

Применение рентгеноабсорбционного метода оценки разделения бедной оловянной руды

ВВЕДЕНИЕ

Олово – характерный элемент верхней части земной коры, где оно в определенных геологических условиях образует промышленные концентрации оловянных и комплексных руд.

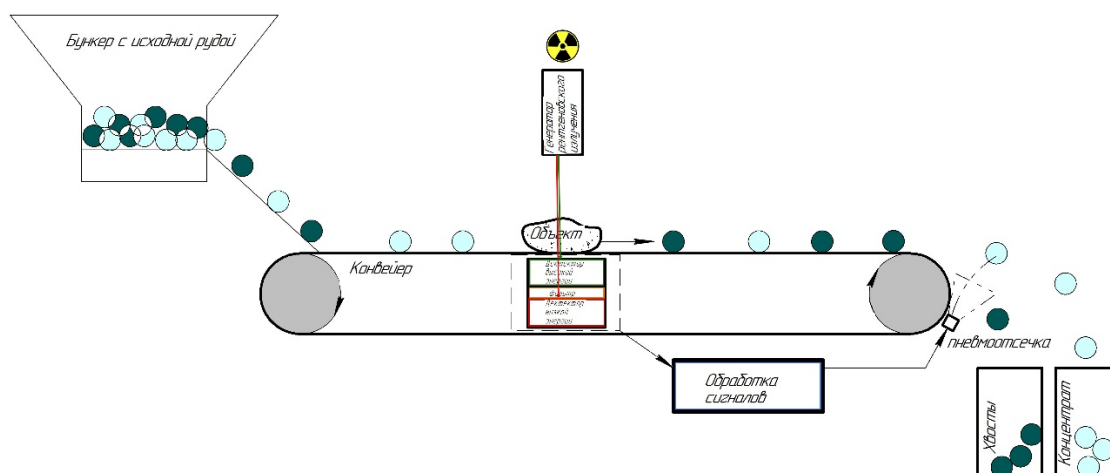
Мировые запасы олова, заключенные в недрах 19 стран, составляют около 5 млн т; ресурсы, оцененные в недрах 32 стран, — 16,9 млн т. Производство олова в концентратах осуществляется в 22 странах мира, в 2021 г., по предварительным данным, оно составило 329 тыс. т, половину этого количества обеспечили Китай и Индонезия.

Освоение сравнительно доступных месторождений олова ограничивается недостаточно высоким качеством руд и/или их сложной обогатимостью, что при имеющихся технологиях переработки оловянного сырья негативно сказывается на рентабельности производства.

МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ

Поиск эффективного метода обогащения сырья является важной стратегической задачей развития горно-обогатительных предприятий. Особое место среди методов, используемых для предварительной концентрации, занимает группа информационных методов. Среди них наибольшее распространение получили рентгеноабсорбционные для предварительного обогащения минеральных руд. Для этого с высокой эффективностью используется рентгеноабсорбционная сепарация или метод рентгеновской трансмиссии X-Ray Transmission (XRT- метод).

Данный метод не требует особой подготовки сырья в виде операций промывки и очистки поверхности кусков от грязи, пыли, шламовых плёнок. Рентгеноабсорбионный метод является проникающим, и позволяет распознавать в куске скрытую минерализацию.



Общий принцип работы рентгеноабсорбционного сепаратора

В общем виде, принцип работы рентгеноабсорбционного метода можно представить следующим образом: чем выше атомный номер элементов и коэффициент линейного поглощения минерального компонента, входящих в состав минералов и горных пород, тем меньшее количество рентгеновских лучей пройдет сквозь данный материал. Величина ослабления интенсивности рентгеновского излучения материалом зависит также от толщины куска и энергии квантов рентгеновского излучения.

ИССЛЕДОВАНИЕ

ИЦ «Буревестник» провел работы по оценке обогатимости трех проб бедной оловосодержащей руды с ожидаемым выходом концентрата, не превышающей 6-10%, предварительно раздробленной до крупности минус 50 рентгеноабсорбционным методом. По результатам исследований установлена высокая эффективность разработанного признака разделения MD.

Принцип регистрации и оценки при рентгеноабсорбционном анализе состоит в том, что регистрируется прошедшее рентгеновское излучение через куски минералов и горных пород на сцинтилляционном детекторе. Детектор преобразует энергию рентгеновского излучения, прошедшие сквозь куски руды в импульсы тока, которые усиливаются и записываются регистрационной системой. Полученные результаты обрабатываются программным обеспечением автоматизированной системы управления по специальному алгоритму, разработанному в ИЦ «Буревестник». Далее они сравниваются со значениями заданного порога разделения, после чего проводился анализ и расчет отношения площади полезного компонента к общей площади куска руды на рентгеновском изображении. В исследовании искомыми компонентами приняты станнин и касситерит.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На первом этапе исследования от каждого машинного класса крупности, каждой пробы, каждого места отбора были сформированы представительные выборки по 100 для изучения контрастности и обогатимости методом рентгеноабсорбционной сепарации. Отбор кусков каждой пробы производился случайным способом отбора, который определяет представительность выборки. Для каждого куска проведена нумерация и взвешивание, выполнен визуальный анализ в видимом диапазоне оптического излучения с оценкой характера, интенсивности и вкрапленностей минералов и веществ.

Для оценки предварительного обогащения исследуемой выборки с разделением кусков методом рентгеноабсорбционной сепарации проведены измерения 2960 промаркированных кусков руды.



Материал пробы: минералы грейзенового парагенезиса и сульфиды (арсенопирит, пирит, халькопирит, пирротин, станнин), распределенные в виде жил и штокверков в интрузивной скрытокристаллической породе.

Для тестового/настроечного этапа выделения полезного компонента на рентгенографических изображениях куска руды разработано приложение XCLUSTER, выполняющее операции с данными каналов рентгеноабсорбционного анализа и лазерной триангуляции, позволяет строить рентгенографические изображения и определять области полезного компонента в руде, что в дальнейшем позволяют задавать и уточнять область разделения, настроенную на искомый компонент, при помощи ПМО (рис. ниже).

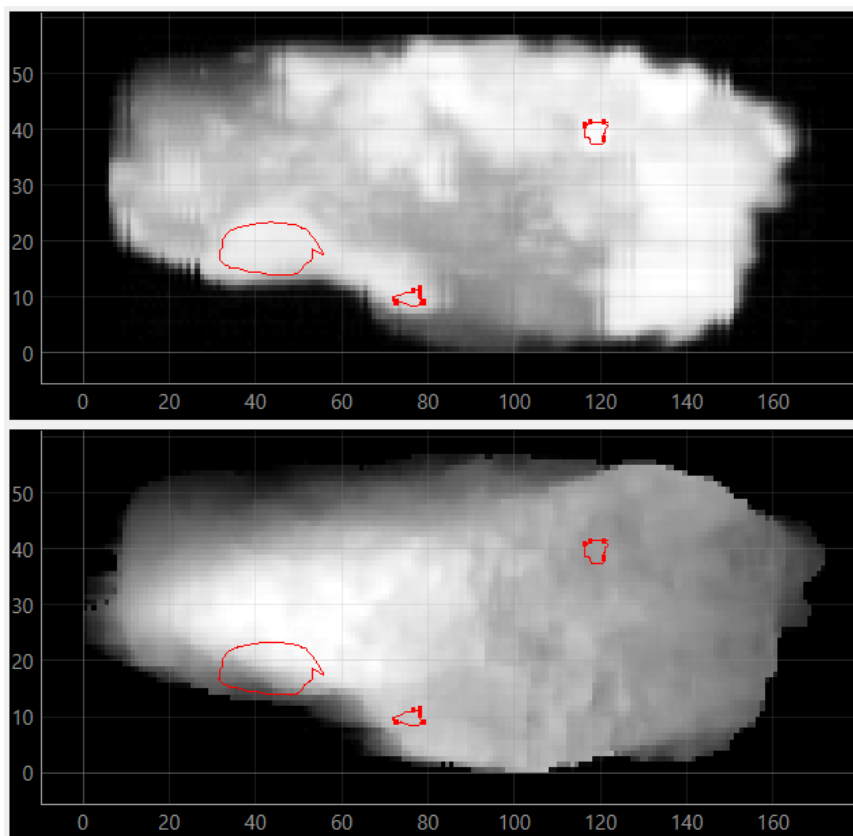


Рисунок – Визуализация рентгенографического изображения (левое верхнее), высоты объекта (левое верхнее) в приложении XCLUSTER

Для настройки линии разделения, для расчета % содержания полезных компонентов в куске руды и визуализации выделенных компонентов на рентгенографических изображениях анализируемых объектов для всей выборки разработано приложение XVIEW (версия 2.5), позволяющее выполнять операции в реальном времени с массивом данных, выполнять настройку и уточнения данных линии разделения, производить автоматические вычисления и формировать файл расчета всей выборки.

Для оценки обогатимости оловосодержащих руд методами рентгеноабсорбционной сепарации проведено изучение их геолого-минералогических особенностей (визуальный анализ в видимом диапазоне оптического излучения), элементного и вещественного состава (рентгенофлуоресцентный и рентгенодифракционный анализ соответственно), химический состав (определение редкоземельных и следовых элементов сплавлением с боратами перед кислотным растворением и последующим ИСП-МС определением Sn), неравномерности кусков по содержанию основных и попутных компонентов (рентгеноабсорбционный анализ) и их корреляционных связей (статический анализ). Данные позволяют установить принципиальную возможность применения методов покусковой сепарации и оценить эффективность выбранного признака разделения и предельные показатели разделения по содержанию станина и касситерита.

Полученные данные позволили на предварительном этапе выбрать тип сепаратора и режимы сепарации для предварительного обогащения, определить технологические показатели покускового обогащения.

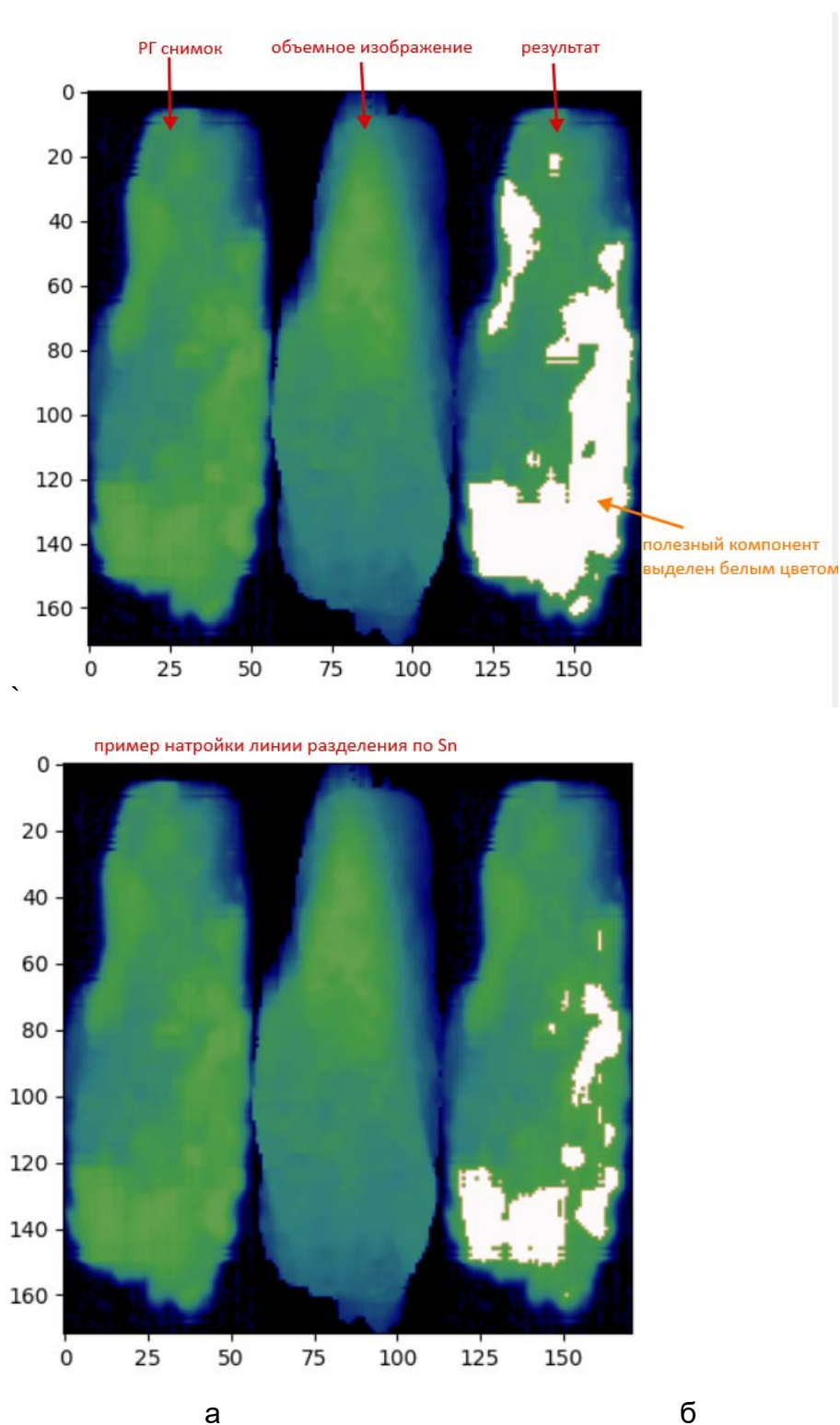


Рисунок – Пример визуализации результатов обработки данных и выделения области полезного компонента в приложении XVIEW: а – линия разделения настроена на группу минералов сульфидной ассоциации; б – линия разделения настроена на Sn минералов – станнин и касситерит.

Дальнейшее изучение обогатимости выборки оловосодержащей руды рентгеноабсорбционным методом сепарации и расчет технологических показателей разделения, а также оценка контрастности проводилась для классов крупности -15+0 и -25+15 на выборке в общем количестве 150 шт, отобранных случайным образом из представительной выборки (бедные окисленные -15+0 – 5 шт., -25+15 – 45 шт.; бедные первичные (керн) -15+0 – 5 шт., -25+15 – 45 шт.; бедные полуокисленные -15+0 – 5 шт., -25+15 – 45 шт.).

Общее фракционирование выборки оловосодержащих руд по признаку разделения MD показало потенциальную возможность получения 68 % отвальных хвостов, содержащих 0,11% олова при потерях с ними 0,49 % Sn. При этом концентрат содержит 1,93% олова и обогащен в 2,82 раза по сравнению с исходной рудой со степенью сокращения – 3,15. Общий показатель контрастности руды составил $M = 1,33$ и относит эту руду к категории высококонтрастных.

Фракционирование выборки бедных окисленных оловосодержащих руд по признаку разделения MD показало потенциальную возможность получения 67 % отвальных хвостов, содержащих 0,05% олова при потерях с ними 9,53 % Sn. При этом концентрат содержит 0,97% олова и обогащен в 2,76 раза по сравнению с исходной бедной окисленной рудой и со степенью сокращения равной 2,76. Значение эффективности признака разделения составило 0,86.

Фракционирование выборки бедных полуокисленных оловосодержащих руд по признаку разделения MD показало потенциальную возможность получения 68 % отвальных хвостов, содержащих 0,07% олова при потерях с ними 9,20 % Sn. При этом концентрат содержит 1,50% олова и обогащен в 2,81 раза по сравнению с исходной бедной полуокисленной рудой и со степенью сокращения равной 3,09. Значение эффективности признака разделения составило 0,91.

Фракционирование выборки первичных оловосодержащих руд в керне по признаку разделения MD показало потенциальную возможность получения 59 % отвальных хвостов, содержащих 0,17% олова при потерях с ними 9,73 % Sn. При этом концентрат содержит 2,26% олова и обогащен в 2,21 раза по сравнению с исходной рудой и со степенью сокращения равной 2,45. Значение эффективности признака разделения составило 0,85.

Выбор оптимальной границы разделения методами рентгеноабсорбционной сепарации производился на практике показывающей, что экономически эффективно выделение хвостов с потерями с ними не более 10 % ценного компонента. Этот критерий в дальнейшем использовался для выбора оптимального порогового значения параметра признака разделения MD.

Принимая во внимание то, что по результатам химического анализа оловосодержащая руда является убогой, а предельные технологические показатели разделения по хвостам достаточны для их выделения для их выделения, проведен расчет предельных технологических показателей разделения рентгеноабсорбционным методом сепарации.

Сводные технологические показатели разделения выборки с применением выбранного признака разделения представлены в таблице. Основным ориентиром при выборе границы разделения было не допустить потерь с хвостами более 10 % Sn при максимальном выходе.

Таблица – Сводные технологические показатели разделения для изучаемых выборок.

Тип руды	Продукт	Выход, %	Сод. Sn, %	Извл. Sn, %	Признак	K _{об}	C _{сокр}	Э _{п→1}	М
Выборка 150 кусков									
Общая выборка	Концентрат	25,70	2,41	90,53	Sn	3,52	3,89	0,69	-
	Хвосты	74,30	0,09	9,47					
Исходная руда		100	0,69	100					
Общая выборка	Концентрат	37,29	1,66	90,02	MD	2,41	2,68	0,84	1,31
	Хвосты	63	0,11	9,98					
Исходная руда		100	0,69	100					
Бедная окисленная	Концентрат	33	0,97	90,47	MD	2,76	3,05	0,86	1,29
	Хвосты	67	0,05	9,53					
Исходная руда		100	0,35	100					
Бедная полуокисленная	Концентрат	32,34	1,50	90,80	MD	2,81	3,09	0,91	1,46
	Хвосты	68	0,07	9,20					
Исходная руда		100	0,53	100					
Первичная, керна	Концентрат	40,86	2,26	90,27	MD	2,8	3,15	0,85	1,15
	Хвосты	59	0,17	9,73					
Исходная руда		100	1,0	100					

ВЫВОДЫ

Объектом исследования являлась выборка трех видов оловосодержащей руды (бедная окисленная, бедная полуокисленная, первичная в кернах) трех классов крупности (-50+25, -25+15, -15+0) в количестве 2960 образцов, из которых отобрано 150 тестовых представительных образцов классов крупности -25+15, -15+0 для химического анализа и дальнейшей настройки признака разделения.

Материал пробы: минералы грейзенового парагенезиса и сульфиды (арсенопирит, пирит, халькопирит, пирротин, станнин), распределенные в виде жил и штокверков в интрузивной скрытокристаллической породе.

Установлено что выборка бедной оловосодержащей руды высоко контрастна по содержанию Sn, общее значение показателя контрастности составило 1,31 (для бедной окисленной – 1,29, для бедной полуокисленной – 1,46, для первичной в кернах – 1,15).

По результатам проведенного химического анализа выявилось: 30% богатых образцов оловосодержащей руды ($>1\% \text{Sn}$), 10% – рядовых ($1-0,4\% \text{Sn}$), 15% – бедных ($0,4-0,1\% \text{Sn}$) и 52% – убогих (менее $0,1\% \text{Sn}$).

Общее фракционирование выборки по содержанию Sn показало потенциальную возможность получения 74,3 % отвальных хвостов, содержащих 0,09% Sn при потерях с ними 9,47 % Sn. При этом концентрат содержит 2,41% олова.

Проанализирована возможность обогащения оловосодержащей руды рентгеноабсорбционным методом с применением разработанного признака разделения, что позволяет установить технологические показатели сепарации по основным минералам олова (касситерит и станнин) бедной оловосодержащей руде достаточными для их обогащения и показало потенциальную возможность получения: 63% отвальных хвостов, содержащих 0,11%Sn при потерях с ними 9,98% олова при этом концентрат содержит 1,66%Sn и обогащен в 2,41 раза или 68% отвальных хвостов, содержащих 0,11%Sn при потерях с ними 10,49%Sn при этом концентрат содержит 1,93%Sn и обогащен в 2,82 раза.

Установлено, что обогащение оловосодержащей руды рентгеноабсорбционным методом эффективен позволяет решать технологические задачи по сепарации убогих, бедных, рядовых и богатых оловосодержащих руд, и при необходимости, по согласованию с технологами обогатительных фабрик, позволяет выделять концентраты не менее КО-1 на классе крупности - 25+0.

Таким образом, с учетом полученных результатов исследования обеднённой оловянной руды, рентгеноабсорбционный метод сепарации, реализованный на минеральном сепараторе РГС-6А производительностью до 160 т/ч с возможностью загрузки кусков руды от 10 до 50 мм, производства ИЦ «Буревестник», позволяет существенно увеличить показатели извлечения полезного компонента на этапе предварительного обогащения исходной руды за счет включения его в цепочку технологического процесса.