

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЕБРА В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖЕЗКАЗГАН С ПОМОЩЬЮ ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Ефименко С.А. (ТОО «Корпорация Казахмыс», Казахстан)
glavgeof@kazakhmys.kz; факс: 8 (71063) 2-24-81; тел.: 8 (71063) 2-29-38

Ключевые слова: *рентгенорадиометрический метод, энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр, месторождение Джезказган*

Цель работы состоит в изучении характера распределения содержаний Ag в рудах месторождения Джезказган. Объектами исследований были: весь объем вагонных проб ОТК рудничной промышленной площадки, а также забойные, шпуровые, шламовые и керновые пробы, что позволило со временем проанализировать накопленный аналитический материал и сделать выводы, порой весьма неожиданные.

Исследованиями были охвачены три (июль, август, сентябрь) месяца 2004 года и три (январь, февраль, март) месяца 2005 года. В качестве контрольного (для проверки справедливости распространения выводов на длительную перспективу) был выбран апрель 2007 года.

Инструментом исследований служил энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор элементного состава руд (EDXRF) РЛП-21 производства ТОО «Физик» (г. Алма-Ата, Казахстан), обеспечивающий определений массовых долей 34 элементов. Метод исследования - рентгенорадиометрический. Экспозиция измерений 415с. Предел обнаружения по серебру - 1,2 ppm (определен на государственном стандартном образце ГСО-3029, $C_{Ag}=2,1\text{ppm}$, критерий 3σ).

По результатам исследований был сформирован обширный массив результатов рентгенорадиометрического анализа вагонных проб ОТК по шахтам Анненского, Восточного, Западного и Южного подземных рудников, что позволило применить методы математической статистики для изучения закономерностей распределения серебра не только четырех рудничных и восьми шахтных рудопотоков, но и вовлечь в исследования все 94 рудопотока по капитальным рудоспускам, чего прежде ни одному исследователю сделать не удалось.

Основные результаты исследований.

1. Построены динамические ряды среднесуточных содержаний Ag по капитальным рудоспускам, шахтам и рудникам. Для придания анализу большей наглядности на динамические ряды нанесены средние содержания Ag в руде $C_{Ag}(cp)$, а также величины $C_{Ag}(cp) \pm 20\%$ и $C_{Ag}(cp) \pm 2\sigma$.

Вывод: из десяти динамических рядов только один (Восточный рудник в целом) полностью укладывается в границы $C_{Ag}(cp) \pm 2\sigma$, что указывает на удовлетворительный уровень колебаний Ag в суточных порциях руды. Среднесуточные содержания Ag у остальных девяти рядов выходят за границы $C_{Ag}(cp) \pm 2\sigma$ от одного (шахты № 31-32, № 45, № 57, Южный рудник в целом) до пяти (шахта № 55) раз, что указывает: во – первых, на чрезмерный уровень колеблемости содержаний Ag; во – вторых, на необходимость применения мероприятий по стабилизации качества по Ag суточных рудопотоков шахт и рудников.

2. Построены эмпирические кривые распределения содержаний Ag в рудопотоках всех уровней. Выводы: можно считать доказанным, что формы кривых эмпирических функций распределений содержаний Ag во всех рудопотоках (рудоспуск, шахта, рудник) корпорации “Казахмыс” свидетельствуют о следующем: а) все эмпирические функции распределения имеют асимметричную форму с “хвостом” справа; б) все эмпирические функции распределения содержаний Ag в рудопотоках любого уровня не соответствуют модели нормального закона, что прямо указывает на разладку процесса стабилизации качества руд; в) сами рудопотоки представляют собой чрезвычайно сложный объект для высокоэффективного применения автоматизированных систем управления качеством добываемых руд (УКДР) вообще и относительно простых систем управления качеством руд, в частности.

3. Оценена достоверность величины планового показателя «удельное содержание Ag» [Куд (план) = 6,43 ppm Ag /1% Cu] по шахте 67. Было установлено, что Куд (факт) = 7,58 (по

декадам: 7,42; 7,38; 7,94) несколько выше плана. По данным ОТК K_{y0} (факт) = 6,69, но по декадам картина иная: 7,77; 5,73; 6,66. Причем, никакого отражения в данных ОТК не нашел факт выдачи в третьей декаде по рудоспуску Р – 1 руды с очень высоким удельным содержанием серебра ($K_{y0} = 14,53$), что лишний раз указало на низкую представительность существовавшей технологии подготовки объединенных проб. К дальнейшему использованию была рекомендована величина K_{y0} (план) = 7,40.

4. Оценена величина параметра «стандартное отклонение – S» содержаний Ag в рудопотоках всех уровней по Южному руднику. Среди шахт наиболее равномерно серебро распределено в руде, отгруженной из рудоспусков шахты № 45 ($S = 53,1\%$), неравномерно – в руде, отгруженной из рудоспусков шахты № 65 ($S = 76,1\%$), и крайне неравномерно – в руде, отгруженной из рудоспусков шахты № 67 ($S = 125,7\%$). По руднику целом распределение серебра следует оценить как неравномерное ($S = 86,5\%$). Среди рудоспусков наибольшая величина стандартного отклонения ($S = 145,9\%$) отмечена у рудоспуска Р – 4 шахты № 67 при размахе колебаний среднесуточных содержаний серебра от 5,78 до 67,39 ppm, а наименьшая ($S = 15,4\%$) – у рудоспуска Р – 63 шахты № 65 при размахе колебаний среднесуточных содержаний серебра от 20,71 до 60,90 ppm. Наибольший размах колебаний среднесуточных содержаний серебра отмечен у рудоспуска Р – 68 шахты № 65: от 4,5 до 143,8 ppm.

5. Изучена корреляция Ag с Cu, Pb, Zn. Были построены поля корреляции Ag с Cu, Pb, Zn, $\Sigma(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn})$ по всем рудоспускам всех шахт и рассчитаны коэффициенты парной корреляции $R_{Ag(\text{Cu})}$, $R_{Ag(\text{Pb})}$, $R_{Ag(\text{Zn})}$, $R_{Ag(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn})}$.

6. Предложено при планировании добычи Ag в комплексных рудах по показателю “удельное содержание серебра” использовать алгоритм $Ag(\text{ppm})/1\%(Cu + \sqrt[3]{Pb + Zn})$ вместо применяемого до этого алгоритма $Ag(\text{ppm})/1\%(Cu+Pb+Zn)$. В этом случае величина коэффициента парной корреляции увеличивается с 0,762 до 0,909.

7. Предложен новый подход к процедуре вывода из добычи забоев, фронт которых вышел за контуры балансовых медных руд ($\text{Cu} < 0,30\%$). Этот подход впоследствии очень хорошо вписался в математическую модель расчета максимума дохода от реализации товарной руды по функции цели. Суть нового подхода состоит в следующем: забой, вышедший по результатам рентгенорадиометрического опробования за контур балансовых руд, следует в обязательном порядке экстренно переопробовать пунктирно – бороздовым способом, дожидаясь результатов рентгенорадиометрических анализов на Ag и только в случае, когда средневзвешенное содержание серебра по забою окажется ниже плановой величины по шахте, давать предписание на вывод забоя из добычи.

8. Предложена методика выявления фальсификаций результатов вагонного опробования ОТК. Методика использует массивы динамических рядов содержаний основных и сопутствующих рудных компонентов в руде, отгруженной из капитальных рудоспусков. Все данные вагонного опробования ОТК проходят компьютерную обработку по следующей схеме: а) массив данных вагонного опробования по шахте разбивается на подмассивы (по рудоспускам); б) подмассивы (по рудоспускам) добавляются к имеющимся массивам данных по тем же рудоспускам и проверяются на однородность (по содержаниям меди и серебра) по методике, разработанной автором; в) данные вагонного опробования, не прошедшие проверку на однородность одновременно по содержаниям Cu и Ag, забраковываются: ряд данных вагонного опробования (заведомо фальсифицированных) может пройти проверку на однородность по содержанию Cu, но вероятность того, что они пройдут проверку на однородность еще и по Ag, ничтожно мала.

9. Произведена оценка статистических показателей качества руды, отгруженной из рудоспусков шахты “Анненская” в сентябре 2007 года. Для четырех рудных компонентов (Ag, Cu, Pb, Zn) рассчитывались показатели: медиана, математическое ожидание (среднее содержание), дисперсия, коэффициенты асимметрии и эксцесса, а также коэффициенты парной корреляции $R_{Ag(\text{Cu})}$, $R_{Ag(\text{Pb})}$, $R_{Ag(\text{Zn})}$, $R_{Pb(\text{Zn})}$, $R_{Ag(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn})}$. Расчеты выполнены в двух вариантах: по традиционной методике и с учетом веса порций руды. Показано, что расчеты статических показателей качества руд без учета «веса» каждой порции руды, на который распространяется определяемое содержание металла, могут привести к значительным искажениям результатов, в особенности в случае малых по объему выборок (потоки руды через отдельные рудоспуски).

10. Были установлены причины занижения реальных валовых содержаний Ag в товарной руде шахты “Анненская” по сравнению с плановыми содержаниями, которые рассчитывались по показателю «удельное содержание Ag», взятому из генерального пересчета запасов. Были

обработаны массивы данных рентгенорадиометрического анализа на серебро всех вагонных проб ОТК по шахте “Анненская” за май (999 проб), июнь (869 проб) и сентябрь (897 проб) 2007 г. Было показано, что: а) валовые содержания Ag в комплексных рудах уже превышают данные подсчета запасов (залежи: $2^1 - 7,84$; $2^2 - 7,62$; $2^3 - 5,33$; $2^4 - 7,16$, 3^1 (низ) – $3,69$; 3^1 (верх) – $5,42$; $3^2 - 5,99$ ppm); б) “отставание” содержаний Ag в медных рудах объясняется вполне объективными причинами: добычные работы ведутся на флангах залежей - по мере перемещения фронта очистных работ с флангов к центрам рудных залежей валовое содержание Ag в рудах будет постепенно расти во всех сортах руд; для текущего планирования добычи Ag рекомендовались следующие величины показателя “удельное содержание Ag”: комплексные руды – $6,00$; медные руды – $8 \div 8,50$; все сорта – $6,00$ ppm.

Выводы:

- реальные величины коэффициентов парной корреляции $R_{Ag(Cu)}$ в рудопотоках, прошедших через капитальные рудоспуски шахт ($0,905$ по шахте № 67; $0,898$ по шахте № 45; $0,849$ по шахте № 55; $0,784$ по шахте № 65 и “Анненская”; $0,692$ по шахте № 15 и $0,662$ по шахте № 57) и рудников ($0,804$ по ЗЖР; $0,801$ по ЮЖР; $0,784$ по руднику “Анненский”; $0,665$ по Восточному руднику) значительно выше (кроме шахты № 31-32 – $0,410$) тех, что дает М.К.Сатпаева [1, 2]: $0,71$ – для медных руд халькозинового состава, $0,55$ – для медных руд борнитового состава и $0,53$ – для медных руд халькопиритового состава;

- размах колебаний значений коэффициента корреляции $R_{Ag(Cu)}$ в потоках руды, прошедших через капитальные рудоспуски, шире, чем в шахтных рудопотоках: от $0,343$ у Р – 4 шахты № 57 до $0,993$ у Р – 51 шахты № 45 (здесь, объективности ради, следует упомянуть о том, что через ряд рудоспусков шахт № 15, № 57 и “Анненская” перепускались комплексные руды), и тем не менее средневзвешенный $R_{Ag(Cu)}$ по всем рудоспускам ($0,744$) превышает максимальное значение, приводимое М.К.Сатпаевой;

- величина $R_{Ag(Cu)}$ в рудопотоках, прошедших через одни и те же рудоспуски в разные месяцы, оказалась достаточно стабильной: относительное расхождение составило $4,3\%$ по Р – 3 шахты № 55 за 2 месяца, $7,7\%$ по Р – 10 и $16,4\%$ по Р – 6 шахты № 57 за 2 месяца, $10,2\%$ по Р – 17/2 шахты “Анненская” за 3 месяца, $11,0\%$ по Р – 17Б шахты № 15 за 2 месяца и $17,1\%$ по Р – 64 шахты № 65 за 4 месяца;

- средние (шахта “Анненская”) значения $R_{Ag(Pb)}$ ($0,400$) и $R_{Ag(Zn)}$ ($0,200$) подтвердили отсутствие тесной связи между содержаниями Ag с одной стороны и содержаниями свинца и, в особенности, цинка с другой;

- по величине параметра “удельное содержание Ag” шахты составили следующий ряд: “Анненская” – $5,94$; № 67 – $10,23$; № 45 – $10,70$; № 57 – $15,03$; № 65 – $16,23$; № 31-32 – $16,35$; № 15 – $16,74$; № 55 – $19,83$; рудники: “Анненский” – $5,94$; Южный – $13,50$; Восточный – $15,53$; Западный – $18,89$; все рудники подземной добычи – $12,98$;

- по размаху параметра “удельное содержание Ag” в потоках руды, прошедших через капитальные рудоспуски, наименее стабильной оказалась шахта № 57: от $4,87$ по Р – 24А до $47,32$ по Р – 6 или в $9,7$ раза при примерно одинаковых валовых содержаниях меди: $1,10$ и $1,26\%$, соответственно, а наиболее стабильными оказались шахты № 45: от $8,96$ по Р – 3 до $11,39$ по Р – 7 или в $1,3$ раза и “Анненская” (медная руда): от $6,40$ по Р – 32Бл до $7,75$ по Р – 35/2 или в $1,2$ раза;

- стабильность (воспроизводимость) значений параметра “удельное содержание серебра” в потоках руды, прошедших через одни и те же рудоспуски в разные месяцы, при размахе расхождений от $4,9\%$ по Р – 10 шахты № 57 до $34,9\%$ по Р – 64 шахты № 65 следует признать удовлетворительной;

- сравнение параметров “удельное содержание Ag” и “коэффициент парной корреляции $R_{Ag(Cu)}$ ” по показателю “стабильность (воспроизводимость)” оказалось в пользу $R_{Ag(Cu)}$ и по величине размаха: от $4,50$ по Р – 3 шахты № 55 до $15,8$ по Р – 64 шахты № 65, и по величине относительных расхождений по каждому из рудоспусков: $34,9$ и $15,8\%$ по Р – 64 шахты № 65; $19,9$ и $9,3\%$ по Р – 6 шахты № 57; $13,0$ и $4,5\%$ по Р – 3 шахты № 55; $20,1$ и $11,0\%$ по Р – 17Б шахты № 15; $12,1$ и $10,2\%$ по Р – 17/2 шахты “Анненская” – эта очень важная закономерность никем из исследователей прежде не отмечалась.

Литература

1. Сатпаева М.К. Руды Джезказгана и условия их формирования // Алма-Ата. 1985. 205с.
2. Сатпаева М.К., Таненов Т.И. Минералогия руд и зональность залежей Жезказганского месторождения (по материалам рудного района «Анненский») // Алматы. 1995. 124с.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/hydroterm-9.pdf

Опубликовано 1 сентября 2009 г.

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009*

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна