наилучшее решение проблемы непрерывного неразрушающего контроля состава минеральных продуктов может быть обеспечено использованием компьютерных систем оптического распознавания видов и массовых долей отдельных минералов в материальных потоках на всех стадиях обогащения (рис. 1). При разработке таких систем нами используются имеющиеся наработки по применению системного анализа и геоинформационных технологий [1, 2 и др.].

Метод оптического распознавания вида и формы отдельных классов (типов) минеральных продуктов (минералов) заключается в: фиксировании экспозиции последних в определенных точках технологической цепи перемещения «сырье – промпродукты – продукты обогащения» в виде дискретных изображений (кадров) через определенные промежутки времени; компьютерном анализе каждого кадра с вычислением определяющих параметров всех классов (типов) минеральных продуктов предприятия (фабрики); формировании пространственно-временного банка данных количественной и качественной информа-

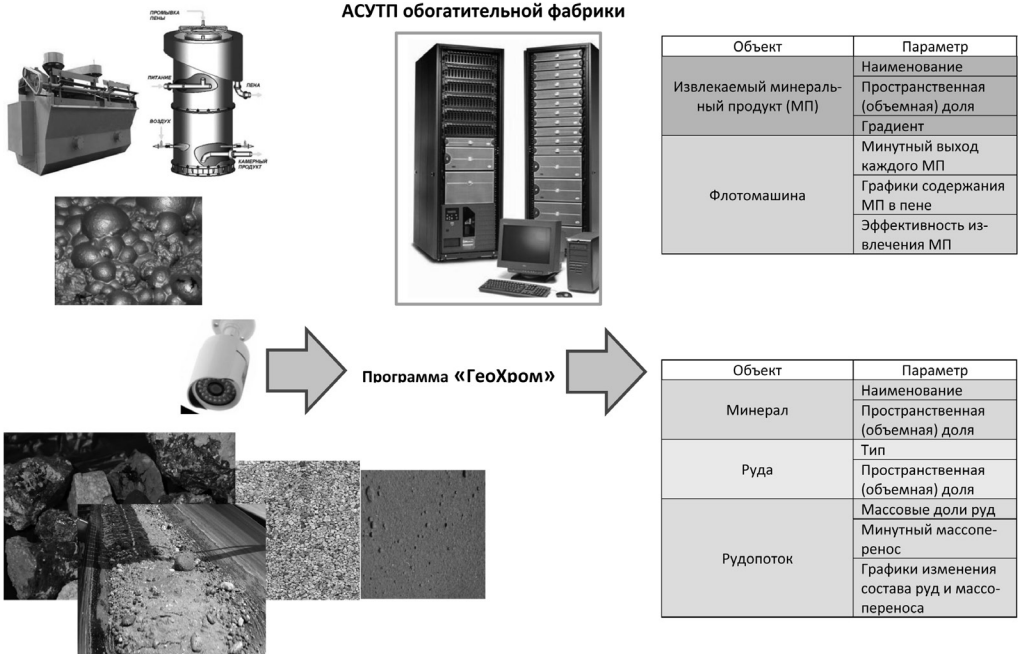


Рис. 1. Видеоопределение параметров минеральных продуктов

ции о получении и перемещении единичных объемов минеральных продуктов каждого исследуемого класса минеральных продуктов; генерации рекомендаций системы поддержки принятия технологических решений для всех стадий обогащения на предприятии; информационном обеспечении адаптивного регулирования управляющих параметров подсистем АСУТП ОФ, в том числе и подсистемы оптического распознавания.

Наиболее эффективным с учетом технических и экологических критериев является создание системы распознавания объектов с использованием цифровых видео- или фотоизображений с использованием видимого диапазона световых волн. Каждый кадр представляет собой пиксельную матрицу высокого разрешения. Наиболее информативными для распознавания объектов (минеральных продуктов) являются цветные изображения.

Имеется несколько общепризнанных стандартных форматов цветных видеоизображений. По нашему мнению, для реализации описанного метода наиболее подходящим является формат RGB. Он используется во всех серийных типах фото- и видеоаппаратуры, имеет всего три фиксируемых параметра каждого пиксела кадра. Остальные видеопараметры, наиболее важным из которых является освещенность (интенсивность освещения), определяются на основе этих трех базовых параметров и априорной информации об условиях проведения съемки.

Для реализации вышеназванного метода необходим аппарат создания и использования комплекса математических моделей с использованием ГИС-технологий. Построение такого комплекса требует наличия теоретической базы для осмысления взаимосвязей основных физико-химических параметров непрерывных потоков минеральных продуктов (в сухом, влажном состоянии или в

водной среде) и параметрами дискретного регулярного наборовидеомоделей (фото- или видеокадров), получаемых с помощью видеосъемки этих процессов в определенных характерных точках в технологической цепи обогащительного производства.

В системе обогащения минеральных продуктов любой материальный поток можно представить в виде последовательных единичных объемов смеси минеральных тел, делящихся на «полезные» (включающие полезные компоненты) и «бесполезные» («пустые»), которые не содержат полезные компоненты или содержат их в мизерных количествах, не имеющих практической ценности. Эффективность каждого отдельного процесса обогащения (или их совокупности) можно оценить по изменению массовой доли «полезных» минеральных тел (кусков, зерен, частиц) в единичном объеме на выходе по сравнению с таковой на входе процесса.

Пусть «полезность» (качество) каждого минерального тела определяется по следующим параметрам

$$Q_i = \{M_i, n_i, c_{ij}, q_{ij}\} = \{V_i, g_i, n_i, c_{ij}, q_{ij}\}, \quad (1)$$

где M_i – масса i -го минерального тела, кг; n_i – количество полезных компонентов в этом теле; c_{ij} – концентрация j -го полезного компонента в i -ом теле; q_{ij} – полезность (ценность) j -го полезного компонента в этом теле; V_i – объем i -го минерального тела, м³; g_i – удельная масса i -го минерального тела, кг/м³. Полезность куска породы массой $M_i \in \varphi$ равна 0.

Тогда результат выполнения каждого k -го обогащительного процесса за время $\Delta t = t_{\text{ок}} - t_{\text{н}}$ можно представить как

$$\Delta Q_k^t = Q_k^t - Q_k^{t-1} = \frac{\left(\sum_{i \in I_t}^k M_i * \sum_{j \in J}^k c_{ij} * q_{ij} \right)}{\left(\sum_{i \in I_t}^k M_i \int \varphi \right)} - \frac{\left(\sum_{i \in I_{t-1}}^k M_i * \sum_{j \in J}^k c_{ij} * q_{ij} \right)}{\left(\sum_{i \in I_{t-1}}^k M_i \int \varphi \right)} \quad (2)$$

$$\text{при } \left(\sum_{i \in I_t}^k M_i \int \varphi \right) \neq 0, \quad \left(\sum_{i \in I_{t-1}}^k M_i \int \varphi \right) \neq 0.$$

В случае отсутствия бесполезных («пустых») тел (частиц) в «голове» или «хвосте» процесса знаменатель соответствующей дроби в формуле (2) равен 1.

Качество входного потока руды оценивается по формуле

$$Q_{\text{вх}}^t = \frac{\left(\sum_{i \in I_t}^k M_i * \sum_{j \in J}^k c_{ij} * q_{ij} \right)}{\left(\sum_{i \in I_t}^k M_i \int \varphi \right)} \text{ при } \left(\sum_{i \in I_t}^k M_i \int \varphi \right) \neq 0. \quad (3)$$

Ранее проводившимися исследованиями [1, 2 и др.] установлено, что при освещении любого минерального продукта (минерала) последний отражает световые волны определенного спектра (цветовой гаммы). При цветной фото- или видеосъемке минерала каждый пиксел его изображения в формате RGB будет иметь определенные значения параметров R, G и B. При увеличении интенсивности освещения значения этих параметров для каждой точки изображения минерала будут коллинеарно увеличиваться, при снижении освещения – уменьшаться. Поворот грани минерала относительно источника света приводит к соответствующему изменению освещенности каждой ее точки.

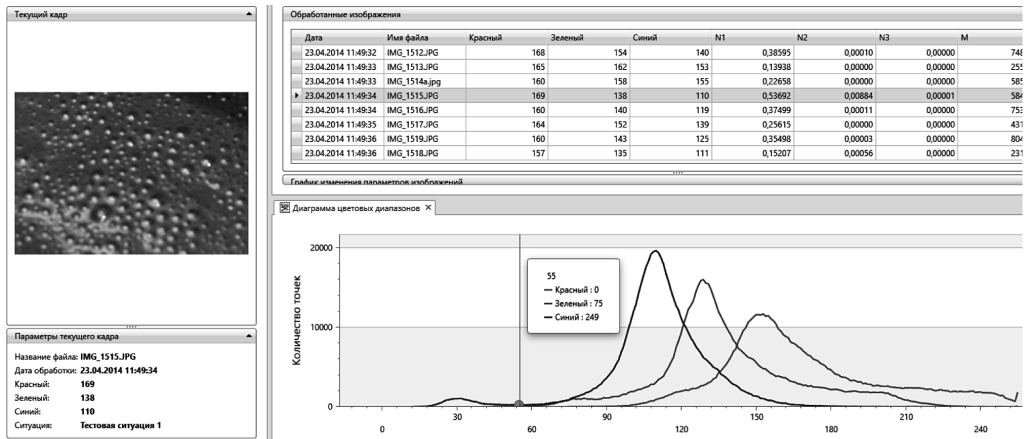


Рис. 2. Пена «магнетит – кварц»

Поэтому изображение каждого куска минерального продукта будет фиксировать параметры R, G и B в определенном диапазоне значений (рис. 2, 3).

Проведенные исследования позволили определить интегральные спектральные области основных минеральных продуктов (в палитре 16777216 цветов). Площади наложения цветовой области одного минерала на область другого составляет до 1,6%. Модули распознавания программы «Геохром» позволяют различать отдельные j -тые минеральные продукты с вероятностью 0,99.

Использование ГИС-технологий позволяет по цветному изображению определять границы, форму и площадь сечения каждого куска минеральных продуктов. Характеристика изменения яркости цвета по линии от одного края образца (сечения) минерала до другого и правила нечеткой логики позволяют определять «выпуклость изображения» и, соответственно, объем V_i исследуемого куска. В базе атрибутивной информации системы хранятся значения g_i и q_{ij} , статистические зависимости для определения c_{ij} по определяемому в про-

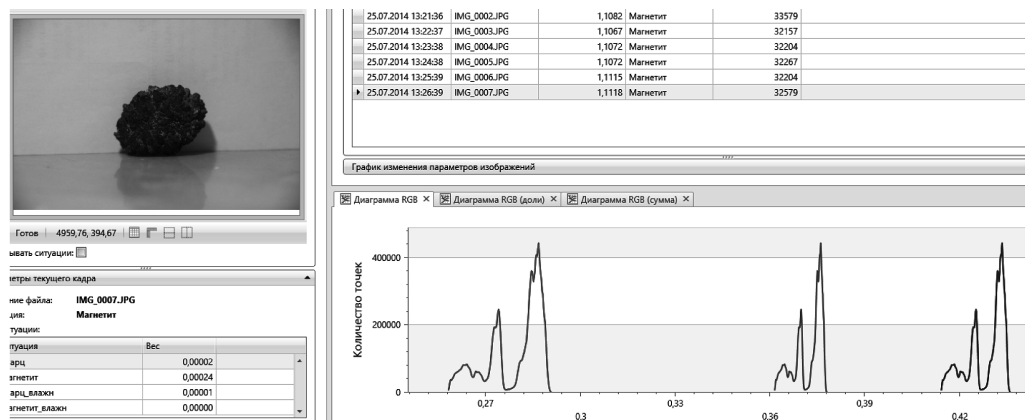


Рис. 3. Спектры RGB: минерала (левая часть), столешницы (средняя) и фона (правая, яркая часть)

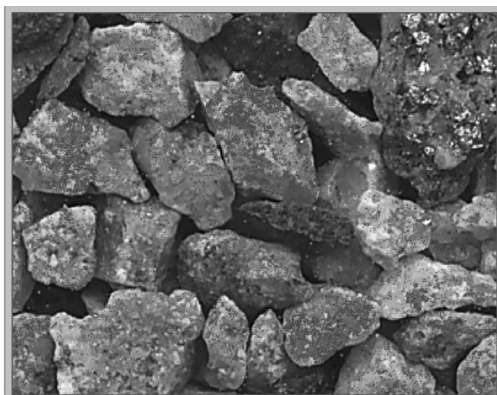


Рис. 4. Изображения кусков руды с выделением (малиновый цвет) областей халькопирита

грамме (рис. 4) соотношению на изображении сечений куска руды и области определенного минерала на нем (в пикселах).

Таким образом, анализ цветного изображения одного кадра позволяет определить минеральный состав и полезность (формулы 2 и 3) порции минеральных продуктов на конвейере, лотке, в зоне разгрузки флотомашин. Статистический анализ по малой выборке последовательности кадров позволяет с большой достоверностью установить основные характеристики материального потока в определенной точке цепи обогатительных процессов и определенный период времени.

Применение в АСУТП ОФ систем имиджанализа (анализа цветных изображений) с ГИС-технологиями позволит значительно повысить оперативность и достоверность оценки параметров материальных потоков на входе и выходе каждого обогатительного процесса, повысить эффективность управления производством и извлечение ценных компонентов, снизить расход реагентов энергии.

Следует добавить, что описанные методы можно использовать при создании систем технического зрения различных робототехнических комплексов, в первую очередь горного производства. Например, роботизированных автосамосвалов, погрузочного оборудования или очистных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шек В.М. Перспективы использования геоинформационных систем в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 1. Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2013» – 2013. – С. 294–302.
2. Шек В.М., Кубрин С.С. Геоинформационные системы для исследования опасных горно-динамических явлений // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 5. Информатизация и управление. – 2013. – С. 103–112. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шек Валерий Михайлович – доктор технических наук, профессор, ИТАСУ НИТУ «МИСиС», e-mail: shek@geotwo.ru,

Морозов Валерий Валентинович – доктор технических наук, профессор, НИТУ «МИСиС», e-mail: dchmggu@mail.ru,

Литвинов Александр Геннадиевич – кандидат технических наук, директор по информационным технологиям ООО «Гео2», e-mail: alex@geotwo.ru.

RECOGNITION OF OBJECTS IN MINERAL PRODUCTS

Shek V.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: shek@geotwo.ru,
Institute of Information Technologies and Automated Control Systems,
National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia,
Morozov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: dchmgu@mail.ru,
National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia,
Litvinov A.G., Candidate of Technical Sciences,
Director of Information Technology, ООО Geo2, Moscow, Russia,
e-mail: alex@geotwo.ru.

In the article reviewed the questions of automated determination of quantity and quality of valuable components in the products of mining and processing production with application of geoinformation technologies and artificial intelligence methods.

Key words: mining, mineral products, chromatography, geoinformation technologies.

REFERENCES

1. Shek V.M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 1. Trudy nauchnogo simpoziuma «Nedelya gornyaka-2013». 2013, pp. 294–302.
2. Shek V.M., Kubrin S.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 5. Informatizatsiya i upravlenie. 2013, pp. 103–112.



**РУКОПИСИ,
ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН В МЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ С ПРОДУВКОЙ ВОЗДУХОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

(№ 1057/11–15 от 09.09.2015, 6 с.)

Джураев Рустам Умарханович – аспирант, e-mail: strong0185@mail.ru,

Меркулов Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор,

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

Бурение скважин в многолетнемерзлых породах имеет специфические особенности, в основе которых лежит важнейшая роль температурного фактора. Недоучет температурного фактора при бурении в мерзлых породах приводит к специфическим осложнениям. Для предотвращения этих проблем, необходимо разработать технические средства и технологию эффективного обеспечения температурного режима скважины.

Ключевые слова: мерзлые породы, бурение, температурный режим, давление, забой, скважина, эффект Ранка, вихревая труба, охлаждение, продувка воздухом.

MODELING OF THE TEMPERATURE REGIME DURING DRILLING IN FROZEN ROCKS WITH THE BLAST OF AIR WHEN USING THE VORTEX TUBE

*Juraev R.M.*¹, Graduate Student, e-mail: strong0185@mail.ru,

*Merkulov M.V.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,

¹ Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia.

Drilling in permafrost has specific features, which are based on the crucial role of the temperature factor. The underestimation of the temperature factor when drilling in permafrost leads to specific complications. To prevent these problems, it is necessary to develop technical tools and technology for effective thermal management of the well.

Key words: frozen rocks, drilling, temperature, pressure, bottom, borehole, effect of Rank, vortex tube, freezing, purge air, crown.