

ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ (MINERALOGICAL LIBERATION ANALYSIS) ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Гриценко Ю.Д.

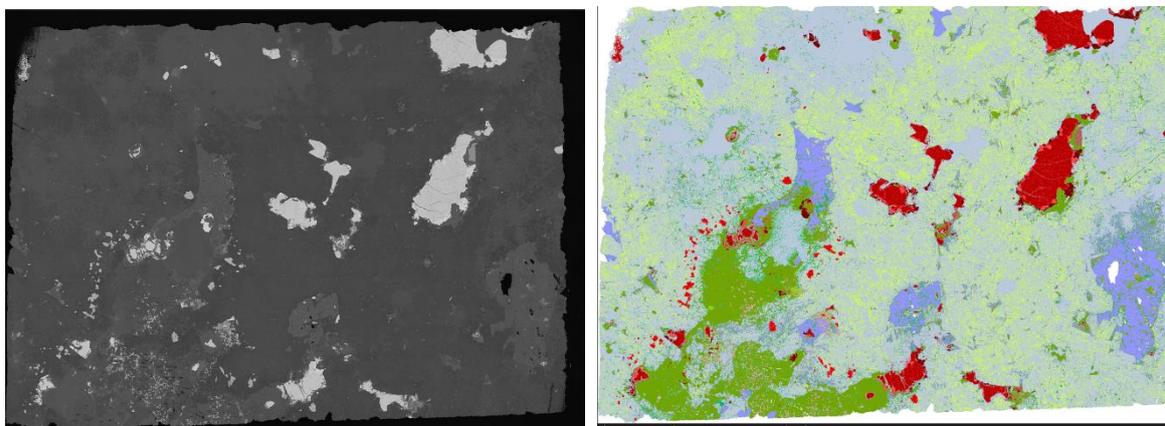
Данный вид анализа mineralogical liberation analysis (MLA) был разработан для обогатителей/металлургов и пр. специалистов, занимающихся извлечением полезных компонентов из руды, контролем качества, зернистости, извлечения и пр. Он не рассчитан на геологов и минералогов. Он был разработан под определенный вид образцов – полированные запресовки или эпоксидные шашки, содержащие тот или иной концентрат. Программа не рассчитана для изучения шлифов пород, руд. Однако она может быть использована для их изучения, но с некоторыми ограничениями, около половины функций программы не может быть применено для характеристики зерен, не извлеченных из породы, а находящихся в шлифах, многие функции, которые были бы очень нужны для характеристики распределения минералов и шлифах пород и руд не разработаны.

На данный момент существуют две фирмы, выпускающие оборудование и программное обеспечение для MLA анализа: FEI (США) и TESCAN (Чехия). Подробно я расскажу о возможностях MLA анализа, предоставляемых фирмой FEI. Подобное оборудование установлено в лаборатории геометаллургии Фрайбергской горной академии. В основе - сканирующий электронный микроскоп FEI Quanta 600F, оснащенный полевым источником излучения (FEG) и двумя рентгеновскими EDS спектрометрами (Bruker X-Flash) в сочетании с программным обеспечением для MLA анализа.

Стандартный MLA анализ в обратно рассеянных электронах (или BSE) - метод, в котором серии изображений собираются в режиме онлайн, а затем обрабатываются в автономном режиме для создания выходных данных. Минералогический отбор основан на распределении уровней серого цвета на изображениях в обратно рассеянных электронах. Каждое изображение в обратно рассеянных электронах собирается и сегментируется для определения границ зерен минералов в каждой частице, то есть, каждое минеральное зерно анализируют с помощью EDS. В офлайн-режиме по данным сегментации и рентгеновских спектров генерируется карта минералов исследуемого препарата.

Порядок работы следующий: Снимаем BSE карту образца; выделяем фазы, контрастные по отражательной способности; с помощью ЭДС анализатора определяем (идентифицируем) каждое зерно; составляем карту распределения минеральных фаз в образце. Получаемые статистические данные: гранулометрический состав породы; анализ ассоциаций (совместных границ); анализ «высвобождения минералов» – определение процента свободной поверхности минерала.

Для диагностики минералов составляется mineral list. Для каждого минерала в шлифе в центре зерна снимается EDS спектр (x-ray спектр). После определение минерала путем сравнения его x-ray спектра с базой данных, вносится (забивается) не теоретические, а практически измеренные значения содержаний элементов (всех, включая примесные). Каждому минералу назначается какой-то цвет на карте распределения. Основные сложности: идентификация минералов – твердых растворов; плохо различаются минералы с одинаковым набором элементов, но разным соотношением; наличие смешанных спектров при тонком срастании минералов.



Quartz	Albite	Prehnite
Diopside	Hornblende	Muscovite
Biotite	Phlogopite	Chamosite
Chlorite	Spinel-Chromite	Magnetite-Cr-Ti
Ilmenite	Chalcopyrite	Pyrrhotite
Pyrite	Pentlandite	Sphalerite
Molybdenite	Calcite	Stibiopalladinite
Stibiopalladinite-As	Stibiopalladinite-Au	Palladoarsenide
Arsenopalladinite	PdAs	Paolovite As
Paolovite-Au-Pt	Toemroosite-Pt	Kotulskite
Sobolevskite	Sperilite	Sperilite-Te
Sperilite-Stibiopalladinite	Isoferroplatinum	Tetraferroplatinum
Moncheite	Sperilite-Hollingworthite	Hollingworthite
Schorlomite	Titanite	Baddeleyite
Zirconolite	Apatite	Tomebohmite

Рис. 1. BSE-снимок (а) и карта распределения минеральных фаз (б) в образце платинового малосульфидного горизонта размером 2х3 см.

Стандартное время съемки подобной GХМАР карты шлифа стандартного размера с шагом 18 мкм и минимальным размером идентифицируемых фаз 10 мкм – 6-7 часов. В данном режиме невозможно обнаружить, проанализировать и посчитать содержания мелких зерен минералов платиновой группы (PGM). Для подобных задач используется модуль SPL.

Метод разреженной фазы или метод SPL генерирует изображение в обратно рассеянных электронах для интересующих частиц и затем выполняет анализ, аналогичный описанному ранее. Офлайн-обработка происходит так же, как и в вышеописанном методе: генерируются те же данные о расположении минералов и данные о минеральных ассоциациях. Однако этот метод не предоставляет информации об объёмном распределении минеральных частиц в образце, поскольку анализирует только определённые их типы. Он может применяться для анализа рудных хвостов, низкокачественных руд, шлаков.

На снятых BSE снимках автоматически ищутся интересующие нас фазы, в нашем случае PGM. Минералогический отбор – выделение различных зерен основано на распределении уровней серого цвета на изображениях в обратно рассеянных электронах. На участке, где найдены PGM, делаем более подробную съемку - 1000 мкм на развертку экрана и с разрешением 1 мкм/пиксел. Анализ ЭДС проводится в центре каждого зерна. Это делается для того, чтобы с одной стороны сэкономить время, с другой - охарактеризовать ассоциацию PGM, где они, с чем срastаются, что рядом. Вокруг интересующего нас зерна снимается карта размером 10x10 пикс., если зерно большое, снимается карта соответственно большего размера. Модификация SPL_Lt-MAP делает анализ в каждой точке, в каждом пикселе.

Из-за тонких срastаний некоторых сульфидных минералов и недостаточной сегментации изображения, вызванных очень похожими значениями серого цвета BSE некоторых минералов, было получено значительное количество смешанных спектров. Чтобы преодолеть эту проблему, список минералов был расширен несколькими бинарными смешанными спектрами. Участки, классифицированные как смешанные

спектры, позднее превращались в соответствующие чистые минералы в соответствии с их основным минеральным компонентом.

В результате статистической обработки полученных данных мы получаем распределение минеральных фаз по изученным образцам (Рис. 2).

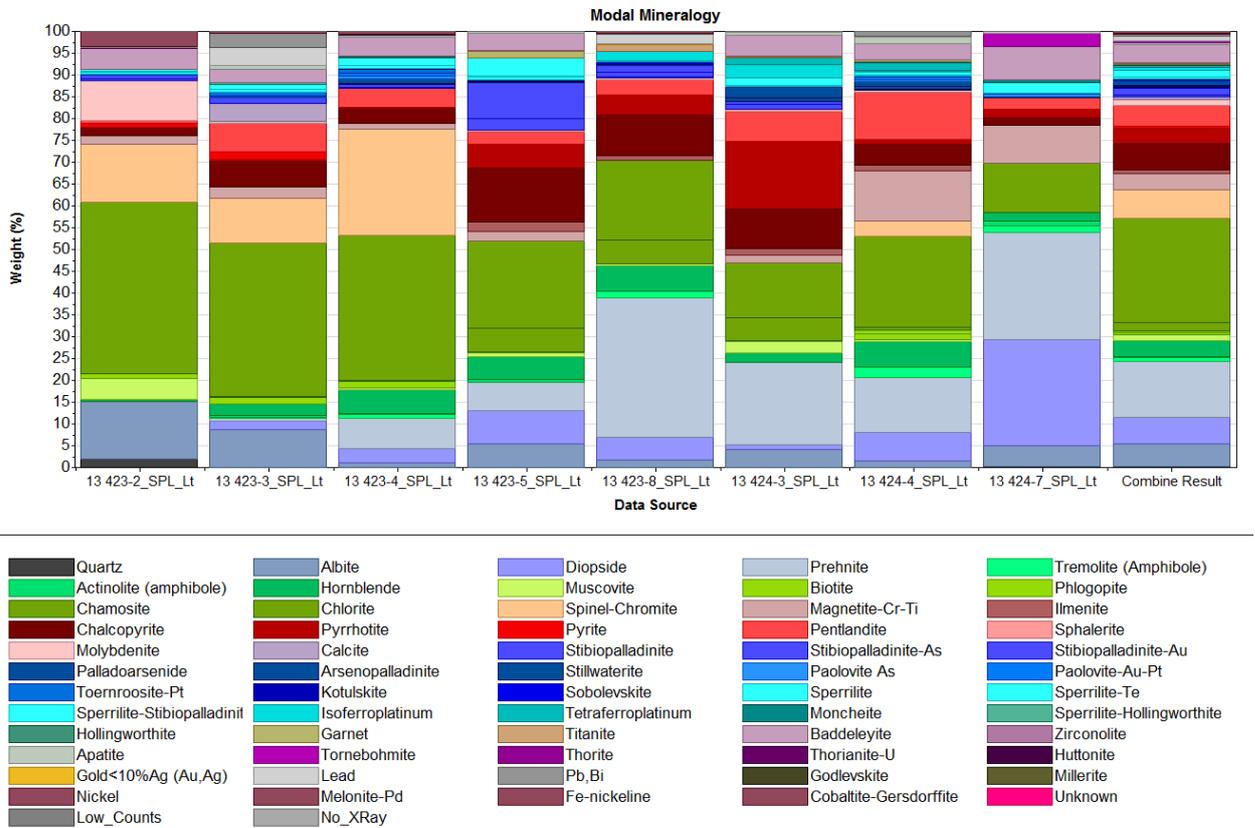


Рис. 2. Модальная минералогия образцов платинового малосульфидного горизонта месторождения Норильск-1.