УДК 621.039

ДОЛГОЛЕТНЕЕ И ПЛОДОТВОРНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ АН РУз И НАВОИЙСКОГО ГМК

Б. И. КУРБАНОВ,
зав. лабораторией экологии и биотехнологии, канд. техн. наук,
bkurbon@inp.uz,
Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан

А. М. МУЗАФАРОВ,
главный инженер Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ),
ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат», Навои, Узбекистан

Приведены результаты научных исследований, проведенных Институтом ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (ИЯФ АН РУз) совместно с Навоийским горно-металлургическим комбинатом (НГМК).

Ключевые слова: *сотрудничество, научные исследования, ядерно-физические методы, рудоподготовка, обогащение руд, извлечение золота и урана, охрана окружающей среды, мониторинг здоровья.*

Введение

В Постановлении Президента РУз по стратегическому развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы (№ УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан») особое место уделено горно-металлургическому комплексу страны, где производятся основные виды экспортируемой продукции, являющиеся главными источниками валютных поступлений в республику. На государственном предприятии «Навоийский ГМК» ежегодно перерабатываются десятки миллионов тонн золотосодержащих, урансодержащих и других руд. Экономическая эффективность технологий переработки руд и качество готовой продукции напрямую зависят от уровня применяемых аналитических методов и технического оснащения производства. Путем интеграции научного потенциала и производственных мощностей можно идти далеко вперед и в науке, и в промышленности.

Фундамент подобных стратегий развития был заложен еще в восьмидесятых годах прошлого столетия. Вот уже около 50 лет НГМК сотрудничает с Академией наук Узбекистана в различных сферах деятельности: геологии, геохимии, геофизики, технологии, аналитики и охраны окружающей среды [1–5]. Наиболее плодотворно развивается сотрудничество с Институтом ядерной физики (ИЯФ) АН РУз.

Начало сотрудничества ИЯФ АН РУз и НГМК

Сотрудниками ИЯФ АН РУз (А. А. Абдуллаев, 1970–1978 гг.) проведены научно-исследовательские работы по оценке движения подземных вод в реальных условиях Узбекистана. Для практического внедрения академических разработок в 1978 г. была организована базовая лаборатория ИЯФ АН РУз в г. Зарафшане. Коллектив лаборатории вел большую работу по изучению экспрессных методов анализа технологических продуктов, принимал участие во многих исследованиях, проводимых на гидрометаллургическом заводе № 2 (ГМЗ-2) по вопросам оптимизации технологического процесса. В деятельности лаборатории, которая функционировала до 1988 г., принимали активное участие С. А. Бакиев, Ж. Рахманов, А. А. Куракбаев, Л. А. Куранова и другие сотрудники ИЯФ АН РУз.

В лаборатории также исследовано химическое поведение селена, вольфрама и палладия в процессе извлечения золота на ГМЗ-2 (А. Г. Ганиев, А. А. Кист и С. А. Бакиев).

Совместная лаборатория ядерно-физических методов исследований

Для ускоренного внедрения достижений науки в производство и привлечения ученых Узбекистана в производственную деятельность НГМК в 1983 г. была создана совместная лаборатория ядерно-физических методов исследований (ЛЯФМИ) ИЯФ АН РУз и НГМК под руководством доктора техн. наук Г. С. Саттарова. Общими усилиями института и комбината лаборатория превратилась в мощный ядерно-физический центр. В организации, становлении и эффективном функционировании лаборатории большую роль сыграли руководители и специалисты НГМК (В. Е. Латышев, А. В. Симков, О. Н. Мальгин) и ИЯФ АН РУз (П. К. Хабибуллаев, Б. С. Юлдашев, А. А. Кист).

Лаборатория успешно работала до 1999 г. В 2000 г. она была реорганизована, и на ее базе создано Бюро специальных методов исследования (БСМИ) при ЦНИЛ комбината.

Направления деятельности лаборатории схематически показаны на **рисунке**.

© Курбанов Б. И., Музафаров А. М., 2018

Геология, минералогия, обогащение, рудоподготовка	Аналитика	Контроль технологического процесса извлечения Au, U	Разработка схем попутного извлечения	Экология, охрана окружающей среды
Определение: • пространственного распределения и локальной концентрации элементов (S, Au, As, Sb, Sc, U) в шлифах; • текстурно-структурных особенностей руд и пород; • парной и тройной корреляции элементов в природных объектах	• нейтронно-активационный и нейтронно-радиационный анализ на радионуклидных источниках нейтронов (Sb^{124}–Be; Cf^{252}); • РФЭДА руд и технологических продуктов; • гамма-абсорбционный анализ; • альфа и гамма-спектрометрия	Использование изотопных приборов (плотномеры, уровнемеры, концентратомеры). Способы контроля процессов флотации, сорбции-десорбции, экстракции-реэкстракции, переработки магнитной фракции. Определение: • времени нахождения продуктов (смолы, пульпы, пески) в аппаратах; • концентрации V, Sc, Se, In, Ag, U в непрерывном потоке пульп и растворов; • химического поведения Se, W, Pd в технологическом процессе извлечения золота на ГМЗ-2. Изотопный анализ на химконцентратах и закиси-окиси урана	Попутное извлечение Mo, Re, Sc из промежуточных урансодержащих технологических продуктов. Способы: • выделение балластных примесей из экстракционной фосфорной кислоты с одновременным получением фосфорных удобрений высокой чистоты из местных фосфоритов; • утилизации катализаторов с одновременным получением Pt, Pd, Ru, Rh, Re	Определение: • концентрации тяжелых элементов в почвах, растениях, воде и воздухе; • форм нахождения элементов в природных и сточных водах; • фракционного состава микровзвесей в воздухе (аэрозоли, парогазовая фаза). Исследования техногенного влияния стоков промышленных предприятий на окружающую среду. Диагностика заболеваний по концентрации микроэлементов в волосах пациентов

Направления деятельности совместной лаборатории ядерно-физических методов исследований

Аналитика (инструментальные и физико-химические методы анализа)

Использование реактора типа ВВР-СМ ИЯФ АН РУз с потоком нейтронов $3 \cdot 10^{13}$ нейтр/(см^2·с) позволило разработать комплекс инструментальных ядерно-физических методик определения содержания более 30 элементов в различных образцах: почве, растениях, горных породах, руде, минералах, природных и сточных водах, технологических продуктах с пределом определения 10^{-4}–10^{-6} %.

Исследована возможность для нейтронно-активационного анализа руд и технологических проб непосредственно в полевых условиях с использованием ампульных источников нейтронов (Po-Be; Pu-Be; Am-Be; Sb^{124}-Be; Cf^{252}). Среди этих источников наиболее успешное применение нашли Sb^{124}-Be и Cf^{252} (Марджанбулакский золотоизвлекательный комплекс, ГМЗ-2, ЦНИЛ).

В течение ряда лет разрабатывалась и использовалась методика определения содержания более 20 элементов в технологических образцах в производственных лабораториях. Она основана на рентгенофлуоресцентном энергодисперсном анализе (РФЭДА). Порог определения скандия и рения в технологических растворах составляет 0,08–0,2 г/л. Для снижения порога на 1–2 порядка растворы предварительно концентрируются химическими способами. В ИЯФ АН РУз накоплен большой опыт по получению и регенерации радионуклидов. В разные годы для решения различных технологических и аналитических задач изготовлены и поставлены в НГМК индикаторы более двадцати наименований.

Минералогия, геохимия, обогащение и рудоподготовка

Разработанная методика определения пространственного распределения ряда элементов в шлифах основана на облучении шлифов тепловыми нейтронами реактора, регистрации бета- и гамма-излучений исследуемого радионуклида рентгеновской пленкой. Для достижения цели выбирают оптимальные экспериментальные условия, где достигается превалирующая удельная активность определяемого радионуклида. Способ позволяет определить пространственное распределение золота и сопутствующих элементов (S, As, Sb, Sc и др.), фракционный состав золотосодержащих микровключений в шлифах и порошкообразных пробах.

Метод естественной и трековой радиографии показал возможность определения пространственного распределения естественных радиоактивных элементов и урана в шлифах горных пород и руд различных месторождений комбината.

Методика определения локальной концентрации элементов в шлифе разработана в результате облучения шлифов руд тепловыми нейтронами и определения локальной концентрации золота, сопутствующих элементов (As, Sb, Fe, Sc и др.) гамма-спектрометрическим методом, путем коллимации γ-излучений измеряемых участков образца. Способ позволяет определять концентрационные кривые распределения золота и сопутствующих элементов в шлифах; локальные концентрации элементов в минералах и рудах; корреляционные связи золота с As, Sb, Fe и другими элементами; относительные величины распределения свободного и сульфидного золота в шлифе.

Показана возможность определения текстурно-структурных особенностей руд и пород. Метод основан на регистрации люминесцентных свечений (излучений) на фотопленке при облучении штуфов (шлифов) γ-квантами с энергией 1,1–10 МэВ. В зависимости от величины удельной интенсивности свечения можно отличить локальное распределение минералов и пород. Данный метод позволяет изучать особенности формирования околорудных метасоматитов, распределение шеелита в золотосодержащих рудах, парагенетические ассоциации пород и минералов.

Следующая разработка – методика поэлементного анализа природных и технологических образцов. Методика основана на оценке содержания основного и сопутствующих элементов в исследуемых пробах и определение парной и тройной корреляции

элементов (парные корреляции типа Au–As, Au–Fe, Au–Sb, Fe–S и тройные корреляции типа: Au–As–Sb, Au–As–S и др.) в различных сульфидных рудах Узбекистана. Найдены корреляционные связи на содержание Au, As и Sb между растениями и почвой в образцах, отобранных в районе золоторудных месторождений Узбекистана, что позволяет делать заключение о возможности биогеохимического поиска рудных месторождений.

В ИЯФ АН РУз изготавливаются для различных отраслей экономики Узбекистана, в том числе для НГМК, радиоизотопные приборы: плотномеры, уровнемеры, концентратомеры и др. Их применяли, в частности, для контроля технологических процессов.

Контроль технологических процессов переработки и извлечения золота и урана

В горно-металлургической промышленности Узбекистана запасы благородных и редких металлов (золота, серебра, платины, рения, палладия и др.) находятся в основном в сульфидных рудах. Наиболее эффективную переработку этих руд возможно осуществить только при наличии оперативных способов и приборов для контроля главных технологических параметров. Имея способ экспрессного контроля концентрации серы и металлов, с точностью, удовлетворяющей производственным требованиям, будет возможно эффективно управлять технологическим процессом обогащения золотосодержащих руд. В этих целях были проведены исследования, в ходе которых создана экспериментальная установка (на основе радионуклидного ^{252}Cf-источника нейтронов) и разработана методика экспрессного определения технологически важных элементов и влажности в исходном сырье и продуктах переработки золотосодержащих руд. На основе данной установки и указанной методики разработан способ контроля флотационного обогащения сульфидных золотосодержащих руд, использованный в производственных условиях НГМК. Способ основан на экспрессном определении содержания серы в исходной руде, флотоконцентрате и хвостовой пульпе по измерению мгновенного γ-излучения, образующегося при радиационном захвате нейтронов. Предел определения содержания серы составлял 0,1 % за время 10 мин с момента отбора проб из производства.

Высокую эффективность в производстве показал метод оперативного контроля процесса сорбции золота. Он основан на экспрессном определении содержания золота в сухой и набухшей ионообменной смоле с помощью РФЭДА с использованием сцинтилляционных детекторов по K_α-серии золота (прибор АСМ-1). Для контроля процесса регенерации смол используют приборы, основанные на РФЭДА примесных элементов (железа, меди, кобальта, никеля и др.), с использованием полупроводниковых детекторов в сочетании с термохолодильниками.

Аналогичный метод разработан и по урану; метод основан на определении содержания урана в ионообменной смоле путем гамма-абсорбции. Метод позволяет определить содержание урана в интервале 1–70 мг/г с производительностью 70–80 проб в смену. В качестве источника первичного излучения использовали Am^{241} и Co^{57}. Для оперативного контроля процесса экстракции-реэкстракции урана также применяли метод гамма-абсорбции.

С целью получения сернокислого железа или пигмента для лакокраски, с одновременным выходом золотосодержащего кека при процессе переработки магнитной фракции, разработан способ контроля технологического процесса, основанный на экспрессном определении содержания Fe, S, Au методом нейтронной активации с использованием ампульных источников нейтронов.

В ИЯФ АН РУз разработан метод фиксации времени нахождения продуктов в технологических аппаратах. Метод заключается в выборе оптимального радионуклида в качестве метки с учетом ядерно-физических характеристик и химического поведения «радиометки» в конкретных технологических условиях, подготовке «меченой» пробы к исследованию и изучении времени нахождения продуктов в аппаратах путем измерения наведенной активности изотопа радиометрическими приборами.

Для оценки времени нахождения смол (АМП, АМ-2Б и их аналогов) наиболее удобным является использование радионуклида Re^{186} с периодом полураспада 3 дня. Для определения время нахождения пульпы в процессе сорбционного выщелачивания урана и золота лучше всего использовать радионуклиды Cr^{51} и Fe^{59} с периодом полураспада 27,8 и 45,6 дней соответственно.

Для определения коэффициента продольного перемещения песков в пульсационных колоннах наиболее приемлем радионуклид Sc^{46}. Метод опробован и использовался для определения времени нахождения смолы, пульпы на ГМЗ-1, ГМЗ-2 и для определения коэффициента продольного перемещения песков в пульсационной колонне ГМЗ-1.

Успешно применяется методика определения изотопного состава урана методом альфа-спектрометрии для контроля технологического процесса получения закиси-окиси урана, соответствующей техническим условиям.

Попутное извлечение полезных компонентов

Разработана промышленная схема попутного экстракционного извлечения рения из урансодержащих растворов, действующая в течение 1984–1994 гг. В связи с остановкой переработки урановых руд, а также из-за снижения содержания рения в растворах подземного выщелачивания схема была приостановлена.

К числу разработок в данном направлении относится высокоэффективный способ извлечения рения из различных сернокислых и смешанных серноазотнокислых растворов, содержащих уран, молибден, медь и др. Оценена возможность и целесообразность получения аммофоса и диаммофоса с низким содержанием балластных примесей из Джерой-Сардаринских фосфоритов и утилизации балластных примесей с одновременным получением концентратов, содержащих кремний, фтор, уран и редкоземельные элементы. Оценены агрохимические возможности удобрений, полученных для выращивания хлопчатника и бахчевых культур.

Экология, охрана окружающей среды

Для определения концентрации тяжелых элементов в почве, растениях, воде и воздухе применяли метод нейтронно-активационного анализа (НАА) с использованием реактора ВВР-СМ.

Достоинством метода является возможность определения малых и ультрамалых концентраций тяжелых элементов в различных природных объектах.

Проведено исследование по изучению корреляционной связи элементов в почве, растениях, воздухе в городах со специфическим производством. Исследована возможность изучения техногенного влияния ГМЗ-2 на почвенный слой вокруг предприятия. Разработана методика определения валового содержания 30 элементов в почве с использованием нейтронного активационного анализа, которая позволила выявить элементы индикаторов техногенного (As, Ag, Sb, W, Au), промежуточного (скопление локальных минералов, например, Mo, Ba, Hg) и природного (Sc, Fe, Co, Ni, Rb, Cs, РЗЭ, Hf, Th, U) происхождений. Найдены коэффициенты обогащения 22 элементов в почве и составлена карта их распределения в районе ГМЗ-2. Оценено влияние карьера «Мурунтау» на окружающую среду.

Для оценки миграции элементов в подземных водах в районе хвостохранилища изучена анионная, катионная, нейтральная и коллоидная формы нахождения элементов с помощью электродиализа с использованием ядерных фильтров. Для контроля величины форм нахождения золота и железа применяли ионообменные способы с использованием смол типа АМ-2Б и КУ-2. Исследование форм нахождения элементов позволяет сделать заключение, что ряд элементов, например золото, сурьма, хром, могут служить индикаторами-мигрантами при изучении техногенного влияния хвостохранилищ на окружающую среду. Проведенные исследования показали, что в катионной форме находятся Fe, Ce, Eu; в анион-катионной форме – Cr, в анион-нейтральной форме – Se, Ag, Sb, Au; в катион-нейтральной форме – Sc, Cr, Co, Zn.

Ядерно-физический способ мониторинга здоровья сотрудников НГМК

Изменение содержания различных элементов и их соотношений в волосах человека находится в непосредственной связи с жизнедеятельностью организма и является устойчивым индикатором ее нарушений. Анализ позволяет провести оценку сбалансированности элементного и связанных с ним обменных процессов, определить на его основе состояние отдельных органов и систем организма, воздействие на него различных факторов внешней и внутренней среды, а также возможные пути коррекции выявленных нарушений. Проведен анализ волос более 1500 сотрудников комбината, проживающих в пяти городах республики (Зафарабад, Учкудук, Зарафшан, Навои и Нурабад) на содержание 22 элементов.

Изучено изменение содержания элементов в волосах работников в зависимости от условий труда, стажа, возраста и состояния здоровья. Высокая степень достоверности результатов исследования наблюдается при выявлении онкологических, почечных, неврологических, сердечно-сосудистых заболеваний, анемии, гипертонии, диабета и заболеваний щитовидной железы. Предложенный способ можно использовать как дополнительный инструмент при ежегодном медицинском осмотре работников промышленных предприятий.

Перспективы совместных исследований ИЯФ АН РУз и НГМК

На 2018–2021 гг. намечено выполнение следующих совместных работ:

- участие в модернизации установки гамма-активационного анализа Центральной лаборатории гамма-активационного анализа рудника «Мурунтау» НГМК с целью разработки методик многоэлементного гамма-активационного анализа промышленно ценных элементов (серебра, редких и редкоземельных металлов) в геологических пробах, рудах и технологических продуктах переработки руд по гамма-излучению метастабильных состояний атомных ядер;
- усовершенствование и регулярное применение ядерно-физического способа мониторинга здоровья сотрудников НГМК, основанного на нейтронно-активационном определении элементного статуса человека и элементного состава среды обитания работников (условия на производстве, питьевое водоснабжение и т. д.);
- разработка и внедрение методики радиационного упрочнения алмазов буровых инструментов на уникальной гамма-установке ИЯФ АН РУз; предусмотрены и другие направления исследований, ориентированных на ускоренное развитие горно-металлургической промышленности и прикладных наук в Республике Узбекистан.

Заключение

Долголетнее и плодотворное сотрудничество Института ядерной физики АН РУз и Навоийского горно-металлургического комбината является наглядным примером успешного взаимодействия академической науки и производства в решении актуальных технологических и социальных проблем промышленных предприятий Республики Узбекистан.

Библиографический список

1. *Санакулов К. С., Мадаминов Ш. А., Валиев М. В.* Проблемы развития инновационной деятельности Навоийского горно-металлургического комбината. – Бухара : Изд-во «Бухоро», 2011. – 404 с.
2. *Санакулов К. С., Эргашев У. А.* Теория и практика освоения переработки золотосодержащих упорных руд Кызылкумов. – Ташкент : ГП «НИИМР», 2014. – 298 с.
3. *Музафаров А. М., Саттаров Г. С., Кист А. А.* Нейтронно-активационный анализ золота и сопутствующих элементов в технологических продуктах с использованием ^{252}Cf-источника нейтронов // Горный вестник Узбекистана. 2007. № 2(29). С. 92–95.
4. *Санакулов К.* Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства. – Ташкент : Фан, 2009. – 432 с.
5. *Музафаров А. М., Саттаров Г. С., Кист А. А.* Опыт применения ядерно-физических методов в горно-металлургическом производстве // Горный вестник Узбекистана. 2015. № 1(60). С. 120–124. ГЖ