

УДК 543.22 : 553.4 (574)

Ефименко С.А., Ефименко О.С., Портнов В.С., Маусымбаева А.Д., Рева Н.В.

ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ON-LINE» КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РУД И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КОРПОРАЦИИ КАЗАХМЫС

Рассмотрены результаты разработки и адаптации к условиям рудников, обогащательных фабрик и медеплавильного завода корпорации Казахмыс комплекса современных ядерно-геофизических технологий «on-line» опробования и анализа медь-содержащих полиметалльных руд Жезказганского месторождения и продуктов их переработки. Показано, что комплекс позволяет контролировать и управлять их качеством по всем промышленным и сопутствующим компонентам, включая серебро, кадмий и легкие химические элементы. Рекомендованы к внедрению новые образцы ядерно-геофизической аппаратуры казахстанского производства.

Введение. Корпорация Казахмыс (Kazakhmys LLC), входящая в первую десятку крупнейших медных компаний мира, обрабатывает медь-содержащие полиметалльные руды месторождений Казахстана.

Мировой опыт добычи и переработки руд цветных металлов свидетельствует о том, что в условиях рыночной экономики организовать эффективный горный и обогащательный переделы без систем «on-line» контроля качества добываемого и перерабатываемого многокомпонентного полиметалльного сырья невозможно. Именно это обстоятельство переводит разработку и внедрение систем «on-line» контроля на горных и обогащательных предприятиях корпорации в ранг наиболее актуальных производственных задач.

В свою очередь, решение задач по организации «on-line» контроля на стадиях горного и обогащательного переделов осложняется многокомпонентным, характеризующимся большим размахом содержаний всех промышленных и мешающих компонентов, составом руд полиметалльных

месторождений, разрабатываемых корпорацией: медь-свинец-цинковое месторождение Жезказган (основные и сопутствующие рудные компоненты: Cu, Pb, Zn, Ag, Re, Cd, S, Os); медь-свинец-цинковое месторождение Жаман-Айбат (Cu, Pb, Zn, Ag, Re, S); золото-медь-порфиговое месторождение Нурказган (Cu, Au, Ag, Mo, Se, S), медь-свинец-цинк-колчеданные месторождения Кусмурын (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, Te, S) и Акбастау (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, S, Te), золото-медь-свинец-цинк-колчеданное месторождение Абыз (Pb, Zn, Cu, Au, Ag, S, Se, Te, Cd, In, Hg), медь-скарновые месторождения Саякской группы (Cu, Mo, Fe, Au, Ag, Bi, Te, Se, Re), медь-порфиговое месторождение Шатырколь (Cu, Mo, Au, Ag, Te, Se, U).

Цель работы. Создание эффективно действующих систем «on-line» контроля и управления качеством медь-содержащих полиметалльных руд и продуктов их переработки на стадиях горного, обогащательного и металлургического переделов предприятий корпорации Казахмыс, опирающихся на современное ап-

паратурное, методическое и математическое обеспечение.

Методика работы. Известно, что на технологические показатели переработки руды в разной степени влияют многие параметры. Отследить динамику изменчивости всех параметров в условиях действующего горного производства технически невозможно. Однако система управления качеством добываемых руд и металлов, в отличие от геологического объекта (месторождения), является хорошо организованной системой, в структуре которой возможно детерминированное описание, допускающее использование для управления данными о динамике ограниченного числа переменных. В частности, в рамках системы управления качеством добываемых руд и производимых металлов достаточно обеспечить оперативное отслеживание динамики изменения содержания основных и сопутствующих компонентов в руде, чтобы применить эффективное управляющее действие на процессы добычи, рудоподготовки, рудосортировки и переработки руд.

При такой постановке вопроса, от того, как быстро, в какой форме, с какой степенью достоверности, и в каком объеме будет поступать информация о качестве руд, во многом будет зависеть эффективность самой системы управления качеством добываемых руд и металлов.

Определение содержания химических элементов в составе руды – задача рудничного опробования, которое всегда являлось самым «узким» звеном в системах управления качеством добываемых руд любой конфигурации. С внедрением в практику геологического обслуживания горных работ ядерно-геофизических методов опробования руд в естественном залегании, в транспортных емкостях, в навале отбитой горной массы ситуация изменилась в лучшую сторону. Именно с этого момента задача «on-line» контроля качества добываемого и перерабатываемого многокомпонентного полиметалльного сырья получила перспективу практического решения.

Из всего многообразия современных ядерно-геофизических технологий

опробования руд (ЯГФТОР), поставленной задаче «on-line» контроля в наибольшей степени отвечает рентгенорадиометрический метод (РРМ). По производительности, оперативности и представительности результатов альтернативы у РРМ в горнорудной промышленности нет. Вопросы возникают только по: 1) точности опробования и анализа; 2) в связи с малой глубиной РРМ (основного метода в ЯГФТОР); 3) количеству основных и сопутствующих рудных элементов, определяемых с помощью РРМ; 4) пределам обнаружения элементов; 5) адаптации ЯГФТОР к специфике применяемых горных технологий.

Хотя РРМ является малоглубинным (пленочным) методом опробования, результаты теоретических исследований многих специалистов (А.В.Бахтияров, А.Ю.Большаков, В.Я.Борходоев, Е.И.Крапивский, Е.П.Леман, Н.Ф.Лосев, В.А.Мейер, А.П.Очкур, Р.И.Плотников, Г.А.Пшеничный, А.Л.Якубович и др.), подтвержденные многими экспериментами на горнодобывающих предприятиях цветной металлургии Казахстана, убедительно доказали, что выбором оптимальной сети опробования и его периодичности, работой только на «свежих», не запыленных забоях, скважинах и навалах руды, можно достичь достоверности и представительности результатов рентгенорадиометрического опробования (РРО), вполне достаточной для решения задач оперативного управления качеством добываемых руд – как по всему списку промышленных рудных компонентов, так и по точности, достоверности и чувствительности определения содержания отдельных химических элементов.

Это заключение о возможностях РРМ было сделано давно. В настоящее время, в эпоху современных детекторов, мощных процессоров, уникального и гибкого программного и математического обеспечения, огромного рынка ядерно-геофизической аппаратуры легитимность РРМ стала на порядок выше.

Современное программное обеспечение позволяет точно определять как функцию

отклика детектора, так и спектральный состав возбуждающего излучения. Восстановление спектра вторичного излучения осуществляется путем использования нелинейного метода наименьших квадратов с учетом зависимости относительных интенсивностей характеристических линий химических элементов от состава руды. Вторичные аппаратные спектры очищаются от двойных и тройных наложений с помощью математического аппарата, который обеспечивает настолько высокую точность выделения истинных интенсивностей аналитических линий химических элементов из вторичных аппаратных спектров (причем, независимо от того, каким детектором – пропорциональным, полупроводниковым – сняты эти спектры), которую 20-30 лет назад невозможно было представить. А использование фундаментальных алгоритмов для учета матричных эффектов, в том числе и для рассеянного излучения, обеспечивает высокую эффективность учета изменений геометрических условий измерений при вариациях состава, плотности руд и зазора «датчик-проба» в широком диапазоне.

Сегодня ядерно-геофизические технологии реально решают не локальные аналитические задачи, как было раньше, а претендуют на главную роль в системе геологического обеспечения горных работ в масштабе корпорации Казахмыс.

РРМ-опробование руд в условиях естественного залегания, отбитой горной массы, транспортных емкостей и конвейеров; РРО-, РРМ-анализ истертых забойных, шпуровых, шламовых, вагонных и керновых проб; РРА и РРМ-картаж эксплуатационно-разведочных скважин; РРК сегодня утвердились не только в качестве основных методов геологического обслуживания горных работ на рудниках корпорации, но и в качестве фактически единственного инструмента формирования информационных блоков подсистем контроля процессов добычи руд и оперативного управления их качеством.

Это явилось следствием сотрудничества (с 1996 г.) геофизической службы объединения

Жезказганцветмет и предприятия Физик (в настоящее время Аспап-Гео, г. Алматы).

Задача РРО забоев на рудниках корпорации Казахмыс решается с 1977 г. В настоящее время РРО забоев, уступов, отбитой горной массы в навале, шпуровых (в случае необходимости) проб выполняется с помощью 30 комплектов портативных EDXRF спектрометров РПП-12 (Аспап-Гео) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Спектрометр РПП-12.



Рис. 2. РРО забоев с помощью РПП-12.

РПП-12 применяются на всех шахтах и на одном руднике открытых горных работ рудничной промышленной площадки и на руднике Жомарт объединения Жезказганцветмет, на рудниках Абыз, Акбастау и Нурказган объединения

Карагандацветмет, на рудниках Саяк и Шатырколь объединения Балхашцветмет.

РПП-12 в качестве радиоизотопного источника содержит плутоний-238 типа XPu8.07 активностью 100 мСi, оснащен пропорциональным детектором излучений СИ-1, Масса датчика 1 кг, электронного блока 0,5 кг. Число каналов преобразования – 1024; буфер памяти вмещает до 1000 спектров. Время измерения на точке наблюдения – 10 с; число одновременно определяемых элементов – 4 (Cu, Pb, Zn, Fe); время работы на Ni-Mn аккумуляторах 48 час. РПП-12 – это фактически единственный переносимый спектрометр, идеально соответствующий технологии ведения горных работ на шахтах Жезказгана.

Аспап-Гео разработал две новые версии РПП-12: с радиоактивным источником типа XPu8.07 и дрейфовым полупроводниковым SDD детектором; с рентгеновской трубкой и SDD детектором (аналог современным носимым спектрометрам типа «пистолет»). В обеих версиях нововведением является беспроводная связь между датчиком и устройством управления и обработки, что значительно упрощает работу операторов и повышает безопасность РРО забоев: в зоне повышенной опасности находится только оператор с датчиком; оператор с пультом прибора в это время может находиться в безопасном месте. Использование в качестве устройства управления и обработки информации обычных смартфонов последнего поколения (рис. 3) обеспечивает высокое быстродействие, гибкость программного обеспечения, возможность голосового управления прибором, а также дополнительные возможности документирования результатов РРО (фотографирование, определение координат, оперативная передача данных при наличии сети).

Пакет современных программ обеспечивает более высокую точность РРО за счет: точного нахождения истинных интенсивностей аналитических линий химических элементов; использования фундаментальных алгоритмов для учета матричных эффектов. Более ранняя

модификация РПП-12 версии «пистолет» обеспечивает определение не 4, а 31 элемента (Cu, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Fe, Mn, As, Sn, K, Ca, Ti, V, Cr, Co, Ni, Ga, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cd, W, Bi, Th, U, Se, Sb). В более поздней версии (Латон-Геосервис, г. Алматы) число определяемых элементов доведено до 35.

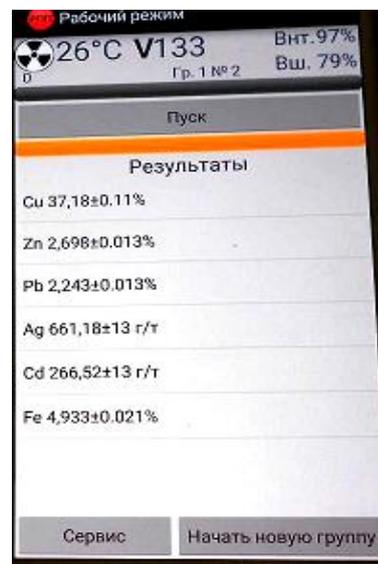


Рис. 3. Вывод результатов РРО забоев на экран смартфона РПП-12.

Задача РРА забойных, шпуровых, шламовых, вагонных и керновых проб решается с 1987 г. В настоящее время РРА выполняется с помощью 3 лабораторных EDXRF спектрометров РЛП-21 (рис. 4) и 17 РЛП-21Т (рис. 5), выпускаемых Аспап-Гео.

Спектрометр РЛП-21 обеспечивает определение содержания 34 элементов (Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, As, Ba, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Ga, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, In, Sn, Sb, Ta, Hg, Bi, W, U, Th) в порошковых пробах руд и горных пород. Общая характеристика РЛП-21: Si-Li полупроводниковый детектор площадью 100 мм² (охлаждение – жидкий азот); изотопные источники америций-241 типа ИГИА-3М (4-6 шт); мишень – Ва или Cs; экспозиция измерений 415 сек; облучение кюветы с пробой – снизу, турель на 10 кювет.

Спектрометр РЛП-21Т в обычном режиме обеспечивает определение содержания 31

элемента (Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Mo, Fe, Se, As, Ba, W, Bi, Ti, Cr, Mn, V, Ni, Al, Si, S, Ca, Ga, Br, Sr, Zr, Rb, Y, Nb, Pd, U, Th) в одном режиме без применения вакуумного насоса или инертного газа при анализе на легкие элементы. Диапазон энергий от 1,49 кэВ (AlK α) до 23,0 кэВ (CdK α).



Рис. 4. Спектрометр РЛП-21.



Рис. 5. Спектрометр РЛП-21Т.

Общая характеристика РЛП-21Т: дрейфовый полупроводниковый детектор (SDD) площадью около 25 мм² и толщиной 300-500 микрон (охлаждение: холодильник Пельтье); рентгеновская трубка VF-50J Rh (50 Вт) фирмы Varian Medical Systems (США); мишень из теллура; экспозиция измерений 150 сек; облучение кюветы с пробой – сверху; турель на 9 кювет. РЛП-21Т может быть оснащен опцией (РРА на Re), которая позволяет определять 19

элементов: Re, Ge, Cu, Zn, Pb, K, Ca, Ti, Cr, V, Mn, Fe, Co, Ni, As, Se, Ba (оценка), S (оценка), W при экспозиции измерений 500 с. Последняя модификация спектрометра РЛП-21Т обеспечивает анализ руд на 38 элементов (добавлены: Ga, Ge, K, P, Sb, Sc, Sn).

Наиболее важным элементом архитектуры обоих спектрометров является уникальный по сложности и возможностям пакет специализированных прикладных программ, в котором вместо метода спектральных параметров используется его модификация – метод спектральных коэффициентов. Поправки вводятся только на все определяемые элементы, а также на некоторые неопределяемые элементы, содержание которых можно рассчитать через коэффициенты корреляции с определяемыми элементами-спутниками (например: серу через железо на медноколчеданных месторождениях). Примененная методическая новация обеспечила большую независимость результатов РРА с использованием спектрометров РЛП-21 и РЛП-21Т от влияния матричного эффекта на полиметалльных рудах сложного валового и элементного состава по сравнению с EDXRF спектрометрами этого класса.

Жезказганские обогатительные фабрики №1 (ЖОФ-1) и №2 (ЖОФ-2) объединения Жезказганцветмет корпорации Казахмыс перерабатывают руду, поступающую с шахт и карьеров жезказганской рудничной промышленной площадки (месторождение медь-содержащих песчаников Жезказган), а также с рудника Жомарт (месторождение медь-содержащих песчаников Жаман-Айбат, расположенное в 160 км к юго-востоку от г. Жезказгана).

В связи с большим числом поставщиков руды на ЖОФ-1 и ЖОФ-2, важнейшей производственной задачей становится объективное распределение меди в концентрате между рудниками, шахтами и карьерами. Это распределение пока производится по данным входного контроля качества руд, который организует ОТК.

Контроль качества руды, поступающей на ЖОФ-1 и ЖОФ-2, производится по следующей схеме: руда, прошедшая дробилки крупного дробления, опробуется через каждые

3-4 минуты с помощью полуавтоматических пробоотборников. Отобранные пробы в конце смены доставляются в пробоподготовительное отделение ОТК на ЖОФ-2. Готовые к анализу пробы направляются в экспресс-лабораторию (спектрометр РЛП-21Т). Быстродействие этой схемы, несмотря на то, что последним звеном всей цепочки опробования является экспресс-анализатор, а не химический анализ, – от 5 до 12 часов. Действующая схема не в состоянии реализовать входной «on-line» контроль качества руд.

Организацию «on-line» контроля на ЖОФ-1 и ЖОФ-2 сильно осложняют такие факторы: большая крупность (класс -250 мм) кусков руды, которую предстоит опробовать (рис. 6); необходимость определения содержания в составе руд серебра в диапазоне содержаний от 2 до 50 ppm.



Рис. 6. Конвейер № 1А на ЖОФ-1, транспортирующий руду после крупного дробления.

Мировой опыт организации «on-line» контроля на обогатительных фабриках однозначно рекомендует использовать для этих целей рудоконтролирующую станцию (РКС).

Указанные выше факторы, заметно осложняющие практическую реализацию поставленной аналитической задачи, резко сократили список РКС, которые можно рекомендовать к применению в Жезказгане. При этом, надо четко понимать: подавляющее большинство РКС, представленных на рынке, при

анализе многокомпонентных полиметалльных руд цветных металлов эффективны лишь при крупности руды менее 40-50 мм. Задача по определению серебра вообще укорачивает список РКС до нескольких единиц.

Проанализировав возможности адаптации имеющихся на рынке РКС к реалиям ЖОФ-1 и ЖОФ-2, мы остановили свой выбор на РКС РЛП-3-02 (Геотех, Санкт-Петербург), которая имеет ряд преимуществ перед другими РКС: наличие двух рентгеновских трубок, что позволяет существенно увеличить площадь «пятна обзора» поверхности руды на ленте конвейера («пятна» такого размера нет больше ни у одной РКС) и повысить достоверность опробования; способность реально определять содержания серебра в рудах в диапазоне от 2 до 50 ppm (рис. 7). Было учтено, что РКС РЛП-3-02 внедрена на нескольких предприятиях и успешно используется для опробования руд на серебро на ленте конвейера, устойчиво работает на крупнокусковой (200-400 мм) руде, надежна и неприхотлива в эксплуатации.



Рис. 7. РКС РЛП-03-02, установленная над конвейером на ЖОФ-1.

Главная проблема, которую предстояло решить на ЖОФ-1 и ЖОФ-2 – компенсация эффекта переменного профиля руды на ленте конвейера и наличие на ней крупных кусков руды. Для многих РКС эта проблема решается путем использования специального ультразвукового датчика. В РКС РЛП-3-02 для этих целей используется некогерентная составляющая рассеянного излучения.

РКС РЛП-3-02 работает в режиме сканирования поверхности руды на ленте конвейера. Время непрерывного сканирования может достигать 30 с, затем небольшая пауза до 5 с. Выемка результатов «on-line» опробования (содержание Cu, Pb, Zn, Ag) производится путем ввода времени начала и окончания опробования состава с рудой в окна «Начало» и «Окончание» главного диалогового окна АРМ «РКС».

Ядерно-геофизические технологии могут быть внедрены в ближайшее время в металлургическое производство. В рамках реализации проекта «Модернизация инструментальной системы аналитического контроля на Балхашском медеплавильном заводе компании Казахмыс Смэлтинг» потребовалось провести исследования по определению возможности экспрессного определения мешающих примесей в образцах анодной меди рентгенофлуоресцентным методом.

Исследования были выполнены с помощью EDXRF спектрометра локального анализа образцов РЛП-21Т (ЛА) при экспозиции измерений 200 сек (рис. 8).



Рис. 8. Спектрометр РЛП-21Т (ЛА)

Общая характеристика спектрометра РЛП-21 (ЛА): 50 Вт рентгеновская трубка с торцевым выходом излучения и оптимальными геометрическими условиями

измерения, что обеспечивает высокую светосилу и возможность определения элементов от Al до U в воздушной атмосфере; SDD детектор с внутренним коллиматором; цифровой сигнальный процессор; энергетическое разрешение (135 эВ); высокая интегральная загрузка и отношение пик/фон; повышенная контрастность аналитических линий; количественный анализ в диапазоне элементов от Al до U при концентрациях от $n \cdot 0,001$ до 100% для средней области элементов и от 0,1% для легких элементов; система возбуждения предусматривает проведение локального анализа с площадью засветки образца от 1 мм²; юстировка анализируемого образца производится с помощью видеокамеры; камера образцов позволяет анализировать крупногабаритные изделия (диаметром не более 170 мм и высотой не более 120 мм); учет матричных эффектов по фундаментальным алгоритмам; восстановление спектра вторичного излучения осуществляется с использованием нелинейного метода наименьших квадратов и с учетом зависимости относительных интенсивностей характеристических линий от состава, чем обеспечивается точное нахождение истинных интенсивностей аналитических линий химических элементов.

Результаты работы РРО забоев. В Жезказгане каждый забой или уступ, включенный в план-график добычи руды и металла, в течение месяца опробуется от 3 до 7 раз по 1-2 вертикальным сечениям высотой до 7 м с шагом наблюдений 15-20 см. При такой технологии обеспечивается высокая достоверность РРО забоев, которую прежде невозможно было обеспечить.

На геологические разрезы всех нарезных и горно-подготовительных выработок, очистных забоев, уступов и камер в обязательном порядке выносятся показатели содержания Cu, Pb и Zn. Частота РРО забоев, уступов, проходческих штреков резко возросла (на руднике Жомарт, например, забои опробуются после каждого цикла). В результате, геологи и горняки имеют полную картину о характере распределения медного, свинцового и цинкового оруденения в добычных панелях и

блоках, а также в горноподготовительных выработках.

С момента внедрения ядерно-геофизической «on-line» технологии РРО забоев на всех шахтах жезказганской рудничной площадки (1979-80 гг.), осуществлялся мониторинг ее качества путем формирования таблиц средних содержаний меди по данным сливов ЖОФ-1, ЖОФ-2, Сатпаевской ОФ №3 (СОФ-3), вагонного опробования ОТК и геологического опробования забоев, в котором основные объемы обеспечивало РРО. Таблицы готовились для каждой шахты, рудника и промышленной площадки в целом по месяцам и за год. Во всех таблицах данные геологического опробования (РРО) всегда находились между данными сливов фабрик и вагонным опробованием ОТК. По мере совершенствования аппаратного обеспечения, данные РРО все более приближались к данным сливов ЖОФ-1, ЖОФ-2 и СОФ-3.

Технологию РРО забоев начали применять на рудниках других филиалов корпорации: Абыз, Акбастау, Кусмурын, Нурказган компании Карагандацветмет и Саяк, Конырат, Шатыркуль компании Балхашцветмет.

Результаты РРА материала проб. С вводом в эксплуатацию комплексов РЛП-21 и РЛП-21Т многократно увеличился объем информации о содержании в рудах серебра, что позволило перейти на фиксирование данных о содержании серебра (а также Cd и S) в паспортах разведочных скважин по секциям, а не по рудному пересечению в целом, как было до этого (аналогичная ситуация и для геологических разрезов забоев).

Была разработана представительная методика учета добычи серебра по данным РРА вагонных проб (полная аналогия с методикой учета добычи меди), это позволило отказаться от методики учета добычи серебра по данным химического анализа объединенных декадных и месячных вагонных проб, обеспечив тем самым более объективные данные о распределении серебра между рудниками, шахтами и карьерами, в том числе и за счет исключения ошибок при формировании объединенных проб.

Для обеспечения большей полноты извлечения запасов металлов из недр была внедрена методика останковки добычи в забоях, вышедших за контур балансовых руд: забой, породный по данным РРО, опробуется пунктирно-бороздовым способом и выводится из добычи, если содержание серебра в нем, по данным РРА материала проб, окажется ниже планового содержания по шахте (в противном случае забой остается в добыче).

Автоматический РРА материала всех видов проб на Cu, Pb и Zn способствует снижению потерь свинца, цинка и повышению качества медного концентрата за счет оперативного управления процессами обогащения.

Наличие более полной, достоверной и оперативно обновляющейся информационной базы о содержании Cu, Pb, Zn, Ag и Cd в составе материала рудопотоков, забойных, шпуровых, шламовых и керновых проб дает возможность формировать базы данных об особенностях пространственного распределения этих элементов в плане и в разрезах рудных залежей, на которые можно опереться при отработке как этих, так и других залежей рудного горизонта.

Эта технология внедрена также на рудниках других филиалов корпорации: Абыз, Акбастау, Кусмурын, Нурказган компании Карагандацветмет, Саяк, Конырат, Шатыркуль компании Балхашцветмет, а также на Балхашской, Жезказганской, Карагайлинской и Нурказганской обогатительных фабриках.

РРО руды на ленте конвейера. РКС РЛП-3-02 была запущена в работу в тестовом режиме декабре 2013 года на тяжелом конвейере №1 ЖОФ-2. Исследовались: надежность работы РКС в условиях интенсивной эксплуатации; корректность градуировки РКС путем сопоставления данных РРО и вагонного опробования ОТК ЖОФ-2. Положительные результаты этих исследований сделали возможным перенос РКС (ноябрь 2014 г.) на тяжелый конвейер №1А ЖОФ-1 для решения более важной производственной задачи объективного распределения меди между двумя производственными объединениями корпорации Казахмыс – Жомарт и Жезказганцветмет.

Результатом исследований явился перевод РКС РЛП-3-02 в режим производственной апробации, в ходе которой (март-май 2015 г.) металл (медь) в опытном порядке распределялся между поставщиками руды по данным РКС (параллельно с ОТК, но с приоритетом ОТК). Итоги работы РКС РЛП-3-

02 на ЖОФ-1 за весь период производственной апробации (от 15 ноября 2014 г. до 30 апреля 2015 г.) приведены в табл. 1. Ухудшение сходимости данных РЛП-21Т и РЛП-3-02 в апреле и мае 2015 г. объясняется организационными причинами.

Таблица 1.

Итоги производственной апробации РКС РЛП-3-02 на ЖОФ-1 (ноябрь 2014 г.- апрель 2015 г.)

Месяцы, годы	Составы, шт	Вагоны, шт.	Руда, т	Содержание Cu, масс.%		Разница (ОКК-РКС) Cu, масс.%
				по данным РКС (РЛП-3-02)	по данным ОКК (РЛП-21Т)	
ноябрь 2014 г.	141	1522	166517,3	0,875	0,796	-0,080
декабрь 2014 г.	234	2754	298158,2	0,883	0,769	-0,114
январь 2015 г.	183	1943	211640,0	0,898	0,804	-0,094
февраль 2015 г.	330	3063	340999,4	0,982	0,922	-0,060
март 2015 г.	268	3180	358930,1	0,809	0,847	0,038*
апрель 2015 г.	388	3790	423889,2	0,783	0,880	0,097*
Всего	1544	16252	1800134,	0,864	0,846	0,018*

* – в конце февраля 2015 г. было проведено корректирование градуировки РЛП-3-02.

Результаты исследований и экспериментов позволили: а) реализовать в производственном масштабе «on-line» контроль качества полиметалльной руды, поступающей на ЖОФ-1, по четырем (Cu, Pb, Zn, Ag) балансовым компонентам; б) повысить оперативность «on-line» контроля с 5-12 час. до 10 мин.; в) существенно повысить представительность опробования руды в целом (сейчас опробуется весь объем руды, проходящий по конвейеру № 1А); г) повысить достоверность распределение металлов между поставщиками руды. Был поставлен вопрос о внедрении РКС РЛП-3-02 на остальных трех тяжелых конвейерах ЖОФ-1 и ЖОФ-2.

РКС РЛП-3-02 подключена к единой компьютерной сети ЖОФ-1 и ЖОФ-2, результаты работы РКС доступны в режиме «on-line» большой группе пользователей.

Результаты РРА анодной меди. Содержание химических элементов-примесей в составе изученных образцов было неизвестно, поэтому использовался режим, когда сам спектрометр РЛП-21Т (ЛА) определял содержание элементов, аналитические линии которых были обнаружены в

аппаратурных спектрах при включенной опции удаления из таблицы «Процентное содержание элементов» элементов по критерию $S < \Delta C = 2\sigma$ (где σ – абсолютная среднеквадратическая погрешность анализа). Результаты измерения состава меди приведены в табл. 2 (в табл. 2 не вошли результаты РРА на индий (103 и 116 ppm, соответственно), анализ на который в ЦХЛ объединения Балхашцветмет не выполняется).

Второй цикл исследований выполнялся для образца анодной меди № 1/1. При обработке аппаратурных спектров опция удаления из таблицы «Процентное содержание элементов» элементов по критерию $S < \Delta C = 2\sigma$ была отключена. Результаты анализа показаны на рис. 9. Приведем значения содержания химических элементов по данным химического анализа, не вошедшие в табл. 2 (масс.%): Au 0,00244, Bi 0,0029, Fe 0,0032, Te 0,0039, Sn <0,0010.

В результате спектрометр РЛП-21Т (ЛА) определил содержание в составе меди 14 элементов. Погрешность определений содержания золота, теллура и олова оказалась выше, чем критерий 2σ . Это обстоятельство не

должно смущать: увеличением аналитических линий этих элементов продолжительности анализа, подбором нежелательный «эффект» можно устранить. оптимальных условий возбуждения

Таблица 2.

Результаты химического анализа и РРА среднесуточной пробы анодной меди Балхашского металлургического завода,

Химические элементы	Химический анализ		РРА (проба № 1/1)		РРА (проба № 1/2)	
	содержание, масс. %	погрешность, ±Δ, масс. %	содержание, масс. %	погрешность, ±Δ, масс. %	содержание, масс. %	погрешность, ±Δ, масс. %
Медь	99,43	0,14	99,5576	0,0048	99,526	0,0066
Серебро	0,1039	0,0042	0,1053	0,0012	0,1139	0,0013
Свинец	0,17	0,04	0,2071	0,0029	0,2457	0,0031
Мышьяк	0,019	0,004	0,0419	0,0025	0,0195	0,0026
Сурьма	0,019	0,004	0,0249	0,002	0,0283	0,002
Селен	0,057	0,020	0,0528	0,001	0,04363	0,00095

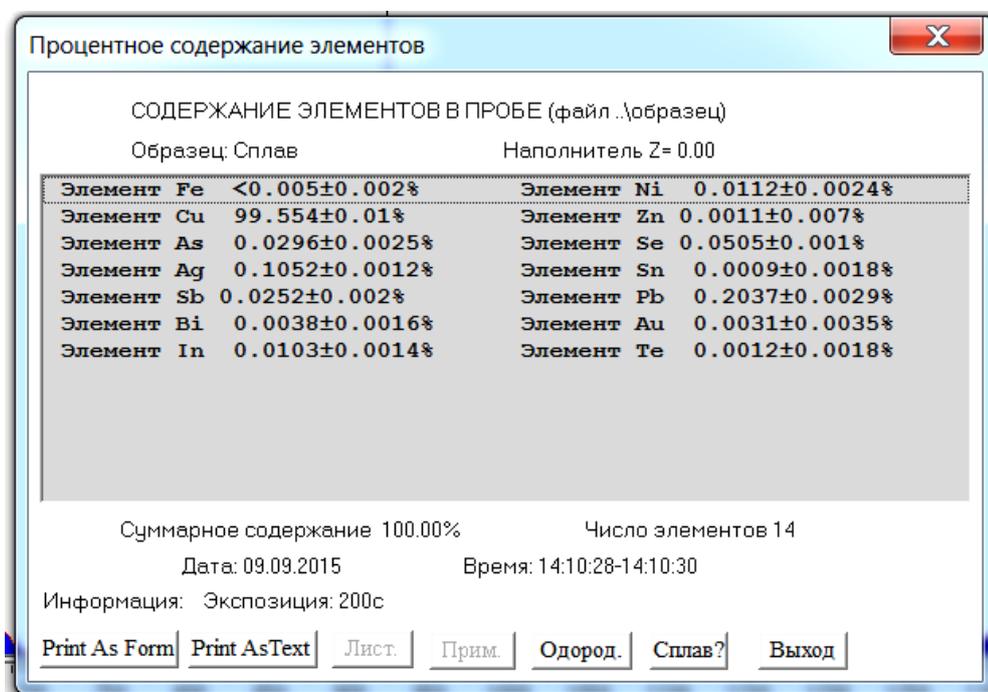


Рис. 9. Результаты РРА образца анодной меди № 1/1, полученные с помощью спектрометра РЛП-21Т (ЛА).

О воспроизводимости результатов анализа с использованием спектрометра РЛП-21Т (ЛА) можно судить по данным табл. 3: она (за исключением мышьяка) очень высокая. Расхождения в данных о содержании мышьяка можно объяснить тем, что, возможно, не

удалось точно «попасть» в предыдущее «пятно» измерений.

Результаты проведенных исследований показали, что аналитическая задача «экспресс-анализ образцов анодной меди Балхашского металлургического завода» имеет хороший

потенциал для решения с использованием спектрометра РЛП-21Т (ЛА). Подбором оптимальной комплектации спектрометра и разработкой дополнительных методических решений можно существенно повысить как

точность экспресс-анализа, так и расширить список определяемых элементов-примесей в составе такого сложного для РРМ объекта как анодная медь.

Таблица 3.

Воспроизводимость результатов РРА образца анодной меди № 1/1, полученных с помощью спектрометра РЛП-21Т (ЛА)

Содержание элементов, масс. %	Измерения 2 сентября 2015 г.		Измерения 9 сентября 2015 г.	
	содержание, масс. %	показатель точности $\pm\Delta$, масс. %	содержание, масс. %	показатель точности $\pm\Delta$, масс. %
Медь	99,5576	0,0048	99,554	0,0100
Серебро	0,1053	0,0012	0,1052	0,0012
Свинец	0,2071	0,0029	0,2037	0,0029
Мышьяк	0,0419	0,0025	0,0296	0,0025
Сурьма	0,0249	0,002	0,0252	0,002
Селен	0,0528	0,001	0,0505	0,001
Индий	0,0103	0,0014	0,0103	0,0014

Выводы

1. По результатам научных и методических исследований, с использованием современной аппаратуры, разработаны ядерно-геофизические технологии «on-line» контроля качества руд, охватывающие горный (фактически полностью), обогатительный (частично) и металлургический (в ближайшее время) переделы корпорации Казахмыс. Технологии обеспечивают определение содержания всех основных и сопутствующих рудных компонентов. В результате созданы условия для управления качеством подаваемых на переработку руд по содержанию основных и сопутствующих рудных компонентов. Пределы обнаружения сопутствующих рудных компонентов соответствуют этим задачам. Возможности мониторинга элементного и валового состава руд и концентратов с использованием спектрометров РЛП-21 и РЛП-21Т многократно превышает возможности химического анализа.

2. Под разработанные ядерно-геофизические технологии «on-line» контроля качества руд и продуктов их переработки выбран оптимальный аналитический комплекс аппаратуры казахстанского производства: носимый спектрометр РПП-12 и лабораторные

спектрометры РЛП-21 и РЛП-21Т. В них заложена инновационная идеология: месторождения разные, технологические сорта руд разные, продукты обогащения разные – градуировка спектрометров одна. Готова база для обновления имеющегося парка носимых спектрометров с улучшенными метрологическими характеристиками и техническими возможностями.

3. Испытана ядерно-геофизическая технология входного «on-line» контроля качества руд на ленте тяжелого конвейера № 1А ЖОФ-1 на базе РКС РЛП-3-02. Решается вопрос о расширении сферы применения РКС на других обогатительных фабриках. В ближайшее время ядерно-геофизические технологии будут внедрены на Балхашской, Нурказганской и Карагайлинской обогатительных фабриках Балхашского и Жезказганского медеплавильных заводов корпорации Казахмыс.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. *Ефименко С.А. Применение ядерно-геофизических технологий опробования руд в ТОО «Корпорация Казахмыс» // Горный журнал Казахстана. – 2009. – № 1. – С. 8-12.*
2. *Yefimenko S.A. The use of nuclear-geophysical technologies of ores testing in “Ка-*

zakhtmys Corporation” (in Russian) // *Kazakhstan Mining Journal*.– 2009.– №1.– P. 8-12.

2. **Ефименко С.А.** Аппаратура для мониторинга элементного состава полиметаллических руд // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре (Одесса)*.– 2009.– №2 (80).– С. 16-20.

Yefimenko S.A. Monitoring equipment for elemental composition of polymetallic ores (in Russian) // *Technology and designing in electronic equipment (Odessa, Ukraine)*.– 2009.– №2 (80).– P. 16-20.

3. **Ефименко С.А.** Рентгенофлуоресцентный анализ руд Жезказгана на основные и сопутствующие промышленные элементы / *Минералогия техногенеза-2011* // Миасс: Институт минералогии Уральского отделения РАН, 2011.– С. 103-116.

Yefimenko S.A. X-ray fluorescence analysis of Zhezkazgan ores for basic and related industrial components (in Russian) // *Mineralogy of technogenesis-2011* // Miass: Institute of mineralogy of Ural branch of RAS, 2011.– P. 103-116.

4. **Ефименко С.А., Лезин А.Н.** Рентгенорадиометрический полевой прибор РПП-12 // *Приборы и техника эксперимента*.– 2008.– №5.– С. 161-162.

Yefimenko S.A., Lezin N.A. X-ray radiometric field device PFR-12 (in Russian) // *Instruments and Experimental Techniques*.– 2008.– №5.– P. 161-162.

5. **Ефименко С.А., Лезин А.Н.** Рентгенорадиометрический лабораторный прибор РЛП-21 // *Приборы и техника эксперимента*.– 2009.– №1.– С. 180-181.

Yefimenko S.A., Lezin N.A. X-ray radiometric laboratory instrument RLP-21 (in Russian) // *Instruments and Experimental Techniques*.– 2009.– №1.– P. 180-181.

6. **Ефименко С.А., Портнов В.С.** Ядерно-физические технологии опробования медных и полиметаллических руд месторождений Казахстана // *Караганда*, 2010.– 550 с.

Yefimenko S.A., Portnov V.S. Nuclear physics technologies for testing copper and polymetallic ore deposits in Kazakhstan (in Russian) // *Karaganda*, 2010.– 550 p.

7. **Ефименко С., Рева М.** Вибір способу

обліку ефекту матриці в рентгенорадіометричному методі аналізу руд кольорових металів // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*.– 2010.– Вип. 51.– С. 4-8.

7. **Yefimenko S., Reva M.** Choosing a method of matrix effect in X-ray radiometrical method for non-ferrous metals ores analyzing (in Ukrainian) // *Bulletin of Taras Shevchenko Kiev national university. Ser. Geology*.– 2010.– №51.– P. 4-8.

8. **Ефименко С.А., Портнов В.С., Турсунбаева А.К.** Ядерно-геофизические технологии контроля экологических последствий от добычи медьсодержащих полиметаллических руд // *Труды Карагандинского государственного технического университета*.– 2011.– №3 (44).– С. 55-58.

Yefimenko S.A., Portnov V.S., Tursunbayeva A.K. Nuclear geophysical technologies for monitoring environmental impacts from the extraction of copper-bearing polymetallic ores Karaganda (in Russian) // *Proceedings of the Karaganda State technical university*.– 2011.– №3 (44).– P. 55-58.

9. **Ефименко С.А., Портнов В.С., Турсунбаева А.К., Маусымбаева А.Д.** Опробование медных руд месторождений Казахстана рентгено-радиометрическим методом // *Журнал СФУ. Серия Техника и технологии (Красноярск)*.– 2009.– Т. 2, вып. 4.– С. 345-358.

Yefimenko S.A., Portnov V.S., Tursunbayeva A.K., Maussymbayeva A.D. Testing copper ores from Kazakhstan deposits by X-ray radiometric method (in Russian) // *SFU Journal. Series of Machinery and Technology (Krasnoyarsk)*.– 2009.– V. 2, №4.– P. 345-358.

10. **Ефименко С.А., Портнов В.С., Турсунбаева А.К., Маусымбаева А.Д.** Рентгенорадиометрический анализ медных руд фильтрами Росса // *Горный информационно-аналитический бюллетень*.– 2012.– № 9.– С. 239-244.

Yefimenko S.A., Portnov V.S., Tursunbayeva A.K., Maussymbayeva A.D. X-ray radiometric analysis of copper ores with Ross filters (in Rus-

sian) // Mining information-analytical bulletin.– 2012.– № 9.– P. 239-244.

11. **Ефименко С.А., Портнов В.С., Турсунбаева А.Ж. и др.** Приборное и методическое обеспечение рентгенофлуоресцентного анализа полиметаллических руд // *Фундаментальные исследования.*– 2012.– № 6.– Ч. 1.– С. 96-100.

Yefimenko S.A., Portnov V.S., Tursunbayeva A.K., et al. Instrumentation and methodological support for XRF analyses of polymetallic ores (in Russian) // *Basic Research.*– 2012.– №6.– Part 1.– P. 96-100.

12. **Ефименко С.А., Ефименко О.С., Портнов В.С. и др.** Экологический мониторинг, управление добычей и переработкой полиметаллических руд на основе рентгено-радиометрических исследований // *Геодинамика.*– 2013.– №2.– С. 145-147.

13. **Yefimenko S.A., Yefimenko O.S., Portnov V.S., et al.** Environmental monitoring, manage-

ment of mining and processing polymetallic ores on the basis of X-ray radiometric studies (in Russian) // *Geodinamics.*– 2013.– №2.– P. 145-147.

13. **Borkhodoev V.Ya.** Accuracy of the fundamental parameter method for X-ray fluorescence analysis of rocks (in English) // *X-Ray Spectrometry.*– 2002.– V. 31, №3.– P. 209-218.

14. **Revenko A.G.** X-Ray fluorescence analysis: its present and future (in English) // *Proc. of SPIE.*– 2002.– V. 4765.– P. 110-121.

15. **Yefimenko S., Yefimenko O., Makarov D.** Environmental nuclear-geophysical ore monitoring in mines of Corporation Kazakhmys PLC (in English) // *Journal of Environmental Science and Health.*– 2014.– Part A.– V. 49.– №10.– P. 1163-1170.

16. **Zhumagulov B.T., Tuleshov A.K., Drakunov Yu.M.** Computer modeling and control system for X-ray radiometrical well-logging unit (in English) / *World Congress on Engineering* // London, 2010.– P. 900-906.

ЕФИМЕНКО С.А., ЕФИМЕНКО О.С., ПОРТНОВ В.С., МАУСЫМБАЕВА А.Д., РЕВА М.В. Ядерно-геофізичні технології «on-line» контролю якості руд і продуктів їх переробки, які застосовуються в корпорації Казахмис.

Резюме. Мета. Створення ефективно діючих систем «on-line» контролю та управління якістю мідь-вмісних поліметалічних руд і продуктів їх переробки на підприємствах корпорації Казахмис. **Методика.** Базовий метод досліджень – рентгенорадіометричний (РРМ). Використовувались сучасні ядерно-геофізичні технології (ЯГФТ), а також апаратура «on-line» опробування та аналізу руд, продуктів їх переробки. **Результати.** Розроблений та адаптований до гірничих і геологічних умов рудників, збагачувальних фабрик і мідеплавильного заводу комплекс ЯГФТ опробування та аналізу руд, який дозволяє контролювати й керувати їх якістю на різних стадіях видобутку та переробки. Основою комплексу є енергодисперсійні рентгенофлуоресцентні спектрометри: переносний РПП-12, лабораторні РЛП-21, РЛП-21Т, РЛП-21Т (ЛА) та стаціонарний конвейерний РЛП-3-02. Комплекс ЯГФТ забезпечує контроль якості руд при опробуванні забоїв, на стрічці конвейера збагачувальної фабрики, а також готової продукції мідеплавильного заводу. **Наукова новизна.** Оцінені можливості РРМ методу та межі його практичного застосування на стадіях видобутку, збагачення та металургійної переробки руд. Доведено, що РРМ метод здатний забезпечити процес управління якістю руд за всіма промисловими й супутніми компонентами, включно сріблом, кадмієм та легкими хімічними елементами. Вперше було показано, що геологічне опробування руд на рудниках і визначення якості руд, які надходять на збагачувальні фабрики об'єднання Жезказганцветмет, можна повністю перевести на «on-line» ЯГФТ. Показано, що РРМ метод здатний забезпечити експрес-аналіз зразків анодної міді з високою точністю. **Практичне значення.** ЯГФТ дозволяють організувати ефективний «on-line» контроль якості руд і продуктів їх переробки за ланцюгом шах-

та – збагачувальна фабрика – мідеплавильний завод. Рекомендовані до впровадження нові зразки ядерно-геофізичної апаратури казахстанського виробництва.

Ключові слова: родовища міді, Казахстан, мідна руда, продукти збагачення, анодна мідь, хімічний склад, рентгенорадіометричний метод аналізу, ядерно-геофізичні технології.

ЕФИМЕНКО С.А., ЕФИМЕНКО О.С., ПОРТНОВ В.С., МАУСЫМБАЕВА А.Д., РЕВА Н.В. Ядерно-геофизические технологии «on-line» контроля качества руд и продуктов их переработки, применяемые в корпорации Казахмыс.

Резюме. Цель. Создание эффективно действующих систем «on-line» контроля и управления качеством медь-содержащих полиметалльных руд и продуктов их переработки на предприятиях корпорации Казахмыс. **Методика.** Базовый метод исследований – рентгенорадиометрический (РРМ). Использовались современные ядерно-геофизические технологии (ЯГФТ), а также аппаратура «on-line» опробования и анализа руд, продуктов их переработки. **Результаты.** Разработан и адаптирован к горным и геологическим условиям рудников, обогатительных фабрик и мідеплавильного завода комплекс ЯГФТ опробования и анализа руд, позволяющий контролировать и управлять их качеством на разных стадиях добычи и переработки. Основой комплекса являются энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные спектрометры: переносной РПП-12, лабораторные РЛП-21, РЛП-21Т, РЛП-21Т (ЛА) и стационарный конвейерный РЛП-3-02. Комплекс ЯГФТ обеспечивает контроль качества руд при опробовании забоев, на ленте конвейера обогатительной фабрики, а также готовой продукции мідеплавильного завода. **Научная новизна.** Оценены возможности РРМ метода и пределы его практического применения на стадиях добычи, обогащения и металлургической переработки руд. Доказано, что РРМ способен обеспечить процесс управления качеством руд по всем промышленным и сопутствующим компонентам, включая серебро, кадмий и легкие химические элементы. Впервые было показано, что геологическое опробование руд на рудниках и определение качества руды, поступающей на обогатительные фабрики компании Жезказганцветмет, можно полностью перевести на «on-line» ЯГФТ. Показано, что РРМ способен обеспечить экспресс-анализ образцов анодной меди с высокой точностью. **Практическое значение.** ЯГФТ позволяют организовать эффективный «on-line» контроль качества руд и продуктов их переработки по цепочке шахта – обогатительная фабрика – мідеплавильный завод. Рекомендованы к внедрению новые образцы ядерно-геофизической аппаратуры казахстанского производства.

Ключевые слова: месторождения меди, Казахстан, медная руда, продукты обогащения, анодная медь, химический состав, рентгенорадиометрический метод анализа, ядерно-геофизические технологии.

YEFIMENKO S.A., YEFIMENKO O.S., PORTNOV V.S., MAUSSYMBAYEVA A.D., REVA M.V. Nuclear-geophysic technologies for «on-line» quality control of ores and products of their processing used in Kazakhmys Corporation.

Summary. Goal. Creating effectively operating systems of “on-line” monitoring and quality control of copper-containing polymetallic ores and products of their processing at the enterprises of “Kazakhmys Corporation”.

Methods. Basic method of research is X-ray radiometric (XRR). We used modern nuclear-geophysical technologies (NGPHT) and equipment of “on-line” sampling and analyzing ores, and products of their processing.

Results. A complex of NGPHT sampling and analyzing ores, which allows controlling and managing quality at various stages of production and processing, has been developed and adapted to mining and geological conditions of mines, concentrating plants and copper works. Energy disperse x-ray fluorescence spectrometers (ED-XRF spectrometers): PSC-12 portable, laboratory RLP-21, RLP-21T, 21T-

RLP (LA) and a stationary conveyor RLP-3-02 are basic for the complex. The NGPHT complex provides ore quality control when sampling faces, at the conveyor belt of the processing plant and for the end product of the copper works.

Scientific novelty. *The potential of the XRRM and the limits of its practical implementation to the stages of ore mining, mineral processing and metallurgical processing have been assessed. The XRRM has proved to be capable of ensuring the process of ore quality control of all the industrial and related components, including silver, cadmium and light chemical elements. It has been shown for the first time that the geological ore sampling at mines and defining the quality of ore fed to the concentrating plants of “Zhezkazgancvetmet” company can be completely transferred to “on-line” NGPHT mode. It has been shown that the XRRM can provide rapid, high accuracy analysis of anode copper samples.*

Practical significance. *It is shown, that the NGPHT allow organizing effective “on-line” quality control of ores and products of their treatment through the sequence: mine – processing plant – copper works. New models of nuclear geophysical equipment of Kazakhstan production are recommended for implementing.*

Key words: copper deposit, Kazakhstan, copper ore, processing products, anode copper, chemical composition, X-ray radiometric method of analysis, nuclear-geophysical technologies.

*Надійшла до редакції 10 березня 2016 р.
Представив до публікації доцент Є.В.Євтехов.*