



ООО «Инжиниринговый центр МФТИ»
141700, Россия, Долгопрудный,
ул. Первомайская, д. 5, комната 204.
Тел. +7(498) 744-65-35
E-mail: info@cet-mipt.ru
www.cet-mipt.ru

Повышение достоверности геологического моделирования золоторудных объектов, их технологической и экономической оценки



Мария Козлова —
ведущий инженер
Департамента рудных
полезных ископаемых
ООО «Инжиниринговый
центр МФТИ»



Дмитрий Рябцев —
руководитель
Департамента рудных
полезных ископаемых
ООО «Инжиниринговый
центр МФТИ»

Инжиниринговый Центр МФТИ по трудноизвлекаемым полезным ископаемым оказывает комплексные услуги в области геологии, горного дела и переработки полезных ископаемых. Работы выполняются коллективом высококвалифицированных специалистов с профильным геологическим, горно-металлургическим и физико-математическим образованием и значительным опытом в проектах российских и западных компаний.

Лаборатория рудных полезных ископаемых Центра укомплектована современным аналитическим и технологическим оборудованием, позволяющим выполнять полный комплекс исследований: от изучения вещественного состава образцов до имитационного компьютерного моделирования с заверкой в лабораторных условиях технологии переработки и получения товарной продукции из руд, концентратов и техногенного сырья. Специалисты Центра используют передовое программное обеспечение для моделирования и продвигают на рынок собственные программные разработки.

Одним из активно развивающихся направлений Центра является геолого-технологическое моделирование месторождений твердых полезных ископаемых, заключающееся в детальном исследовании руды до ее разработки и в прогнозировании реагирования рудных масс с точки зрения получения металлов с целью максимального увеличения чистой текущей стоимости (NVP) рудного тела в совокупности со снижением технических и производственных рисков.

Применение геолого-технологического моделирования на современном уровне предполагает создание блочной модели месторождения, отображающей не только изменчивость вещественного состава руд в пространстве, но и изменчивость технологических и экономических показателей их переработки, включая потребление электроэнергии, расход реагентов, прогнозное качество конечной продукции, а также экологические последствия. В зависимости от стадии работ полученная модель используется для геолого-экономической оценки месторождения или

оптимизации процессов добычи и переработки руд, в том числе для выбора последовательности отработки и схемы шихтовки с целью стабилизации работы горно-обогатительного предприятия и минимизации рисков.

Месторождения золота являются достаточно сложными для моделирования, однако преимущественно используется создание трехмерных каркасов посредством ручного оконтуривания различных природных разновидностей руд (геологических доменов) на основе их литологических характеристик. При этом известно, что золоторудная минерализация не всегда контролируется исключительно типом вмещающих пород. К тому же геологические условия месторождений изменчивы по своей природе, а геолого-разведочная информация о рудном теле зачастую оказывается довольно скудной и основывается на рассеянных в пространстве дискретных данных. «Ручная» интерпретация таких данных приводит к ошибочному пониманию пространственного положения рудных тел. Ситуация усугуб-

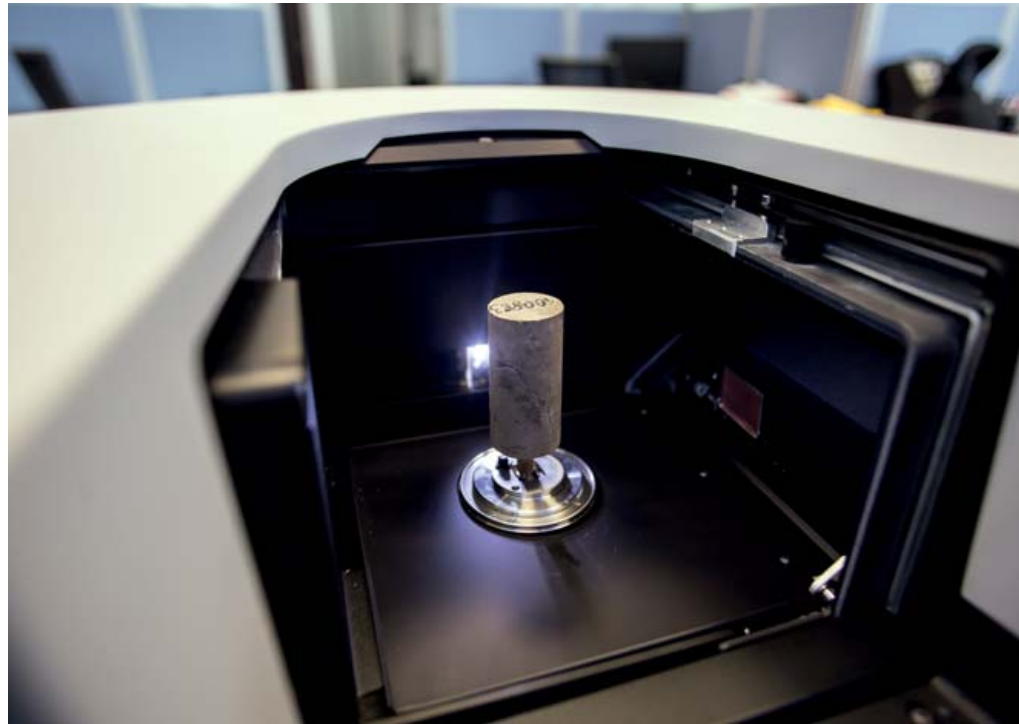
ляется значительным разбросом значений данных опробования и присутствием проб с ураганными содержаниями, отсутствием определенной пространственной непрерывности в распределении золота. Неравномерность распределения металла приводит к проблеме достоверности и точности данных опробования, их представительности. Ошибки в оконтуривании и особенно в определении пространственного положения оруденения и прогнозе содержаний, сказываются как на воспроизводимости отдельных параметров оценки, так и на подтвержденности запасов по месторождению в целом.

С точки зрения экономической оценки месторождений и проектирования производственной деятельности недостаточное или неверное понимание пространственного положения оруденения и изменчивости геологических характеристик руд, а также их технологическая оценка на основе усредненных параметров приводят к неоптимальному определению масштабов производства, неудачному выбору оборудования и формированию критически уязвимых участков, необходимости переоборудования обогатительной фабрики.

Ведущую роль в создании реалистичной модели золоторудного месторождения должно играть понимание генетической модели рудообразования и взаимосвязи основных рудоконтролирующих структур. Это можно получить только за счет использования всей геологической информации, от макро- до микроуровня, особенно таких важных параметров как вещественный состав руд, их текстурно-структурные характеристики и вторичные изменения.

В настоящее время существует множество экспрессных методов получения значительного объема исходной геологической информации при геолого-разведочных работах от проведения полноценного геотехнического каротажа — до минералогического «каротажа» (оперативного микроскопического определения минерального состава пород и руд). Использование геостатистических процедур позволяет наполнить блочную модель основными характеристиками руд и значительно повысить качество моделирования.

Характеристики руд в условиях залегания определяют результат всех дальнейших операций по их добыче и обогащению. Важно понимать ключевые параметры руд, непосредственно влияющие на результативность каждой стадии переработки, и иметь возможность оценить их изменчивость в пространстве месторождения.



Таким образом, для повышения достоверности геологической, технологической и экономической оценки золоторудных месторождений необходимо создание так называемой, геолого-технологической (или геометаллургической) модели месторождения, отражающей пространственное положение руд и изменчивость их ключевых параметров.

Важнейшее требование к достоверности геолого-технологической модели месторождения — ее обоснование всей совокупностью исследований вещественного состава и обогатимости руд, а также всей суммой геологических знаний о месторождении.

Выявление пространственной изменчивости измельчаемости пород возможно посредством применения современных методов малообъемных испытаний (SPI, BWi, SMC и др.), позволяющих определить ключевые параметры на значительном количестве проб.

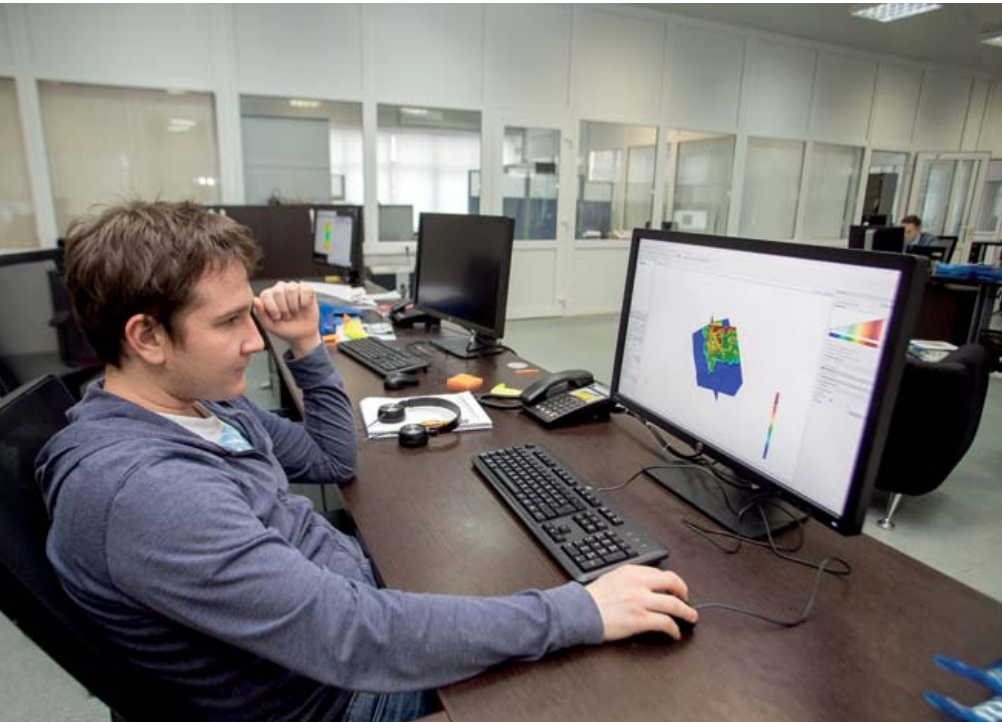
Известно, что типоморфные особенности минералов и их ассоциаций влияют на технологические показатели сильнее, чем количество металлов в руде, поэтому характеристика вещественного состава руд золота помимо данных о содержаниях полезных компонентов должна содержать такие параметры как: минеральная форма нахождения золота, крупности и морфология частиц металла, парагенетические минеральные ассоциации, массовая доля сульфидов в руде, степень окисления руд, наличие минеральных компонентов, осложняющих технологию переработки. Отдельно стоит отметить изучение текстурно-структурных

особенностей, которые в случае руд золота имеют особо важное значение. Глубокое минералогическое изучение руд позволяет решать генетические вопросы, которые должны лежать в основе модели золотого оруденения.

Как правило, при проведении минералогических анализов золотосодержащих руд используют различные методы, набор и последовательность применения которых определяются необходимой степенью детальности анализа. Традиционный подход к минералогическим исследованиям отличается локальностью, значительной стоимостью и времязатратностью процесса.

В последние годы стандартом в мировой горно-добывающей промышленности становится применение технологии SEM-EDS и программных комплексов для автоматизированного минералогического анализа, которые позволяют проводить массовые, оперативные и объективные исследования, составляющие основу пространственно- и статистически достоверных данных для геолого-технологического моделирования.

Лаборатория Центра располагает комплексом средств для автоматизированного минералогического анализа и 3D реконструкции руд: системой QemScan на базе электронного сканирующего микроскопа Quanta™ (FEI) с программным обеспечением MAPS Mineralogy™ (FEI) и высокоразрешающим микротомографом SkyScan 1272 (Bruker) с программным обеспечением PerGeos (FEI) для визуализации, интерпретации и анализа трехмерных данных. ▶



Система QemScan позволяет производить валовой минералогический анализ (ВМА), анализ отдельных минеральных частиц (PMA), поиск конкретных минералов (SMS), а также анализ и поиск элементов в микроскопическом количестве (TMS). Возможно изучение полированных шлифов породы с созданием цифровой карты образца.

В результате исследований могут быть получены полная характеристика вещественного состава руды и достоверный прогноз её обогатимости на различных стадиях технологической схемы, включая количественную характеристику химического и минерального состава, графический оцифрованный список всех частиц и составляющих их минеральных фаз, гранулометрический состав зерен и отдельных мономинеральных частиц, количественное описание сростков, ассоциаций и степени раскрытия ценных минеральных компонентов.

Одним из основных преимуществ использования автоматизированного минералогического анализа при проведении геолого-технологического моделирования является его оперативность, позволяющая обрабатывать статистически значимое количество минералогических проб, что приводит к увеличению достоверности информации и повышению надежности геостатистической обработки данных.

В разработке системы опробования и обработки проб, а также определения путей экстракции золота важную роль имеет понимание распределения металла в рудах. Применение рентгеновской 3D микротомографии позво-

ляет изучать внутреннее строение рудного образца по всему его объему без разрушения (т.е. в естественном состоянии), давать трехмерное интроскопическое описание и измерение объектов, получать данные о фазовом составе и морфоструктурных характеристиках минералов.

Преимущества метода при работе с рудами золота заключается в объеме характера исследований, что в десятки раз увеличивает количество обнаруженных золотин (в сравнении с минераграфическим анализом), дает возможность наблюдать скопления золота, отсутствующие или слабо проявленные в аншлифах, и точнее определять минеральные ассоциации (устанавливается связь золота с минералами, не выходящими на поверхность аншлифа). В сравнении с традиционными методами точнее определяются грануло- и морфометрические характеристики выделений золота в руде, ускоряется процесс анализа и повышается его достоверность.

Применение результатов исследований имеет обширные перспективы для разработки рациональной системы опробования, включая обоснованный отбор наиболее информативных образцов для дальнейших прецизионных анализов и оптимизации схемы обработки (сокращения) проб. Особое значение метод имеет для выбора эффективных путей экстракции металла. Важные практические результаты можно получить при исследовании материала кучного выщелачивания, в том числе биовыщелачивания, для объяснения

темпов процесса и его регулирования, включая анализ информации о возможности проникновения выщелачивающих реагентов (связности пустот) для извлечения металлов методами скважинного подземного выщелачивания.

Данные, полученные при проведении геолого-разведочных работ, результаты малообъемных технологических испытаний и минералогических исследований интегрируются в блочную модель рудного тела и используются в качестве исходных параметров для технологического моделирования, проектирования или оптимизации работы предприятия.

Методика технологического моделирования на основе геолого-технологической модели месторождения позволяет проследить причинно-следственные связи начиная от отбойки руды и заканчивая качеством конечной товарной продукции предприятия и экологическими последствиями его деятельности. Это особенно важно, поскольку до сих пор проектирование горных работ и перерабатывающих предприятий осуществляется достаточно обособленно, что осложняет последующую их работу и достижение высоких результатов.

Геолого-технологическая блочная модель месторождения позволяет смоделировать технологическую схему переработки руд на основе многовариантного анализа и дать прогноз производственных показателей для каждого ее узла.

Дополнительно специалисты Центра могут провести физико-математическое и имитационное моделирование процессов измельчения, сепарации и флотации, а также движения сыпучих материалов в конвейерных системах, динамических и статических нагрузок на оборудование. Моделирование позволяет наиболее обоснованно подходить к выбору оборудования на этапе проектирования предприятий и отрабатывать различные нововведения, оценивать их преимущества и сроки возврата инвестиций на действующих производствах.

Таким образом, Центр осуществляет широкий спектр исследований в рамках программы геолого-технологического картирования месторождений, включая изучение вещественного состава руд с применением наиболее современных методов и оборудования, комплексный анализ и интерпретацию полученных данных, технологическое моделирование схемы и анализ воспроизводимости прогнозных показателей лабораторными технологическими исследованиями. ♦