ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

КУРБАНОВ БАХТИЯР ИБРАГИМОВИЧ

ТАРКИБИДАОЛТИН БЎЛГАН МАЪДАНЛАРНИВА РЕНИЙ БЎЛГАН ТЕХНОЛОГИК МАҲСУЛОТЛАРНИ ҚАЙТА ИШЛАШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ТЕЗКОР НЕЙТРОН-РАДИАЦИОН НАЗОРАТ ҚИЛИШ УСЛУБЛАРИ

01.04.01 –Экспериментал физиканинг асбоблари ва усуллари

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент– 2020

УДК 539.106., 543.52., 543.53

Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавлениеавторефератадиссертации доктора техническихнаук (DSc)

Contentofthedissertationabstract ofthe doctor (DSc) on technical sciences

КурбановБахтиярИбрагимович
Таркибида олтин бўлган маъданларнива рений бўлган технологик маҳсулотларни қайта ишлашжараёнларини тезкор нейтрон-радиацион назорат қилиш услублари…… 3

Курбанов Бахтияр Ибрагимович
Экспрессные нейтронно-радиационные способы контроля процессов переработки золотосодержащих руд и ренийсодержащих технологических продуктов…….. 26

Kurbanov Bakhtiyar Ibragimovich
Express neutron-radiation methods of control processes of processing gold-containing ores and rhenium-containing technological products……. 49

Эълон қилинган ишлар рўйхати
List of published works
Список опубликованных работ……..... 57

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

КУРБАНОВ БАХТИЯР ИБРАГИМОВИЧ

ТАРКИБИДА ОЛТИН БЎЛГАН МАЪДАНЛАРНИ ВА РЕНИЙ БЎЛГАН ТЕХНОЛОГИК МАҲСУЛОТЛАРНИ ҚАЙТА ИШЛАШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ТЕЗКОР НЕЙТРОН-РАДИАЦИОН НАЗОРАТ ҚИЛИШ УСЛУБЛАРИ

01.04.01 –Экспериментал физиканинг асбоблари ва усуллари

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент– 2020

Техника фанларидоктори(DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида№B2019.3.DSc/T295рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Ядро физикаси институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.inp.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи: **Садиков Илхам Исмаилович**
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар: **Бахрамов Садулла Абдуллаевич**
физика-математикафанлари доктори, профессор,
Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси академиги

Кулматов Рашид Анорович
кимё фанлари доктори, профессор

Олимов Косим
физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот: **Самарканд давлат университети**

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек қўрғони, Ядро физикаси институти. Тел. (+99871) 289-31-60; факс (+99871) 289-31-19; e-mail: info@inp.uz).

Диссертация билан Ядро физикаси институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақами билан рўйхатга олинган. (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек қўрғони, ЯФИ. Тел. (+99871) 289-31-19).

Диссертация автореферати 2020 йил « » _____ куни тарқатилди.
(2020 йил “____”_____даги _____ рақамли реестр баённомаси).

М. Ю. Ташметов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш раиси, ф.-м.ф.д., профессор

С.Б.Игамов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш илмий котиби,ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

И. Нуритдинов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси,
ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик (DSc)диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда дунёдатехнологик махсулотларни қайта ишлаш жараёнларини аналитик назорат қилишга катта аҳамият қаратилмоқда. Фан ва техника,медицина ва қишлоқ хўжалиги, металлургия ва кимё саноати модданинг фундаментал параметри ҳисобланадиган элементлар таркибини назорат қилмасдан иш фаолияти олиб бора олмайди. Чунки модданинг барча хусусияти ва тузилиши, шунингдек уларда кечадиган физикавий, кимёвий, биологик, техник ва бошқа кўпгина жараёнлар кимёвий элементлар таркибига боғлиқ.

Дунёда хар хил материалларда элементлар таркибини концентрациянинг жуда кенг диапазонида таҳлил қилишга имкон берувчи турли хил усуллар яратилган. Аналитик усуллар орасида алоҳида ўринни элементлар таҳлилининг ядро-физикавий усуллари эгаллайдики, улар инструментал усуллар ҳисобланиб, юқори сезгирликни, селективликни таъминлайди ҳамда аналитик жараённи автоматлаштиришга имкон берадилар. Тезкор ва юқори сезгирликдаги усулларни ишлаб чиқиш соҳасидаги улкан ютуқларга қарамасдан, фаннинг, техниканинг ва ишлаб чиқаришнинг кўпгина муаммолари ҳалигача ҳал этилмасдан қолмоқда. Технологик жараёнларни автоматлаштириш (айниқса кон-металлургия ва кимё саноатида), янги технологиялар яратиш, чиқадиган маҳсулотлар сифатига ва энергетик ҳамда хом – ашьё ресурсларини самарали ишлатишга бўлган талабнинг ошиши билан боғлиқ ҳолда технологик жараёнларни назорат қилиш муаммолари кескин қўйилган.Кўрсатилган муаммоларни ҳал этишда муҳим ўринни нейтронларнинг қамралишида чиқадиган гамма-нурланиш спектрометриясидан фойдаланишга асосланган моддалар элементлари таркибини аниқлашнинг ядро-физикавий усули (нейтрон-радиацион таҳлил усули) эгаллаши мумкин. Ядро-физикавий ва бошқа аналитик усуллар орасида ушбу усул қатор принципиал афзалликларга эга: кўпэлементли, экспресс, масофавий, намуларни бузмасдан таҳлил қилиш.

Ўзбекистон Республикаси кон-металлургия корхоналарида ҳар йили ўнлаб миллион тонна олтин, уран, мис-молибден ва бошқа маъданлар қайта ишланади. Маъданларни қайта ишлашда қўлланилаётган технологияларининг иқтисодий ва ишлаб чиқариш самарадорлиги ҳамда тайёр маҳсулот сифати тўғридан-тўғри аналитик усуллар ва асбобларнинг даражасига боғлиқ. Бундан келиб чиққан ҳолда, кон-металлургия корхоналарининг ишлаб чиқариш қувватини ошириш ва маҳсулот таннархини камайтириш мақсадида технологик жараёнларни назорат қилиш учун аввал ишлаб чиқилган асбоблар ва усулларни такомиллаштириш, ва янги тезкор ва селектив усулларни яратиш бугунги кунда талаб этилаётган ва долзарб муаммолардан ҳисобланади. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Харакатлар стратегиясида[1] технологик

[1]Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги "Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида"ги ФП-4947-сонли Фармони.

махсулотларни қайта ишлаш жараёнларини назорат қилиш услубларини ишлаб чиқиш дастурини бажариш бўйича вазифалар белгиланган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947–сон «Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантириш бўйичаҲаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармонида, 2010 йил 15 декабрдаги ПҚ-1443–сон “2011-2015 йилларда Ўзбекистон Республикаси саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида”ги, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789- сон “Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарорларида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-хуқуқий хужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу илмий – тадқиқот иши муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертациятадқиқоти республика фан ва технологияларни ривожлантиришнингII. «Энергетика, энерготежамкорлик ва мукобил энергия манбалари» ва VII. «Ер ҳақидаги фанлар (геология, геофизика, сейсмология и минерал хом-ашёларни қайта ишлаш)» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи. Нейтронларнинг радиацион қамралишида чиқадиган гамма-нурланиш спектрометриясига асосланган нейтрон-радиацион таҳлил бўйича тадқиқотлар жахоннинг етакчи илмий марказларида, жумладан: Neutron Sciences at Oak Ridge National Laboratory, National Institute of Standarts and Technology, Los Alamos Sciences Laboratory, Laboratory of Radiochemistry and Activation Analisis, University of Missouri, Columbia (АҚШ), Бирлашган ядро тадқиқотлари институти (Дубна ш., Россия), “Курчатов институти” Илмий–тадқиқот маркази (Россия), Nuclear Physics Institute of the Czech Academy of Sciences (Чехия), Institute of Nuclear Physics and Chemistry (Хитой), Москва мухандислик физикаси институти (Россия), УМФА Ядровий тадқиқотлар институти (Украина), Ўз ФА Ядро физикаси институти (Ўзбекистан) ва бошқа илмий ва олий ўқув муассасаларида олиб борилмоқда.

Тезкор жараёнларни технологик назорат қилиш учун нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини аналитик қўллаш бўйича, жумладан руда ва тоғ жинсларини қайта ишлашда National Institute of Standarts and Technology (АҚШ) да 5 дақиқа ўлчаш вақтида асосий элементлар миқдори қониқарли параметрларда аниқланган. Neutron Sciences at Oak Ridge National Laboratory (АҚШ)да элеватор орқали тушаётган буғдой оқимида технологик муҳим элементлар миқдорини аниқлаш учун тадқиқот олиб борилган ва экспериментал қурилма яратилган. Портловчи моддалари бор юкларни аниқлаш мақсадида Бирлашган ядро тадқиқотлари институтида (Дубна ш., Россия) моддалар элементлар таркибини назорат қилиш учун қурилма ва услубият ишлаб чиқилган.

Ҳозирги вақтда нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини фан ва техниканинг турли тармоқларида қўллаш имкониятларини ўрганиш бўйича кўпгина тадқиқотлар олиб борилмоқда ва булар ушбу усулнинг истиқболли эканлигини кўрсатади. Масофадан туриб ва контактсиз моддалар элемент таркиби аниқлаш талаб этиладиган ҳолатларда маҳсулотлар ва технологик жараёнларни назорат қилиш учун ушбу усулдан фойданишга бағишланган қатор тадқиқотлар ўтказилган. Бу тадқиқотлар асосан сочилувчан ва қаттиқ материаллар (масалан, кўмир, буғдой, рудалар) технологик оқимларида элементлар таркибини аниқлашга бағишланган. Биологик объектларда элементлар таркибини тадқиқ этиш алоҳида муҳим ўринни эгаллайди. Бунда олинган натижалар, жумладан "in-vivo" тахлили учун, тиббиёт диагностикасида, онкологик касалликларда нейтрон-қамралиш муолажасини амалга оширишда қўлланилади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.Таркибида олтин, мис-молибден мавжуд бўлган рудаларни қайта ишлаш технологик жараёнларини назорат қилувчи ядро-физикавийуслублар ва қурилмалар яратиш бўйича илмий-тадқиқот ишлари дунё миқъёсидаги йирик олимлар томонидан олиб борилган, жумладан: россиялик (Л.Д.Грошев, А.М.Демидов, Л.П.Старчик, В.И.Гума, Б.Ф.Мясоедов, Ю.Н.Бурмистенко, И.Н.Иванов ва бошқалар), америкалик (F.E.Senftle, R.L.Paul, R.M.Lindstrom, G.L.Molner, A.El-Kady ва бошқалар).

Улар нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллашга асосланган модда элемент таркибини таҳлил қилишнинг ядро-физикавий усулини ривожлантиришга ўз ҳиссаларини қўшганлар. Ушбу олимлар томонидан нейтронларнинг модда билан ўзаро таъсирлашуви, нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясининг фундаментал асослари, қонуниятлари ва принципиал масалалари тадқиқ қилинган. Шунингдек ушбу инструментал методнинг бошқа аналитик методларга нисбатан афзалликлари кўрсатилган. Аммо, муаллифларнинг кўпчилик тадқиқот ишлари ушбу усулнинг фундаментал масалаларига бағишланган бўлиб, амалий тадқиқотлари асосан геологик, археологик намуналарда, тоғ жинсларида элементлар таркибини назорат қилишнинг ядро-физикавий услубларини ишлаб чиқишга, шунингдек кимёвий таркиби ва тузилиши билан бизнинг тадқиқот объектларидан фарқ қиладиган турли саноат маҳсулотларини тадқиқ қилишга бағишланган.

Ўзбекистонлик олимлар (Г.А.Арипов, А.А.Кист, М.М.Усманова, Г.С.Саттаров, С.А.Бакиев, Ш.Х.Хатамов, Р.А.Кулматов, С.М.Мухамедов, Р.А.Хайдаров,А.Г.Ганиев, Т.М.Муминов ва бошқалар) турли хил объектларда, технологик жараёнларда аналитик назоратнинг ядро-физикавий усулларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқот ишлари олиб боришган.Стационар лаборатория шароитида намуналар элемент таркибини таҳлил қилишнинг ядро-физикавий усулларига бағишланган ушбу ишланмалар орасида олтин рудаларини ва таркибида рений бўлган технологик маҳсулотларни қайта ишлаш технологик жараёнларини тезкор назорат қилиш учун экспресс нейтрон-радиацион услублари ва мобил ядро-

физикавий қурилмалари йўқ.

Чет элларда ўтказилган тадқиқотлар тахлили кон-металуригияси ишлаб чиқаришидаги объектларни, шу жумладан таркибида олтин бўлган сульфид рудаларини ва ренийли технологик маҳсулотларни қайта ишлаш жараёнини технологик назорат қилиш учун ядро-физикавий услублар ва портатив радиоизотоп қурилмалари ишлаб чиқиш масалалари етарли даражада ўрганилмаганлигини кўрсатади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Ядро физикаси институти илмий-тадқиқотлар режасининг А-3.1.3.8 - рақамли «Ўзбекистон Республикаси саноат корхоналари технологик чиқиндиларидан қимматли металларни ажратиб олиш услубларини ишлаб чиқиш ва қўллаш, ва уларнинг аналитик назорат усуллари» (2000-2002);П-3.1.4.2 - рақамли «Руда ва технологик маҳсулотларда элементлар таркибини назорат қилишнинг нейтрон-радиацион усулларини ишлаб чиқиш» (2000-2002);П-10-30 - рақамли «Нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш ёрдамида технологик оқимларда (“on-line“) элементларни аниқлашнинг физико-техник ва методик асосларини ишлаб чиқиш» (2003-2005);А-13.084- рақамли «Нейтронларнинг қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси усули билан элементлар таркибини аниқлаш услубини ишлаб чиқиш». (2006–2008); А-13.113 «Рений, олтин ва бошка қимматбаҳо металларни олиш технологик жараёнларини назорат қилиш услубини ишлаб чиқиш» (2006-2008)мавзусидаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади таркибида олтин бўлган сульфид рудаларини ва рений бўлган технологик маҳсулотларни қайта ишлашжараёнларини тезкор нейтрон-радиацион назорат қилиш услубларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясига асосланган элементлар таҳлили усулинирадионуклид нейтрон манбаларидан фойдаланиб технологик назорат учун аналитик имкониятларини кенгайтириш;

таркибида олтин бўлган сульфид рудаларини флотацион бойитиш жараёнидаги технологик маҳсулотларда технологик муҳим элементларни (олтингугурт) ва намликни аниқлаш услубиятларини ишлаб чиқиш ва экспериментал қурилмасини яратиш;

нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаб таркибида олтин бўлган сульфид рудаларини қайта ишлаш технологик жараёнини экспресс назорат қилиш услубини ишлаб чиқиш;

нейтронларнинг қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаб, мис ишлаб чиқаришидаги перренат аммоний олиш жараёнида сорбцион устунларнинг ренийга тўйинганлик даражасини намуна ажратиб олмасдан аниқлаш услубиятини ишлаб чиқиш;

элементлар таркибини таҳлил қилишнинг нейтрон-радиацион ва нейтрон-активацион усулларини биргаликда қўллаш учун экспериментал қурилмани ва услубиятни ишлаб чиқиш;

нейтрон радиацион таҳлил усулини қўллаб тез кечувчи технологик жараёнларда технологик муҳим элементлар миқдорини оқимда аниқловчи анализаторнинг принципиал схемасини яратиш.

Тадқиқотнинг объекти таркибида олтин бўлган сульфид маъданлари, ренийли технологик маҳсулотлар, химконцентратлар, сульфид рудаларини қайта ишлаш технологик маҳсулотлари, флотоконцентратлар ва кон-металлургияси корхоналарининг технологик чиқиндиларидан иборат.

Тадқиқот предметисифатидатаркибида олтин бўлган сульфид маъданларини флотацион бойитиш жараёнини ва ренийли технологик маҳсулотларни қайта ишлаш жараёнини ядро-физикавий усуллардан фойдаланиб аналитик назорат қилиш ҳисобланади.

Тадқиқот усуллари. Нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллашга асосланган элементлар тахлилининг нейтрон-радиацион усули, нейтрон-активацион усули ва ушбу иккита усулни биргаликда қўллаш, шунингдек гамма-спектрларга замонавий компьютерда ишлов бериш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагиилк бор олинган натижалардан иборат:

^{252}Cf - радионуклид нейтрон манбаи асосида экспериментал қурилма ишлаб чиқилган, нейтронлар оқимини оптималлаштиришга имкон берувчи геометрия ва конструкцион материаллар, юқори (3÷10 МэВ) ва оралиқ (0,5÷3 МэВ) энергияли нейтронларни самарали секинлатиш тизими танланган, нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясининг аналитик имкониятларини кенгайтиришга имкон берувчи намуналарни нурлатиш ва гамма-нурланишни ўлчаш режимлари танланган;

нейтронларнинг қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини паст энергияли соҳасини (E < 3 МэВ) қўллаш йўли билан таркибида олтин бўлган сульфид маъданларида ва уларнинг флотацион бойитиш технологик махсулотларида, 10 дақиқа ўлчаш давомида маъданлар ва технологик маҳсулотларда олтингугурт миқдори 0,3% дан 40% гача, намликнинг миқдори 0,2% дан 30% гача бўлган холда, олтингугурт ва намлик миқдорини тезкор аниқлаш услубияти ишлаб чиқилган;

бир вақтда намуналарни секинлаштирилган нейтронлар оқими билан нурлатиш, олтингугурт ва водород ядроларининг нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясига асосланган, таркибида олтин бўлган сульфид маъданларини тезкор нейтрон-радиацион назорат қилиш услуби ишлаб чиқилган;

нейтронларнинг қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаб, мис ишлаб чиқаришидаги перренат аммоний олиш жараёнида, технологик махсулотларда ренийни 15 дақиқа давомида ўлчашдаги аниқлаш чегараси 0,3% дан 10% гача, нисбий хатолик 10% дан ошмаган холда,

сорбцион устунларнинг ренийга тўйинганлик даражасини “on-line” аниқлаш услуби таклиф этилган;

маъданлар ва уларни қайта ишлаш технологик маҳсулотларидаги элементлар таркибини нейтрон-радиацион ва нейтрон-активацион таҳлил қилиш усулларини биргаликда қўллаш учун, 20 дақиқа давомида қўшимча қуйидаги элементларни 10% нисбий хатоликкача аниқлаш имконини берадиган (K-0,2%, Fe-0,4%, Ti-0,3%, Mn-0,2%, Sc-0,4%, Cu-0,2%) экспериментал қурилма ва уни амалга ошириш услубияти ишлаб чиқилган;

нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси бўйича тўхтовсиз технологик оқимларда мураккаб аралашмалар компонентлари концентрацияларини тадқиқ этилаётган намунанинг массаси ёки хажми ва зичлигини ўлчамасдан туриб, аниқлаш услуби ишлаб чиқилган ва у аммоний сульфати $(NH_4)_2SO_4$, аммиакли селитра (NH_4NO_3) ва сув (H_2O) дан иборат аралашма компонентларини аниқлашда қўлланилган, ва ушбу компонентлар концентрацияси эмпирик равишда тузилган формула орқали хисобланган;

нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси бўйича мураккаб таркибли оқимларда модданинг элементлар таркиби «on-line» анализатори принципиал схемаси таклиф этилган, қурилманинг тажриба намунаси ясалган ва тезкор жараёнлардаги технологик оқимларда енгил элементларни (H, S, N, K) аниқлаш услубияти ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

нейтронларнинг қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси усулини технологик жараёнларни назорат қилиш, аниқланадиган элементлар кўламини кенгайтириш ва таҳлилнинг тезкорлигини ошириш учун қўллаш имкониятлари кўрсатилган;

таркибида олтин бўлган сульфид маъданларини қайта ишлаш жараёнида технологик муҳим элементлар концентрациясини аниқлаш услубияти ва экспериментал қурилмаси ишлаб чиқилган ва ГМЗ-1 корхонаси ишлаб чиқаришида қўлланилган;

мураккаб тузилишдаги объектларда элементлар таркибини нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси бўйича аниқловчи «on-line» анализаторнинг ишчи макети йиғилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги параллел экспериментларда хар хил шароитда олинган натижаларнинг хар гал такрорланувчанлиги билан, замонавий усуллар ва ўлчаш асбобларининг қўлланилганлиги, ишлаб чиқилган услубларнинг халқаро стандарт наъмуналар билан солиштирилганлиги, паралелл таҳлиллар ўтказилганлиги ва ҳар хил тадқиқотчилар ва лабораториялар натижаларининг ўзаро солиштирилганлиги билан исботланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий ахамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий ахамияти нейтронлар оқимини самарали секинлаштиришга имкон берувчи оптимал геометрия

танланганидан,^{252}Cf -радионуклид нейтрон манбаи асосидаэкспериментал қурилма ишлаб чиқилганидан ва нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясининг аналитик имкониятлари кенгайтирилганидан, олтин маъданларини ва ренийли технологик маҳсулотларни қайта ишлаш технологик жараёнларини тезкор нейтрон-радиацион назорат қилиш услубларини ишлаб чиқилганлигидан, моддалар элемент таркибини нейтрон-радиацион таҳлил ва нейтрон-активацион таҳлил қилиш усулларини биргаликда қўллаш учун экспериментал қурилма ва услубият ишлаб чиқилганлигидан ҳамда бир вақтда аниқланадиган элементлар сони оширилганидан ва сезгирлиги яхшиланганидан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий ахамияти таркибида олтин мавжуд бўлган маъданлар ва технологик маҳсулотларни қайта ишлаш технологик жараёнларини тезкор назорат қилиш услубларини ва қурилмаларини ишлаб чиқишдан ва мамлакат кон металлургияси саноати ишлаб чиқариш корхоналарида (НКМК ГМЗ-1) қўллашдан, олтин ажратиб олиш самарадорлигини оширишдан ва олтин рудаларини қайта ишлаш хажмини кўпайтиришдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий килиниши.Таркибида олтин бўлган маъданларни ва рений бўлган технологик маҳсулотларни қайта ишлаш жараёнини тезкор нейтрон-радиацион назорат қилиш услубларини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

таркибида олтин бўлган сульфидли маъданларни флотацион бойитиш технологик жараёнидаги технологик муҳим элементларни (олтингугурт) ва намликни тезкор назорат қилиш учун ишлаб чиқилган услубият ва уни амалга ошириш учун экспериментал қурилмаси Навоий кон металлургияси комбинати давлат корхонасининг ГМЗ-1 Кон бошқармаси ишлаб чиқаришида,таркибида олтин бўлган сульфид рудаларини қайта ишлаш жараёнидаги технологик муҳим элементларни тезкор назорат қилиш учун қўлланилган (Навоий кон-металлургия комбинати давлат корхонасининг 04.10.2018йилдаги № 1837-сонли далолатномаси). Илмий натижаларининг қўлланилиши технологик жараённи бошқаришга, олтин рудаларини қайта ишлаш хажмини сезиларли миқдорда оширишга ва олтиннинг ишлаб чиқариш чиқиндисига чиқиб кетишини камайтириш имконини берган;

ишлаб чиқилган олтин рудаларини қайта ишлаш технологик жараёнини тезкор нейтрон-радиацион назорат қилиш услуби Навоий кон-металлургия комбинати давлат корхонасининг ГМЗ-1 Кон бошқармаси ишлаб чиқаришида олтин рудаларини қайта ишлаш жараёнини тезкор назорат қилиш ва бошқаришда қўлланилган (Навоий кон-металлургия комбинати давлат корхонасининг 04.10.2018йилдаги № 1837-сонли далолатномаси). Илмий натижаларининг қўлланилиши таркибида олтин бўлган сульфид рудаларидан олтинни ажратиб олиш самарадорлигини ошириш имконини берган;

нейтронлар оқимини оптималлаштириш бўйича олинган экспериментал натижалар ва нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш бўйича элементлар концентрациясини аниқлаш учун ишлаб чиқилган услубият ФА-

Ф14-Ф068 “ЎзФА ЯФИнинг ВВР-СМ реакторида нейтрон-қамралиш терапияси усулини ривожлантириш учун илмий –техник база яратиш” (2009-2011йй) амалий лойиҳани бажаришда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг05.07.2019йилдаги№ 2/1255-1873 -сонли хати).Илмий натижаларининг қўлланилиши ВВР-СМ реакторида (n,γ) реакцияларини тадқиқ қилишда лаборатория тажрибалари учун қўшимча материал сифатида иссиқ нейтронлар оқими зичлигини ўлчашни оптималлаштириш ва нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш бўйича баъзи элементларни аниқлаш имконини берган;

нейтрон-радиацион ва нейтрон активацион тахлил усулларини биргаликда қўллашда мураккаб объектлар элементлар таркибини аниқлаш учун ишлаб чиқилган услубият А-4.056 “Камбағал рудалар ва чиқиндилардан нодир ва қимматбаҳо металлар ажратиб олишнинг юқори самарадорликли услубларини ишлаб чиқиш учун нейтрон-активацион тахлилни қўллаш” (2006-2008) амалий лойиҳани бажаришда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг05.07.2019йилдаги№ 2/1255-1873 -сонли хати).Илмий натижаларининг қўлланилиши рудалар ва кон-металлургия корхоналари технологик чиқиндиларида нодир ва қимматбахо металлар элементлари гуруҳини тадқиқ этиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси.Диссертацияда келтирилган асосий тадқиқот натижалари 19 та Халқаро ва Республика илмий конференцияларида мухокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 52 та илмий иш чоп этилган, шу жумладан 3 та Ўзбекистон Республикасида патентланган ихтиролар, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган 13 та илмий журналлардаги мақола ва шулардан2 таси халқаро журналдаги мақола.

Диссертация тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш қисми, бешта боб, хулоса, чоп этилган илмий ишлар рўйхати, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертация ҳажми 158 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмидаолиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослигикўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш,

нашр этилган ишларва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

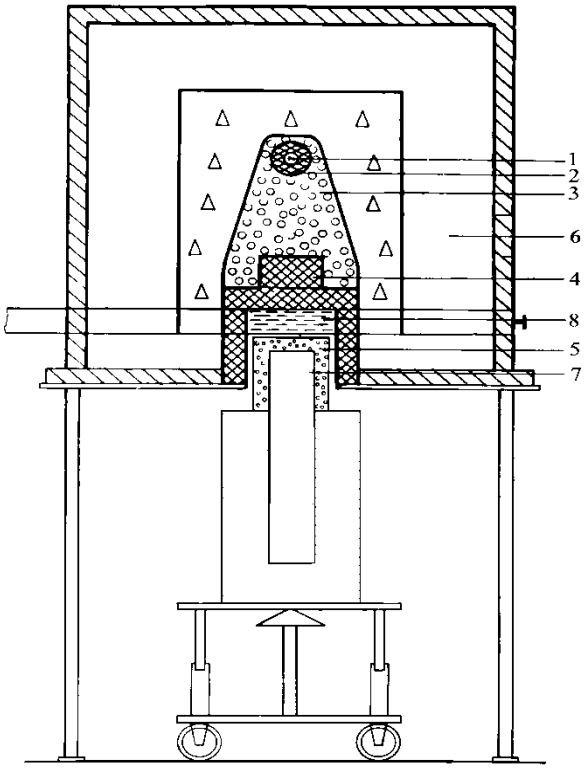
Диссертациянинг **«Технологик маҳсулотларни қайта ишлаш жараёнини аналитик назорат қилишнинг ҳозирги замон ҳолати»** деб номланган биринчи бобида таркибида олтин бўлган сульфид маъданларини ва ренийли технологик маҳсулотларни қайта ишлаш технологик жараёнларини назорат қилиш муаммолари ва вазифалари ёритилган. Элементлар таҳлилининг замонавий усуллари ва уларни олтин маъданларини ва ренийли технологик маҳсулотларни қайта ишлаш технологик жараёнларини назорат қилиш учун қўллашнинг физика-техник имкониятлари батафсил мухокама қилинган. Бу мақсад учун талабга энг яхши жавоб берадиган, нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясига асосланган усул танлангани хар томонлама асослаб берилган. Ушбу усулнинг физика-техник асослари қараб чиқилган ва нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси бўйича элементлар таҳлилининг алоҳида жиҳатлари таснифлаб берилган. Нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси бўйича аналитик мақсадларда дунё миқёсида ўтказилган тадқиқотларнинг замонавий ҳолати таҳлил қилинган ва ечиладиган муаммолар асослаб берилган.

Диссертациянинг **«Таркибида олтин бўлган сульфидли маъданларни қайта ишлаш жараёнинитезкор назорат қилиш учун нейтронларнинг қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси»** деб номланган иккинчи бобида муаллиф томонидан таркибида олтин бўлган сульфидли маъданларни қайта ишлаш жараёнини назорат қилиш учун нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаш имкониятларини тадқиқ қилиш бўйича ўтказилган экспериментал ишлар келтирилган. Мураккаб объектларда элементлар таркибини нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясидан фойдаланиб аниқлаш учун (^{252}Cf)-радионуклид нейтрон манбаи асосида экспериментал қурилма яратиш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган.Таркибида олтин бўлган сульфидли маъданларни флотацион бойитиш жараёнида технологик муҳим элементларни тезкор аниқлаш учун ишлаб чиқилган услубият таснифланган.

Экспериментал тадқиқотларда намуналар гамма-спектрларини ўлчаш ишлари ярим ўтказгичли Ge (Li)-детекторли спектрометрда ва дастурланувчи LP-4900B типли кўп каналли анализатор жамланмасида амалга оширилган. Детекторнинг сезгир кристал хажми 80 см^3, энергетик ажрата олиш қобилияти^{60}Co изотопининг 1333 кэВ энергияли чизиғида 2,5кэВ га тенг.

Таркибида олтин бўлган сульфидли маъданларни флотацион бойитиш технологик жараёни мухокама қилинган ва ушбу маъданларни қайта ишлаш жараёнида технологик параметрларни назорат қилиш учун жойлар аниқланган. Нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланишининг юмшоқ энергияли соҳасини (3 МэВ гача) тадқиқ қилиш учун (^{252}Cf)– радионуклид нейтрон манбаи асосида экспериментал қурилма ишлаб

чиқилган. (1-расмда қурилманинг ён томондан вертикал кесимдаги тасвири келтирилган).



1-Нейтронлар манбаи, 2- юқори энергияли нейтронларни секинлаштиргичи ва манбанинг гамма-нурланишини ютувчиси, 3- енгил элементлардан иборат бўлган нейтронлар секинлаштиргичи, 4-фон гамма-нурларини ютгичи, 5-иссиқ нейтронлар фильтри, 6-биологик ҳимоя, 7- детектор ва қайд қилувчи аппаратура, 8- намуна ушлагич)

1-расм. Экспериментал қурилма

Нейтрон-радиацион таҳлил учун қўлланиладиган қурилма қатор қарама-қарши талабларга жавоб бериши керак. Тадқиқ қилинаётган намунада иссиқ нейтронлар зичлигини максимал қийматда бўлишини таъминлаш учун намунани нейтрон манбаининг яқинида жойлаштириш керак. Аммо бунда гамма-спектрнинг қуйи энергияли соҳасини ўлчаш қийинроқ бўлади, сабаби нейтронлар оқими ҳимоя қатламини кечиб ўтиши натижасида нейтронларнинг қамралишидаги гамма-нурланиш интенсивлиги камайиб кетади. Агарда тадқиқ қилинаётган намунани детектор яқинида, яъни нейтронларнинг чиқарилган оқимида жойлаштирилса, иссиқ нейтронлар оқими зичлиги камаяди. Гамма-нурланиш спектрининг шакли ва фон миқдори қурилмани ясашда қўлланилган конструкцион материалларга жуда боғлиқ. Шунинг учун қурилмани ишлаб чиқишда ўлчаш геометриясини ва конструкцион материалларни танлаш мураккаб масала ҳисобланади. Шунингдек иссиқ нейтронлар оқими зичлиги қийматини ва нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш – аналитик сигналлари ҳамда нейтронлар

секинлаштиргичининг қалинлиги учун оптимал шароитни назарий ҳисоблаш ва моделлаштириш ўта мураккаб.

Юқорида баён этилганларни инобатга олиб, қурилманинг оптимал параметрлари ва ўлчаш геометрияси, иссиқ нейтронлар оқими зичлиги, секинлаштириш тизими эффектив ўлчамлари ва материаллари, 0,025эВ дан 15 МэВ энергиягача бўлган нейтронлар учун қайтаргичлар ўлчамлари муаллиф томонидан тажриба йўли билан топилган.

Таҳлилнинг сезгирлигини ва аниқлигини ошириш, экспериментал қурилманинг нархини пасайтириш, оғирлигини камайтириш, хизмат қилиш муддатини узайтириш мақсадида ^{252}Cf –радионуклид нейтрон манбаини юқори энергияли нейтронларни секинлаштирувчи висмут қатламига жойлаштирилди. Бу ҳолатда висмут бир вақтнинг ўзида ^{252}Cf ядросининг спонтан бўлинишидаги чиқадиган гамма-нурларни ҳам ютиб қолади. Қурилмада нейтронларни қайтарувчи-секинлаштирувчи материалга нисбатан камроқ нейтронлар альбедосига эга бўлган материал секинлаштиргич сифатида фойдаланилди. Ўлчаш вақтида гамма-нурланиш детектори ва тадқиқ қилинаётган намунали кассета умумий висмут қатлами билан ўралган бўлади. Маълумки, унча катта бўлмаган висмут қатламидан ўтган нейтронлар оқимининг катта қисми 1-2МэВ энергиягача секинлашади. Шундай қилиб, радионуклид нейтронлар манбаини оғир элементдан ясалган секинлатгич билан ўраб калифорний манбаининг шахсий гамма-нурланишини сезиларли даражада кучсизлантириш билан бир вақтда, юқори энергияли нейтронларни 1-2МэВ энергиягача самарали секинлатишга эришиш мумкинлиги тажрибада аниқланди ва ундан амалда фойдаланилди. Ундан паст энергияли нейтронлар учун енгил элементлардан ясалган секинлатгичларнинг секинлатиш қобилияти юқори ҳисобланади.

Висмутдан ясалган фильтрдан фойдаланишнинг самарадорлигини тажриба йўли билан таққослаш учун экспериментал қурилмада нейтрон манбаини бир хил шаклдаги ва ўлчамдаги висмут, органик шиша ва парафин стаканларга жойлаб, намуналарнинг гамма-нурланиши спектрининг қуйи энергияли соҳаси ўлчанди. 1-жадвалда баъзи элементларнинг аналитик пиклари юзаси висмутли, парафинли ва органик шишали стаканлардан фойдаланиб ўлчанган натижалар келтирилган.

1-жадвал

Турли хил фильтрларни қўллашда аналитик пиклар юзасини ўлчаш натижалари

Аналитик пиклар, (кэВ)	Парафиндан ясалган фильтр, (имп.)	Органик шиша-дан ясалган фильтр,(имп.)	Висмутдан ясалган фильтр, (имп.)
H- 2223,3	1660	1590	1790
B- 477,6	2470	2385	2620
Mg- 585,1	1260	1210	1290
Cd- 558,5	1850	1760	1980
S- 840,3	980	990	1100

K- 770,4	890	860	1020
Fe- 1725,3	870	840	950
Cu- 608,9	640	620	690

Олтин маъданларида ва уларни қайта ишлаш технологик маҳсулотларида олтингугурт миқдорини нейтрон-радиацион аниқлаш услубияти. Сульфид маъданларини қайта ишлаш технологик жараёнини назорат қилиш учун 0,5 соатгача бўлган вақтда олтингугурт миқдорини аниқлаб берувчи усул талаб этилади. Олтингугурт миқдори бошланғич маъданларда 1% дан 8% гача, флотоконцентратларда 15 % дан 30% гача ва флотация думларида (технологик чиқиндиларда) 0,4% дан 1,0% гача бўлиши кузатилган.

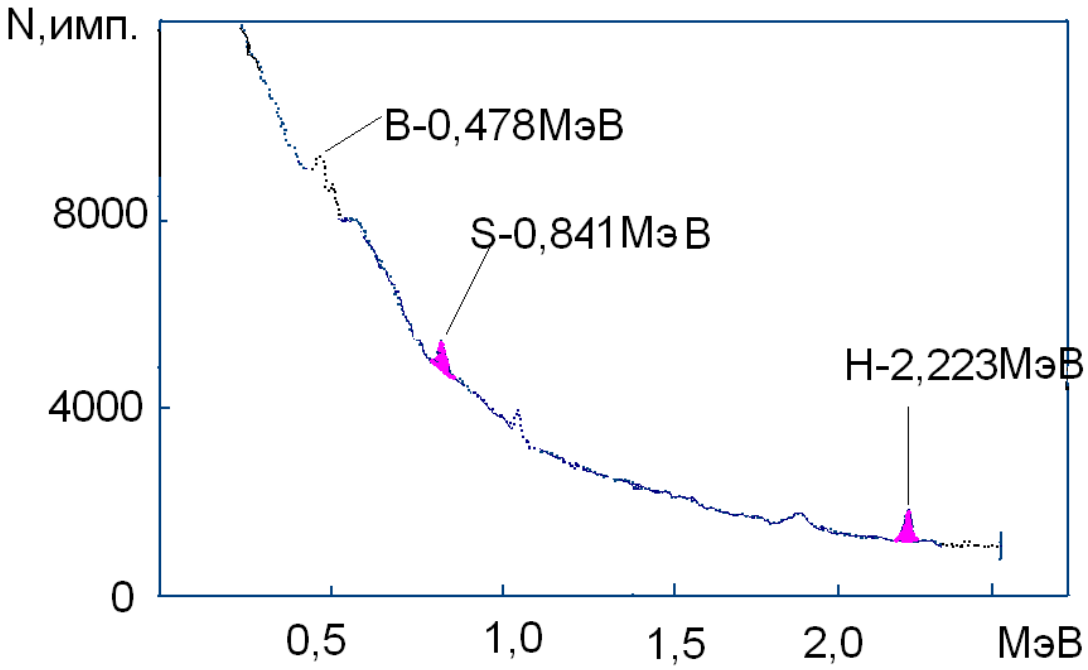
Номаълум намуналарда олтингугурт концентрациясини топиш учун эталон ва тадқиқ қилинаётган намунадаги олтингугурт концентрациясини аналитик сигнал интенсивлиги билан боғловчи соддалаштирилган формуладан фойдаланилган:

$$C_x = C_{эт}(N_\gamma^x/N_\gamma^{эт})(P_{эт}/P_x), \qquad (1)$$

бу ерда C_x и $C_{эт}$ – мос равишда тадқиқ қилинаётган ва эталон намунадаги олтингугурт концентрацияси; N_γ^x и $N_\gamma^{эт}$ - мос равишда тадқиқ қилинаётган ва эталон намунадаги олтингугурт аналитик пикининг юзалари; P_x и $P_{эт}$ - мос равишда тадқиқ қилинаётган ва эталон намуналарнинг массалари.

2-расмда таркибида олтингугурт ва водород бўлган модел намунанинг нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектри келтирилган.

Тадқиқ қилинаётган намуналарда олтингугурт элементи ядросининг 840,3 кэВ энергияли аналитик сигнали интенсивлиги (аналитик пик юзаси) билан олтингугурт концентрацияси орасидаги чизиқли боғланиш аниқланган. Ўтказилган экспериментларда олтин маъданлари ва флотоконцентратларда олтингугурт концентрациясини аниқлашнинг қуйи чегараси аниқланган, у 10% дан катта бўлмаган нисбий хатолик билан ўлчашда 0,3% ни ташкил этган.



2-расм.Таркибида олтингугурт ва водород бўлган намунанинг нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектри

Таркибида олтин бўлган сульфидли маъданларни қайта ишлаш технологик жараёнини назорат қилиш услуби.

Олтин маъданларини бойитишда асосий технологик параметр бўлиб флотация жараёнининг турли босқичларидаги олтингугурт миқдори ҳисобланади.Маъданларни флотацион бойитиш усулида реагентлар бўйича режимлар танланади. Таркибида олтин бўлган сульфидлар(асосан пирит FeS_2ва арсенопирит FeAsS)ни бўш жинслардан ажратиш ва уларни флотациянинг хар хил босқичларида йиғиш учун маъданларни майдалашдан бошлаб, тайёр маҳсулот –флотоконцентрат олгунга қадар керакли реагентлар қўшилади. Шунинг учун бу жараёнда назорат қилиниши керак бўлган асосий технологик параметрлар бўлиб олтингугурт, олтин ва намлик миқдори ҳисобланади. Технологик жараённи назорат қилиш бошланғич хом-ашъё бўлган маъданларда олтингугурт миқдорини аниқлашдан бошланади. Назоратнинг кейинги босқичлари бўлиб 1-чи асосий флотация, 2-чи флотациянинг кўпик маҳсулотлари ва флотацион жараённинг тайёр маҳсулоти – флотоконцентрат ва технологик чиқиндиси – флотация думлари ҳисобланади. Олтин, олтингугурт ва намлик миқдорлари флотация жараёнининг якуний маҳсулоти-флотоконцентратларда назорат қилиниши керак. Технологик жараённи назорат қилиш олтин маъданларини флотацион бойитиш жараёнида сульфидларнинг йиғилишини аниқлаш кўринишида олиб борилади. Жараён давомида сульфидларнинг йиғилиш даражаси тўғрисида экспериментал қурилма ва нейтрон-радиацион услубият ёрдамида аниқланадиган олтингугурт миқдори бўйича хулоса қилинади. Флотация думлари олтинни ажратиб олиниши даражасини билиш учун олтингугурт

миқдори бўйича таҳлил қилинади. Флотация думлари технологик жараённинг охири, яъни ташланадиган қисми хисобланади ва унда олтиннинг миқдори 0,4 г/т дан ошмаслиги керак.

Диссертациянингучинчи **«Мис эритиш ишлаб чиқаришида перренат-аммоний олиш технологик жараёнини назорат қилиш услуби»** деб номланган бобида Олмалиқ кон металлургияси корхонаси (ОКМК) мис эритиш ишлаб чиқаришида рений олиш технологик жараёнини назорат қилиш услубини ишлаб чиқишга бағишланган экспериментал ишларнинг натижалари келтирилган. Технологик чиқиндилардан перренат-аммоний ажратиб олиш жараёнида сорбцион устунларнинг ренийга тўйинишининг тўлиқлигини назорат қилиш услуби ишлаб чиқилган.

Рений нодир элемент ҳисобланиб, ер қобиғида ўз конларига эга эмас. Ўзбекистон Республикасида ренийнинг асосий манбаи бўлиб мамлакатимиз кон металлургия комбинатларидаги (Олмолиқ КМК ва Навойи КМК) мис, мис-молибден ва уран концентратлари ҳисобланади, ва улардан рений йўл-йўлакай ажратиб олинади.

Технологик занжирда назоратни амалга ошириш учун жойларни танлаш ва асослаш.Олмалиқ КМК мис эритиш ишлаб чиқаришидаги технологик чиқиндилардан рений ажратиб олиш технологик жараёнини шартли равишда 4 босқичга бўлиш мумкин: 1) Технологик эритмаларда мавжуд бўлган рений ва бошқа технологик аҳамиятга эга бўлган элементларни ион алмашинувчи смолада танлаб сорбция қилиш; 2) Ион-алмашинувчи смоладан ренийни десорбция қилиш, яъни ренийга тўйинган десорбат олиш; 3) Ренийли эритмалардан молибден ва бошқа элементларни физика-кимёвий таъсир йўли билан ажратиш; 4) Кристаллаш, қуритиш ва тайёр маҳсулот – перренат аммонийни олиш. Таркибида рений бўлган маҳсулотларни қайта ишлашнинг хар бир босқичида рений, молибден ва бошқа элементлар концентрациясини тезкор назорат қилиш талаб этилади.

Лаборатория шароитида сорбцион устунларни акс эттирувчи тажриба устунчаси йиғилди ва нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси бўйича сорбентда рений миқдорини масофадан туриб аниқлашнинг принципиал имкониятлари ўрганилган.

Мис эритиш ишлаб чиқаришидаги ренийли технологик маҳсулотларни нейтрон-радиацион таҳлил қилиш услубияти.Технологик эритмаларда ва сорбциядан кейин тўйинган қаттиқ экстрагентда рений ва бошқа элементларни аниқлаш имконияти нейтрон-радиацион таҳлил усулини қўллаб тадқиқ қилинди. Бунинг учун кам қувватли калифорний (^{252}Cf) – нейтрон манбаи (нейтронлар оқими: $5x10^7$ нейтр./сек) асосидаги экспериментал қурилма ишчи макети йиғилди. Тадқиқ қилинадиган намуна етарли даражада катта хажмда, тахминан 1000см^3 қилиб олинди. Нейтронларни радиацион қамралиш вақтида рений элементининг ядроси мураккаб тузилишдаги207,8 кэВ; 214,7 кэВ; 290,7 кэВ; 316,5 кэВ; 5134,8 кэВ; 5348,7 кэВ; 5910,2 кэВ; 6079,5 кэВ; 6119,8 кэВ энергияли гамма-нурланиш спектрини чиқаради. Аналитик пик сифатида 316,5 кэВ энергияли пикни ишлатиш қулайроқ. Таркибида рений бўлган намуна – қаттиқ

экстрагент 1 кг оғирликда эксперименталқурилманинг иссиқ нейтронлар оқими билан нурлатиш ва бир вақтнинг ўзида нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрини ўлчаш позициясига жойлаштирилди. Намуна сиртида иссиқ нейтронлар оқимининг зичлиги $2x10^4$ нейтр/см^{2}сек ни ташкил этган. Спектрнинг бу соҳасида гамма-фон юқори даражада бўлишига қарамасдан ренийга тегишли бўлган пикни ажратиш мумкин. Тажриба йўли билан ренийга тегишли бўлган аналитик пик юзасининг технологик маҳсулотлардаги рений миқдорига чизиқли равишда боғлиқлиги аниқланди. 20 дақиқалик нурлатиш-ўлчаш режимида рений миқдорини аниқлаш сезгирлиги 120 имп./ % ни ташкил этган.

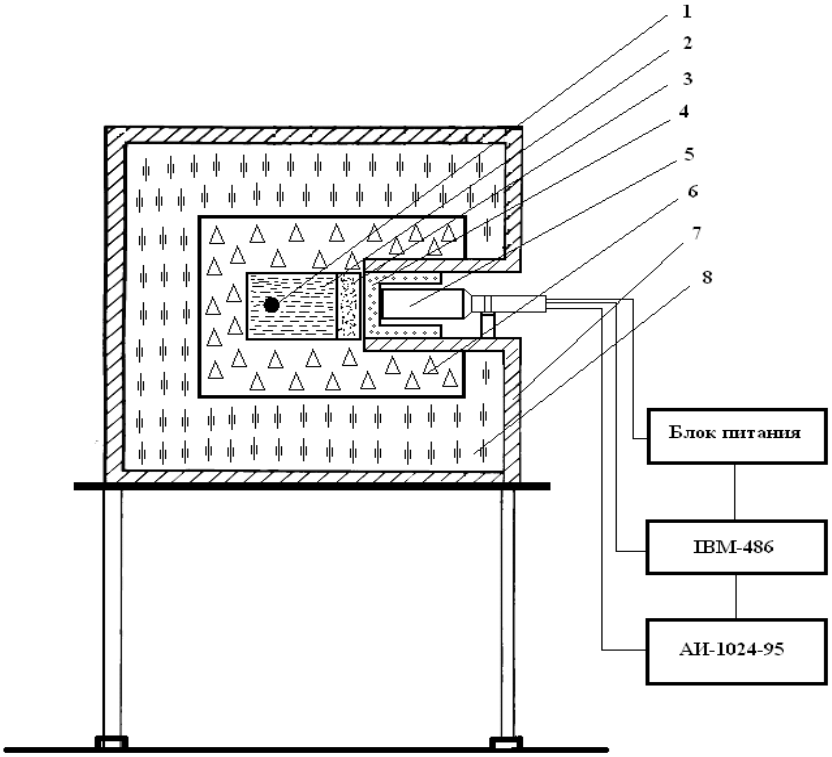
Перренат аммоний олиш жараёнида сорбцион устунларнинг ренийга тўйинганлигини назорат қилиш учун нейтронлар радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаш имкониятларини тадқиқ қилиш.

Сорбцион устунларнинг тўйинганлигини назорат қилиш заруратидан келиб чиқиб, технологик эритмаларда ва сорбциядан кейинги тўйинган қаттиқ экстрагентларда нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаб рений ва бошқа элементлар миқдорини аниқлаш имконияти ўрганилди. Бунинг учун $5x10^7$ нейтр/сек нейтронлар оқимига эга бўлган кам қувватли калифорний (^{252}Cf) –радионуклид нейтрон манбаи асосида эксперименталқурилма ишчи макети йиғилди (3-расм).Эксперименталқурилма қуйидаги қисмлардан иборат: 1-нейтрон манбаи, 2-тадқиқ қилинадиган намуна, 3-секинлатиш тизими, 4-тез нейтронлардан ва тарқалган гамма-квантлардан ҳимоя қилиш тизими, 5-сцинтилляцион NaI(Tl)-детектори, 6-нейтронларни қайтариш тизими, 7-, 8 – ходимларни радиациядан ҳимоя қилиш тизими.

1кг оғирликдаги ренийли намуна – қаттиқ экстрагент эксперименталқурилманинг нурлатиш-ўлчаш позициясига жойлаштирилди ва 20 дақиқа давомида намуна сиртида нейтронлар оқими зичлиги $2x10^4$ нейтр/см^{2}сек бўлганда рений миқдорини аниқлаш учун етарлик статистика олинди.

Мис эритиш ишлаб чиқаришидан олинган сорбентларда рений миқдори 0,3% дан 4,0% гача бўлган оралиқда нейтрон-радиацион усул билан аниқлаш имконияти тажриба йўли билан ўрганилди. 4-расмда рений элементи ядроси чиқарган аналитик сигнал интенсивлигининг сорбент намунасидаги рений концентрациясига боғлиқлик графиги келтирилган.

Шунингдек қурилманинг тадқиқ қилинаётган намуна ўрнида ренийга тўйинган сорбцион устуннинг ўзи жойлашадиган варианти ҳам тадқиқ қилинди. Муаллиф томонидан сорбцион устуннинг ренийга тўйинганлигини назорат қилишга мўлжалланган эксперименталқурилма ишчи макети йиғилган (5-расм). Ушбу вариантда сорбцион устун эксперименталқурилманинг ажралмас қисми сифатида унинг маркизида вертикал ҳолатда жойлаштирилади.

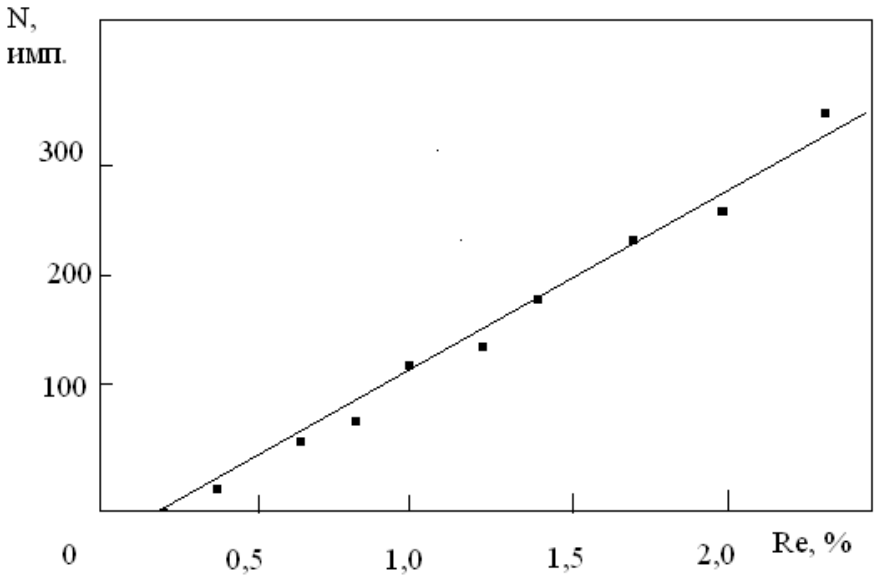


3-расм. Нейтрон-радиацион таҳлил учун экспериментал қурилма

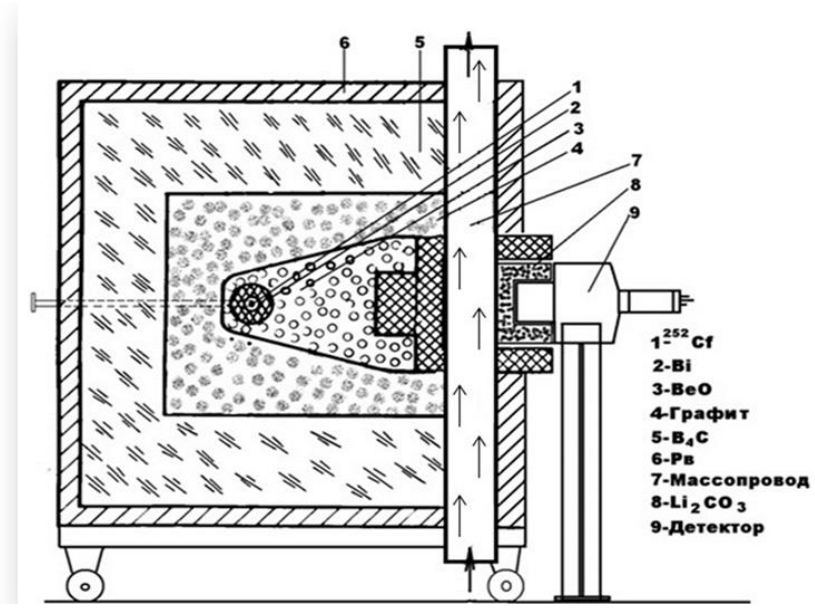
Лаборатория шароитида экспериментал қурилмада рений миқдорини тўйинган сорбентда нейтрон қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси бўйича тезкор аниқлаш имкониятлари ўрганилди. Тажриба йўли билан 20 дақиқа вақт ичида рений миқдорини аниқлашнинг қуйи чегараси 0,3% ёки 3г/кг эканлиги аниқланди. Қаттиқ экстрагент (ТВЭКС) тўлиқ тўйинганида, рений миқдори 4,0% ёки 40 г/кг ни ташкил этади ва бу диапазонда ренийни 1х 10^8 нейтрон/сек қувватдаги нейтрон манбаи асосидаги қурилмада нейтрон-радиацион таҳлил усули ёрдами назорат қилиш мумкин.

Диссертациянинг тўртинчи **«Технологик махсулотларнинг элементлар таркибини нейтрон-радиацион таҳлил (НРТ) ва нейтрон-активацион таҳлил (НАТ) қилиш усулларини биргаликда қўллаш имкониятини тадқиқ қилиш»** деб номланган бобида элементлар таҳлилининг иккита ядро-физикавий усулини: нейтрон-радиацион усул ва нейтрон-активацион усулни қўшиб фойдаланиш имкониятларини тажриба йўли билан тадқиқ қилиш натижалари келтирилган.

Калифорний-252 радионуклид нейтрон манбаи асосидаги экспериментал қурилма ёрдамида аналитик имкониятларни кенгайтириш мақсадида муаллиф томонидан нейтрон радиацион таҳлил(НРТ) ва нейтрон активацион таҳлил(НАТ) усулларини биргаликда ишлатиш имкониятлари ўрганилган.



4-расм. Аналитик сигнал интенсивлигининг рений концентрациясига боғланиш графиги



5-расм. Сорбцион устуннинг ренийга тўйинганлигини аниқлаш экспериментал қурилмаси

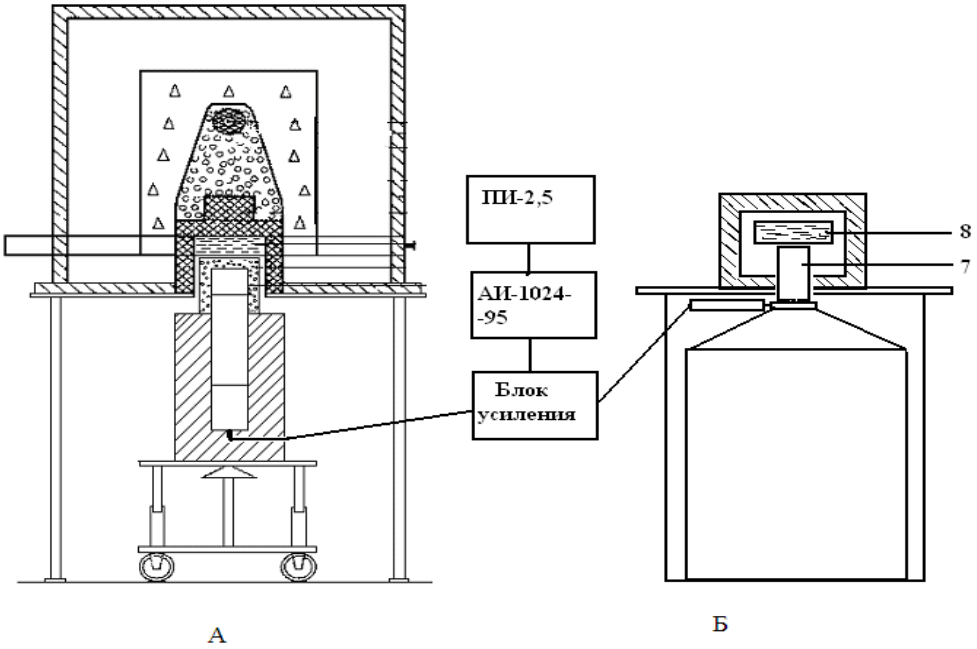
Нейтрон радиацион таҳлил ва Нейтрон активацион таҳлил усулларини биргаликда ишлатиш учун экспериментал қурилма. Бу иккала усулни биргаликда ишлатиш учун муаллиф томонидан $5x10^7$ нейтрон/сек қувватдаги ^{252}Cf –радионуклид нейтрон манбаи асосида экспериментал қурилма йиғилган. 6-расмда экспериментал қурилма схемаси келтирилган

бўлиб, у икки қисмдан иборат: А)Нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини ўлчаш учун қурилма; Б) Намуналардаги қолдиқ активлик гамма-спектрини ўлчаш блоки.

Ўлчаш тизими ярим ўтказгичли Ge(Li)-детектордан (энергетик ажрата олиш қобилияти ^{60}Co изотопининг 1333кэВ энергияли гамма-чизиғида 2,5 кэВ га ва сезгир кристалл ҳажми 80 см^3 га тенг) ва кўпканалли импульслар анализаторидан иборат. Тадқиқ қилинадиган намуналар навбати билан аввал А қисмда нейтронлар оқимида нурлатилади ва нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектри ўлчанади (30 дақиқа давомида), кейин қолдиқ активлик гамма-спектрини ўлчаш учун Б қисмга ўтказилади. Намуна оғирлиги 1200-1400 грамм ва унинг сиртида иссиқ нейтронлар оқими Ф=2 х 10^4 н см$^{-2}$ с$^{-1}$га тенг. Нейтронлар оқимида нурлатиш вақтини 30 дақиқадан 60 дақиқагача оралиқда олинди. Нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектри ўлчаб бўлинганидан кейин тадқиқ қилинаётган намуна қалинлиги 5 см бўлган қўрғошин экран билан хар томонидан ўралган ўлчаш блокига ўтказилди ва унда намунадаги қолдиқ гамма-активлик спектри ўлчанди. Спектрни ўлчаш учун ўлчами 80 см^3 бўлган ярим ўтказгичли Ge(Li)-детектори қўлланилди.

Нейтронларнинг қамралишидаги гамма-нурланиш спектри бўйича қуйидаги элементлар миқдорини аниқлаш мумкинлиги кўрсатилди: H(2223 кэВ); S(840,3 кэВ); Ti(1381,5 кэВ и 1585,3 кэВ); Cu(609 кэВ).Қолдиқ активлик гамма-спектрини идентификация қилиб, намуна таркибида қуйидаги изотопларни миқдорини аниқлаш мумкинлиги кўрсатилди: ^{42}K(1524,7 кэВ); ^{46}Sc(889,2 кэВ и 1120,5 кэВ); ^{51}Ti (928,5 кэВ); ^{59}Fe (1099,2 кэВ и 1291,6 кэВ); ^{101}Mo(1187 кэВ и 1357 кэВ); ^{198}Au (411 кэВ).

Диссертациянинг **«Технологик оқимларда элементлар таркибини нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш ёрдамида«on-line» аниқлашнинг физико-техник ва услубий асосларини ишлаб чиқиш»** деб номланганбешинчи бобида технологик оқимларда ва бошқа тез кечувчи жараёнларда элементлар таркибини назорат қилиш услубиятини яратиш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган.



6-расм. НРТ ва НАТ усулларини биргаликда ишлатиш учун экспериментал қурилма схемаси

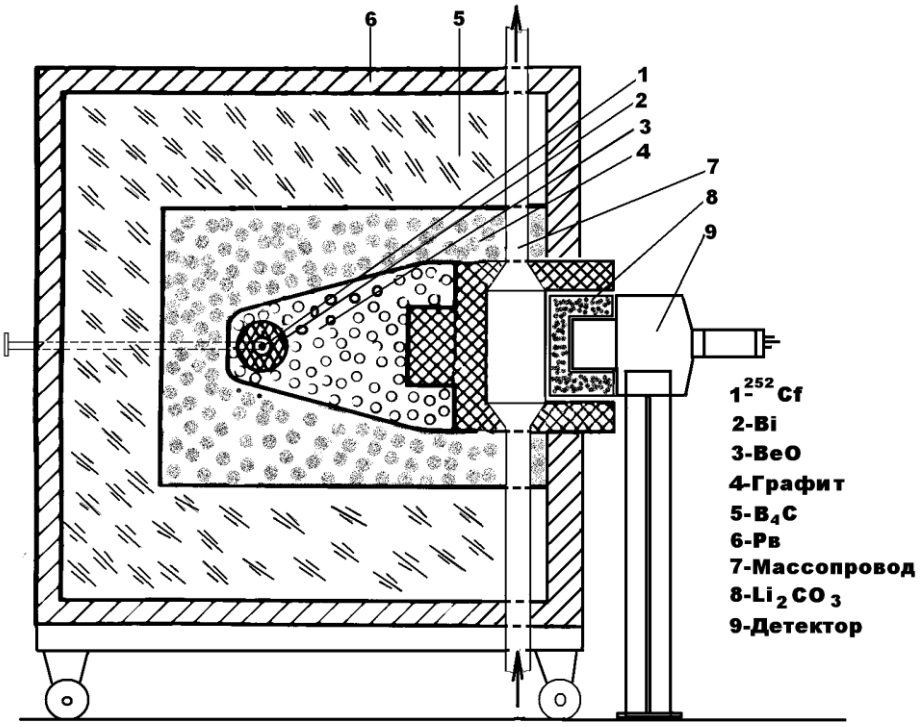
Баъзи енгил элементларни аниқлаш имкониятини ва ядро-физикавий параметрларини ўрганиш.

Енгил элементлар концентрациясини технологик оқимларда аниқлаш учун нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаш физикавий моҳияти бўйича ягона таҳлил усули ҳисобланади. Энг кўп тарқалган усул ҳисобланган –рентген усулини енгил элементларни аниқлаш учун қўллаш имкони йўқ. Яна битта қуйлайлик томони енгил элементларни нейтронлар оқимида нурлатишда узоқ яшовчи радионуклидлар ҳосил бўлмайди. Қуйидаги ядро реакциялари $^{1}H(n,\gamma)D$; $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$; $^{32}S(n,\gamma)^{33}S$ бўйича водород, азот, олтингугурт элементлари концентрациясини аниқлашда ядро реакцияси маҳсулотлари радиоактив эмас. Бор концентрациясини аниқлаш учун $^{10}B(n, \alpha)^{7}Li$ ядро реакциясидан фойдаланиш мумкин. Уйғонган ^{7}Li изотопи бир зумда 478 кэВ энергияли гамма-нурланиш чиқаради ва шу нурланиш интенсивлиги бўйича бор (B) элементи миқдори аниқланади. Ушбу ядро реакциясининг кесими анча катта (σ = 759 барн), демак бор(B)миқдорини юқори сезгирликда аниқлаш имконияти мавжуд.

Шунингдек водород (H) элементи ҳам бошқа усуллар билан аниқлаш учун қийин бўлган элемент хисобланади. Иссиқ нейтронларнинг радиацион қамралишида водород$^{1}H(n,\gamma)D$ реакцияси бўйича ($t \leq 10^{-13}$ сек) вақт ичида 2223кэВ энергияли гамма-нурланиш чиқаради. Ушбу реакциянинг кесимиσ(E) = 332 мбарнга тенг, гамма-квантларнинг чиқиши I_γ = 100%.

Водород пики бўйича намунадаги намлик миқдорини ўлчаш мумкин. Тадқиқ этилган намуналарда намликни аниқлаш диапазони 0,3% дан 30% гача бўлган.

“On-line”анализаторнинг принципиал схемаси. Олинган натижалар асосида муаллиф элементлар таркибини “on-line” аниқлаш бўйича анализаторнинг принципиал схемасини таклиф этган. Тадқиқотлар натижасига кўра “On-line” анализатори қуйидаги қисмлардан иборат (7-расм): 1-нейтрон манбаи (нейтронлар оқими 10^8 нейтр/с.), 2-юқори энергияли нейтронлар фильтри, 3-секинлатиш тизими, 4-тез нейтронлардан ва тарқалган гамма-квантлардан ҳимоя қилиш тизими, 5- , 6- ходимларни ҳимоя қилиш тизими, 7- таркибида водород иштирок этмайдиган материаллардан ясалган (графит, тефлон, фторопласт-4) масса ўтказгич, 8 – детекторни ҳимоя қилиш фильтри, 9- ҳал этиладиган вазифага кўра сцинтилляцион NaI(Tl) ёки яримўтказгичли Ge(Li) детекториқўлланилади. Бундай қурилманинг ўлчамлари олдинги экспериментал қурилмаларни баён этишда келтирилган.



7-расм. “On-line”анализаторининг принципиал схемаси

Муаллиф таклиф этган бундай қурилма иқтисодиёт тармоқларининг кимё саноати, кон-металлургия саноати, қишлоқ хўжалиги соҳасида(оқсил миқдори бўйича буғдой сифатини назорат қилиш) каби тезкор назорат қилиш талаб этиладиган корхоналаридаги вазифаларни ҳал этиш имконига эга. Бундай анализатор бир вақтда мураккаб таркибдаги технологик оқимларда H, S, N, K ва бошқа элементлар концентрацияларини назорат қилиш имконини бериши тажрибада кўрсатилган.

ХУЛОСА

“Таркибида олтин бўлган маъданларни ва рений бўлган технологик маҳсулотларни қайта ишлаш жараёнини тезкор нейтрон-радиацион назорат қилиш услублари” мавзуси бўйича бажарилган техника фанлари доктори (DSc) диссертация тадқиқотларида қуйидаги натижалар олинган:

1.^{252}Cf радионуклид нейтронлар манбаи асосида экспериментал қурилма ясалган, юқори энергияли (3-15МэВ) ва оралиқ энергияли (0,5-3МэВ) нейтронлар оқимини самарали секинлатишга, секинлашган нейтронларни йўналтиришга имкон берувчи оптимал геометрия танланган ҳамда нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясига асосланган усулнинг аналитик имкониятларини кенгайтиришга имкон берувчи намуналарни нурлатиш ва гамма-нурланишни ўлчаш режими топилган (Ишланмага № IDR -04491 ЎзР Патенти олинган);

2.Таркибида олтин бўлган сульфид маъданларини қайта ишлаш технологик жараёнини тезкор назорат қилиш учун нейтронлар радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаш имкониятлари тадқиқ қилинган ва кўрсатилган;

3.Таркибида олтин бўлган маъданларни флотацион бойитиш технологик маҳсулотларида олтингугурт ва намлик миқдорини нейтронларнинг радиацион қамралишилаги гамма-нурланиш қуйи соҳаси (E <3МэВ) спектрометриясини қўллаш йўли билан тезкор аниқлаш учун услубият ишлаб чиқилган, 10 дақиқа ўлчаш вақтида олтингугуртни аниқлаш қуйи чегараси 0,3% ва намликни аниқлаш қуйи чегараси 0,2 % ни ташкил этган, бунда аниқлашнинг нисбий хатолиги 10% гача бўлган;

4.Намуналарни бир вақтда секинлашган нейтронлар оқими билан нурлатиш ва нейтронларни олтингугурт ядросида қамралишида ^{32}S(n, γ) ^{33}S ядро реакциясида хосил бўладиган 840,3 кэВ энергияли ва водород ядросига қамралишида ^{1}H(n,γ)^{2}H ядро реакциясида хосил бўладиган 2223 кэВ энергияли гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаш асосида таркибида олтин бўлган сульфидли маъданларни қайта ишлаш технологик жараёнини назорат қилиш услуби ишлаб чиқилган ва кон-металлургия саноатида (НКМК ГМЗ-1) амалиётга жорий қилинган;

5.Мис эритиш ишлаб чиқаришидаги технологик чиқиндилардан перренат аммоний ажратиб олиш жараёнида сорбцион устунларнинг ренийга тўйинганлигининейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаш орқали“on-line” аниқлаш услуби таклиф этилган. 15 дақиқа ўлчаш давомида технологик махсулотларда рений миқдорини секинлашган нейтронларнинг ўрганилаётган намуналар билан ўзаро таъсирида ^{187}Re(n,γ) ^{188}Re ядро реакциясида хосил бўладиган 316,5 кэВ энергияли пики бўйича аниқлашнинг қуйи чегараси 0,3% ни ташкил этган ва аниқлашнинг нисбий хатолиги 10% гача бўлган;

6.Элементлар таркибини аниқлашнинг нейтрон-радиацион ва нейтрон-активацион таҳлил усулларини биргаликда қўшиб фойдаланиш услубияти ишлаб чиқилган ва бунинг учун экспериментал қурилма йиғилган. Олинган

натижалар маъданлар ва технологик маҳсулотларда бир вақтда аниқланадиган элементлар кўламини сезиларли даражада кенгайтиришга имкон беради.20 дақиқа ўлчаш давомида аниқлаш қуйи чегараси қуйидагича бўлган: H-0,2%, S-0,3%, K-0,2%, Fe-0,4%, Ti-0,3%, Mn-0,2%, Sc-0,4%, Cu-0,2% .Аниқлашнинг нисбий хатолиги 10% гача бўлган.

7.Нейтронларнинг радиацион қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометриясини қўллаб ўрганилаётган моддалар массаси ёки хажми ва зичлигини ўлчамасдан туриб мураккаб аралашмалар ташкил этувчиларининг концентрацияларини аниқлаш услуби ишлаб чиқилган.Ушбу услуб сернокислий аммоний $(NH_4)_2SO_4$, азотнокислий аммоний NH_4NO_3 ва сув H_2O дан иборат бўлган аралашма ташкил этувчилари концентрациясини аниқлашда қўлланилган. (Ишланмага № IDR -05229 ЎзР Патенти олинган);

8.Технологик оқимларда модда элемент таркибини нейтронлар қамралишидаги гамма-нурланиш спектрометрияси бўйича «on-line» анализаторининг принципиал схемаси таклиф этилган ва тезкор технологик оқимда енгил элементлар (H, S, N, K) миқдорини аниқлаш услубияти ва қурилманинг тажриба варианти ишлаб чиқилган.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

КУРБАНОВ БАХТИЯР ИБРАГИМОВИЧ

ЭКСПРЕССНЫЕ НЕЙТРОННО-РАДИАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД И РЕНИЙСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)

Ташкент – 2020

Тема диссертации доктора технических наук (DSc)зарегистрированав Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номеромB2019.3.DSc/T295.

Диссертация выполнена в Институте ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.inp.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант:	**Садиков Илхам Исмаилович** доктор технических наук, старший научный сотрудник
Официальные оппоненты:	**Бахрамов Садулла Абдуллаевич** доктор физико-математических наук, профессор, академик Академии наук Республики Узбекистан
	Кулматов Рашид Анорович доктор химических наук, профессор.
	Олимов Косим доктор физико-математических наук, профессор
Ведущая организация:	**Самаркандский государственный университет**

Защита диссертации состоится «____» _____ 2020 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики (Адрес: 100214, г. Ташкент, пос. Улугбек,ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-18; факс: (+99871)289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрирована за № _____). (Адрес: 100124, г. Ташкент, пос.Улугбек, ИЯФ; тел.: (+99871) 289–31–19).

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2020 г.
(протокол рассылки № _____ от _____ 2020 г.).

М. Ю. Ташметов
Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

С.Б.Игамов
Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

И. Нуритдинов
Председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора наук (DSc)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире аналитическому контролю процессов переработки технологических продуктов уделяется большое внимание.Наука и техника, медицина и сельское хозяйство, металлургическая и химическая промышленность не обходятся без контроля элементного состава, который является фундаментальным параметром вещества, от которого зависят все свойства и структура, а также характер физических, химических, биологических, технологических и других процессов, протекающих в них.

В мире на сегодняшний день разработаны разнообразные методы анализа элементного состава, позволяющие определять элементы в различных материалах в очень широком диапазоне концентраций. Среди аналитических методов особое место занимают ядерно-физические методы элементного анализа, которые являются инструментальными (неразрушающими) методами и обеспечивают высокую чувствительность, селективность, и позволяют автоматизировать аналитический процесс. Несмотря на большие достижения в области разработки экспрессных и высокочувствительных методов, многие проблемы науки, техники и производства все ещё остаются нерешенными. Остро встают проблемы контроля технологических процессов (особенно в горно-металлургической и химической промышленности), связанные с созданием АСУ ТП, новых технологий, возрастанием требований к качеству выпускаемой продукции и эффективному использованию энергетических и сырьевых ресурсов. Важное место в решении указанных проблем может занимать ядерно-физический метод анализа элементного состава вещества, основанный на использовании спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата (нейтронно-радиационный метод анализа). Данный метод, обладает рядом принципиальных преимуществ, таких как многоэлементность, экспрессность, глубинность, дистанционность, неразрушаемость элементного анализа.

В Республике Узбекистан горно-металлургическими предприятиями ежегодно перерабатываются десятки миллионов тонн золотосодержащих, урансодержащих, медно-молибденовых и других руд, в которых экономическая и производственная эффективность напрямую зависит от уровня аналитических методов и приборов. Исходя из этого, усовершенствование ранее разработанных и разработка новых эффективных, экспрессных и селективных методов и устройств контроля технологического процесса с целью повышения производительности и снижения себестоимости продукции в горно-металлургических предприятиях, на сегодняшний день являются востребованными и актуальными проблемами. В Стратегии[2] действий по дальнейшему развитию Республики

[2]Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию РеспубликиУзбекистан» от 07 февраля 2017 г.

Узбекистанопределены задачи для выполнения программы по разработке и внедрению в производство способов контроля процессов переработки технологических продуктов.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам, предусмотренным в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.» от 7 февраля 2017 года, в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-1442 «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 гг.»от 15 декабря 2010 года, № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности»от 17февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в Республике Узбекистан:II.«Энергетика, энергосбережение и возобновляемые источники энергии» и VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации.Исследования по нейтронно-радиационному анализу, основанному на спектрометрии мгновенного гамма-излучения радиационного захвата нейтронов, проводятся в ведущих научных центрах мира, таких как Neutron Sciences at Oak Ridge National Laboratory, National Institute of Standarts and Technology, Los Alamos Sciences Laboratory, Laboratory of Radiochemistry and Activation Analisis, University of Missouri, Columbia (США), Объединенный институт ядерных исследований (г.Дубна, Россия), Научно-исследовательский центр «Курчатовский институт» (Россия), Nuclear Physics Institute of the Czech Academy of Sciences (Чехия), Institute of Nuclear Physics and Chemistry (Китай), Московский инженерно-физический институт (Россия), Институт ядерных исследований НАНУ (Украина), Институт ядерной физики АН РУз (Узбекистан) и других научных и образовательных учреждениях.

По аналитическому использованию спектрометрии гамма-излучения нейтронного захвата для технологического контроля быстропротекающих процессов, в частности при переработке руд и горных пород проведены исследования в National Institute of Standarts and Technology (США), где за время измерения 5 мин экспрессно определяли содержание основных элементов с удовлетворительными параметрами. В Neutron Sciences at Oak Ridge National Laboratory (США) исследована и создана экспериментальная установка по определению технологически важных элементов на потоке зерна при спуске через элеватор. В целях выявления взрывоопасных грузов в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна, Россия)

разработана методика и создана установка по контролю элементного состава вещества.

В настоящее время интенсивно ведутся исследования возможностей использования спектрометрии гамма-излучения захвата нейтронов в различных отраслях науки и техники, что показывает перспективность этого метода. Были попытки применения данного метода для контроля технологических процессов и продуктов, где требуется дистанционно и без контакта проводить анализ элементного состава вещества. В основном эти исследования посвящены определению элементного состава технологических потоков сыпучих и твердых материалов (например, угля, зерна, руды). Особый интерес представляют исследования элементного состава биологических объектов. Полученные при этом результаты используются, в том числе в “in-vivo” анализе, для медицинской диагностики, нейтронно-захватной терапии онкологических болезней и т.д.

Степень изученности проблемы. В настоящее время научными исследованиями по разработке ядерно-физических методик и установок для контроля элементного состава втехнологических продуктах при переработке золотосодержащих, сульфидных, медно-молибденовых рудзанимаются многие ученыеведущих научных центров мира,например, российские(Грошев Л.Д., Демидов А.М., Старчик Л.П.,Гума В.И., Мясоедов Б.Ф., Бурмистенко Ю.Н., Иванов И.Н. и др.), американские (El-Kady A., Senftle F.E., Paul R.L., Lindstrom R.M., Molner G.L.) и др.

Ими исследованы фундаментальные основы, закономерности и принципиальные вопросы спектрометрии гамма-излучения нейтронного захвата и аналитический контроль элементного состава на этой основе. Также показаны преимущества данного инструментального метода по сравнению с другими аналитическими методами. Однако большинство исследований авторов посвящались фундаментальным вопросам данного метода и разработке различных методик контроля элементного состава геологических проб и руд, археологических объектов, а также исследованию различных промышленных продуктов, которые отличаются химическим составом и структурой от наших исследуемых объектов.

Узбекистанскими учеными(Арипов Г.А., Кист А.А., Усманова М.М., Саттаров Г.С., Бакиев С.А., Хатамов Ш.Х., Кулматов Р.А., Мухаммедов С.М., Хайдаров Р.А., Ганиев А.Г., Мўминов Т.М. и др.) разработаны ядерно-физические методики аналитического контроля различных технологических процессов.В этих разработках, посвященных в основном ядерно-физическим методам анализа образцов в стационарных лабораторных условиях, отсутствуют экспрессные нейтронно-радиационные способы и мобильные ядерно-физические установки для контроля технологических процессов переработки золотосодержащих руд и ренийсодержащих технологических продуктов. Анализ литературы по зарубежным и отечественным исследованиям показал, что разработка экспрессных способов и портативных приборов для контроля процессов переработки золотосодержащих руд и ренийсодержащих технологических продуктов

является недостаточно изученной и актуальной проблемой.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских проектов Института ядерной физики по темам: А-3.1.3.8.«Разработка и внедрение способов извлечения ценных металлов из технологических отходов промышленных предприятий Республики Узбекистан и методы их аналитического контроля» (2000-2002); П-3.1.4.2 «Разработка нейтронно-радиационных методов контроля элементного состава руд и технологических продуктах» (2000-2002);П-10.30 «Разработка физико-технических и методических основ определения элементов в технологических потоках (“on-line“) с помощью гамма-излучения нейтронного захвата» (2003-2005);А-13.084 «Разработка способов определения содержания элементов методом спектрометрии гамма-излучения нейтронного захвата»(2006–2008); А-13.113«Разработка способа контроля технологического процесса получения рения, золота и других драгоценных металлов» (2006-2008).

Целью исследования является разработка экспрессных нейтронно-радиационных способов контроля процессов переработки сульфидных золотосодержащих руд и ренийсодержащих технологических продуктов.

Задачи исследования:

расширение аналитических возможностей метода элементного анализа, основанного на спектрометрии мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов для технологического контроля с использованием радионуклидных источников нейтронов;

создание экспериментальной установки и разработка методики экспрессного определения технологически важных элементов (серы) и влажности в технологических продуктах при флотационном обогащении сульфидных золотосодержащих руд;

разработка способа экспрессного контроля технологического процесса переработки сульфидных золотосодержащих руд с использованием спектрометрии мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов;

разработка методики определения полноты насыщения сорбционных колонок рением без отбора пробы, при получении перрената аммония в медеплавильном производстве, с использованием спектрометрии гамма-излучения захвата нейтронов;

создание экспериментальной установки и разработка методики для комбинированного использования методов нейтронно-радиационного и нейтронно-активационного анализа элементного состава;

создание принципиальной схемы поточного анализатора технологически важных элементов в быстропротекающих технологических процессах с использованием нейтронно-радиационного анализа.

Объектом исследования являются сульфидные золотосодержащие руды, рений и медьсодержащие технологические продукты, химконцентраты, технологические продукты переработки сульфидных руд и

технологические отходы горно-металлургических предприятий.

Предметом исследования является аналитический контроль процессов флотационного обогащения сульфидных золотосодержащих руд и переработки ренийсодержащих технологических продуктов медеплавильного производствас использованием ядерно-физических методов.

Методы исследования. Нейтронно-радиационный метод исследования, основанный на использовании спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата и нейтронно-активационный метод исследования элементного состава вещества, комплексирование этих двух методов, а также методов компьютерной обработки гамма-спектров.

Научная новизна исследования заключается в следующих результатах, полученных впервые:

создана экспериментальная установка на основе радионуклидного ^{252}Cf - источника нейтронов, выбраны оптимальная геометрия и конструкционные материалы установки, система замедления нейтронов высокой (3-:-10 МэВ) и промежуточной (0,5-:-3 МэВ) энергии, позволяющие эффективно оптимизировать поток нейтронов для применяемого источника, установлены режимы облучения образцов и измерения гамма - излучения, позволяющие расширить аналитические возможности метода нейтронно-радиационного анализа;

разработана методика экспрессного определения содержания серы и влажности в рудах и технологических продуктах флотационного обогащения сульфидных золотосодержащих руд, с использованием спектрометрии низкоэнергетической области (E < 3 МэВ) мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов, позволяющая определять за 10 минут содержание серы в пределах от 0,3% до 40,0% и влажность - от 0,2% до 30%;

разработан экспрессный нейтронно-радиационный способ контроля технологического процесса флотационного обогащения сульфидных золотосодержащих руд, основанный на одновременном облучении исследуемого образца потоком замедленных нейтронов и спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата ядрами серы и водорода, с последующим определением содержания серы и влажности;

предложен способ “on-line” определения полноты насыщения сорбционных колонок рением при получении перрената аммония из технологических отходов медеплавильного производства по спектрометрии гамма-излучения захвата нейтронов с диапазоном определения содержания рения в технологических продуктах 0,3 - 10,0%за время измерения 15 минут;

разработана методика и создана экспериментальная установка для комбинированного использования методов нейтронно-радиационного и нейтронно-активационного анализа элементного состава в рудах и технологических продуктах их переработки, которые позволяют дополнительно определить за 20 минут измерения следующие элементы с чувствительностью: K-0,2%, Fe-0,4%, Ti-0,3%, Mn-0,2%, Sc-0,4%, Cu-0,2% с относительной погрешностью не более 10%.

разработан способ определения концентрации компонентов сложных смесей на потоке без измерения массы или объема и плотности исследуемого вещества по спектрометрии гамма-излучения нейтронного захвата, который реализован при определении компонентов смесей, состоящих из сернокислого аммония – $(NH_4)_2SO_4$, азотнокислого аммония – NH_4NO_3 и воды – H_2O, а концентрация этих компонентов вычисляется по формуле, составленной эмпирическим путём;

предложена принципиальная схема «on-line» анализатора элементного состава вещества на технологическом потоке по спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата, создан экспериментальный вариант установки и разработана методика поточного определения легких элементов (H, S, N, K) в быстропротекающих процессах.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

показаны возможности применение метода нейтронно-радиационного анализа для контроля технологических процессов, увеличения круга одновременно определяемых элементов и повышении экспрессности анализов;

разработаны и использованы экспериментальная установка и методика определения технологически важных элементов при переработке сульфидных золотосодержащих руд на производстве ГМЗ-1;

собран рабочий макет «on-line» анализатора для определения элементного состава вещества в сложных объектах по спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата.

Достоверность результатов исследования обосновывается воспроизводимостью результатов полученных в параллельных экспериментах в различных условиях, использованием современных методов и средств измерений, сравнительным анализом разработанных методик со стандартными образцами золотосодержащих и медьсодержащих руд, проведением параллельных анализов и сопоставлением данных различных исследователей.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в оптимизации геометрии измерения и параметров экспериментальной установки на основе радионуклидного источника нейтронов, улучшении чувствительности и увеличении количества одновременно определяемых элементов по методу НРА, разработке экспрессных способов контроля технологических процессов переработки золотосодержащих руд и ренийсодержащих технологических продуктов по спектрометрии мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов, комбинировании методов НРА и НАА элементного состава и в создании экспериментальной установки для их осуществления.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке и внедрении в производстве горно-металлургической промышленности республики (ГМЗ-1 НГМК) экспериментальной установки и методики экспрессного определения содержания технологически важных

элементов (сера) и влажности в технологических продуктах флотационного обогащения, и способа контроля технологического процесса переработки золотосодержащих руд, повышении эффективности извлечения золота и увеличении объемов переработки золотосодержащих руд.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по разработке экспрессных способов контроля процессов переработки золотосодержащих руд и рений содержащих технологических продуктов:

разработанные экспериментальная установка и методика для экспрессного определения концентрации технологически важных элементов (серы) и влажности в технологических продуктах переработки сульфидных золотосодержащих руд использованы в производстве Рудоуправления «ГМЗ-1» ГП «Навоийский ГМК» для оперативного контроля технологически важных элементов в процессе переработки сульфидных золотосодержащих руд (акт внедрения НГМК № 1837 от 04.10.2018 г.). Использование научных результатов позволило управлять процессом и существенно увеличить объемы переработки золотосодержащих руд и уменьшить потери золота;

разработанный экспрессный нейтронно-радиационный способ контроля технологического процесса переработки золотосодержащих руд использован в производстве Рудоуправления «ГМЗ-1» ГП «Навоийский ГМК» для оперативного контроля и управления технологическим процессом переработки сульфидных золотосодержащих руд (акт внедрения НГМК № 1837 от 04.10.2018г.). Использование научных результатов позволило повысить эффективность извлечения золота из сульфидных золотосодержащих руд;

экспериментальные результаты по оптимизации нейтронных потоков и разработанная методика определения концентрации элементов по мгновенному гамма-излучению захвата нейтронов были использованы в рамках прикладного проекта ФА-Ф14-Ф068 «Создание научно-технической базы для развития метода нейтрон-захватной терапии на реакторе ВВР-СМ ИЯФ АН РУз» (2009-2011) (Письмо Академии наук Республики Узбекистан № 2/1255-1873 от 05.07.2019г.). Использование научных результатов как вспомогательного материала при проведении лабораторных экспериментов позволило оптимизировать измерения плотности потока тепловых нейтронов при исследовании (n,γ) реакций на реакторе ВВР-СМ и определить некоторые элементы по мгновенному гамма-излучению радиационного захвата нейтронов;

разработанная методика определения элементного состава сложных объектов при комбинировании нейтронно-радиационного и нейтронно-активационного методов анализа была использована в рамках прикладного проекта А-4.056 «Применение нейтронно-активационного анализа для разработки высокоэффективных способов извлечения благородных и редких металлов из бедных руд и отходов»(2006-2008) (Письмо Академии наук РУз, №2/1255-1873от 05.07.2019г.). Использование научных результатов

позволило исследовать элементный состав группы благородных и редких металлов в рудах и технологических отходах горно-металлургических предприятий.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 19 Международных и республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации получены 3 патента Республики Узбекистан, опубликованы52 научные работы, из них 13 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из которых2 статьи в зарубежных научных журналах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 158 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

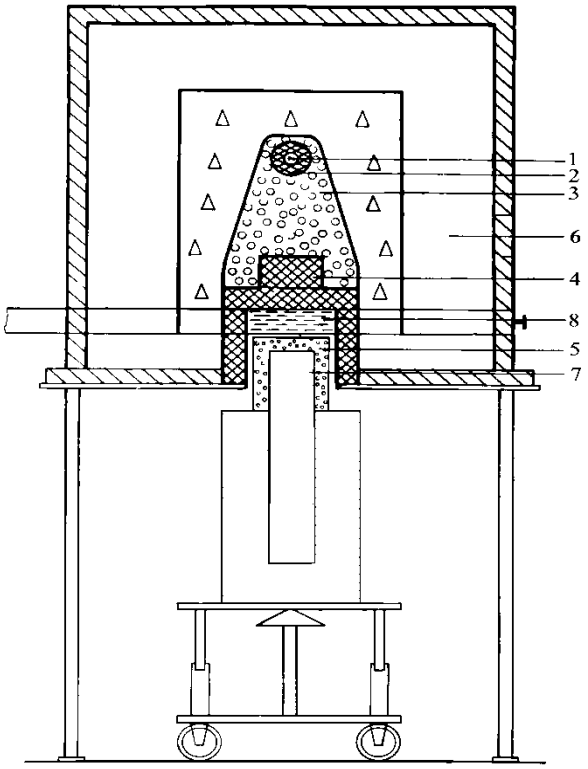
В первой главе **«Современное состояние аналитического контроля процессов переработки технологических продуктов»** рассматриваются вопросы и проблемы контроля технологических процессов переработки сульфидных золотосодержащих руд и ренийсодержащих технологических продуктов. Детально обсуждаются современные методы элементного анализа и физико-технические возможности их применения для контроля технологических процессов переработки золотосодержащих руд и ренийсодержащих технологических продуктов. Обосновывается выбор наиболее подходящего для этой цели метода, основанного на спектрометрии мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов. Рассматриваются физико-технические основы этого метода и характеризуются особенности элементного анализа по спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата. Проведен анализ современного состояния исследований по спектрометрии гамма-излучения захвата нейтронов в аналитических целях во всем мире и обоснованы решаемые проблемы.

Во второй главе диссертации «**Спектрометрия гамма-излучения нейтронного захвата для экспрессного контроля технологического процесса переработки сульфидных золотосодержащих руд**» рассмотрены

проведенные автором экспериментальные работы по исследованию возможности применения спектрометрии мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов для контроля переработки сульфидных золотосодержащих руд. Приводятся результаты исследований по созданию экспериментальной установки на базе радионуклидного (Cf^{252})-источника нейтронов для определения элементного состава сложных объектов по спектрометрии мгновенного гамма-излучения радиационного захвата нейтронов. Описаны разработанные методики экспрессного определения технологически важных элементов при флотационном обогащении сульфидных золотосодержащих руд. В экспериментальных исследованиях измерения γ-спектров образцов проводились на полупроводниковом спектрометре с Ge (Li)-детектором с чувствительным объемом кристалла 80 $см^3$ (разрешающая способность 2,5 кэВ по линии изотопа ^{60}Co с энергией 1333 кэВ) в комплекте с программируемым многоканальным анализатором типа LP-4900B.

Обсуждается технологический процесс флотационного обогащения сульфидных золотосодержащих руд и определяются точки контроля технологических параметров в ходе процесса переработки этих руд. Разработана экспериментальная установка на базе радионуклидного (^{252}Cf)–источника нейтронов для исследования низкоэнергетической области (до 3 МэВ) гамма-спектра захвата нейтронов (рис.1, вид сбоку в вертикальном разрезе).

Устройство для осуществления нейтронно-радиационного анализа должно отвечать ряду противоречивых требований. Чтобы получить максимальную плотность потока тепловых нейтронов на исследуемом образце, необходимо его разместить вблизи источника нейтронов. Однако при этом трудно измерять низкоэнергетическую область гамма-спектра, так как в результате прохождения нейтронов через слой защиты теряется интенсивности гамма-излучения захвата нейтронов.



1 - источник нейтронов, 2-предварительный замедлитель и поглотитель гамма-квантов источника,3 - замедлитель из материала, содержащего легкие элементы, 4 - поглотитель фоновых гамма–квантов, 5 - фильтр тепловых нейтронов, 6 - биологическая защита, 7 - детектор и регистрирующая аппаратура, 8 -прободержатель

Рис.1. Экспериментальная установка

Если исследуемый образец расположить вблизи детектора, т.е. на выведенном пучке нейтронов, уменьшится плотность потока тепловых нейтронов. Вид спектра гамма-излучения и значения фона сильно зависят от применяемого конструкционного материала. Также сложно моделировать и теоретически подсчитать условия для оптимальной плотности потока тепловых нейтронов и аналитических сигналов – гамма-излучения захвата нейтронов, а также толщину замедлителей нейтронов.

В связи с вышеизложенным, геометрия измерения и оптимальные параметры установки найдены автором исключительно путём экспериментальных измерений всех параметров: плотности потока тепловых нейтронов, эффективных размеров образца и биологической защиты, и материалов системы замедлителей и отражателей нейтронов в энергетическом диапазоне от теплового (0,025эВ) до 15 МэВ.

С целью повышения чувствительности и точности анализа, снижения стоимости экспериментальной установки (материалоемкости, повышения срока службы детектора, снижения веса) источник нейтронов ^{252}Cf заключили в висмутовый предварительный замедлитель быстрых нейтронов, который в то же время поглощает гамма-излучение, сопровождающее спонтанное деление ядра ^{252}Cf. В качестве замедлителя использован

материал из легких элементов, имеющий меньшее, чем материал отражателя-замедлителя, альбедо нейтронов. Детектор гамма-излучения и кассета с образцом окружены общим висмутовым фильтром. Известно, что, проходя через сравнительно небольшой слой висмута, значительная часть нейтронов замедляются до энергии 1-2 МэВ. Таким образом, окружив радионуклидный источник нейтронов предварительным замедлителем, изготовленным из тяжелого элемента, наряду с существенным ослаблением собственного гамма-излучения источника, возможно и добиться эффективного замедления быстрых нейтронов до невысокой энергии (1-2 МэВ), ниже которой замедляющая способность легких элементов высока.

Для экспериментального сравнения эффективности использования висмутового фильтра, в который заключен источник, с помощью устройства была измерена низкоэнергетическая область гамма-спектра образца при заключении источника нейтронов в фильтры идентичной формы и размеров из висмута, парафина и оргстекла, при одной и той же геометрии измерения. В таблице 1 приводятся площади аналитических пиков некоторых элементов при использовании фильтров из висмута, парафина и оргстекла.

Таблица 1

Результаты измерения площади аналитических пиков при использовании различных фильтров

Аналитические пики, (кэВ)	Фильтр из парафина, (имп.)	Фильтр из оргстекла,(имп.)	Фильтр из висмута, (имп.)
H- 2223,3	1660	1590	1790
B- 477,6	2470	2385	2620
Mg- 585,1	1260	1210	1290
Cd- 558,5	1850	1760	1980
S- 840,3	980	990	1100
K- 770,4	890	860	1020
Fe- 1725,3	870	840	950
Cu- 608,9	640	620	690

Методика нейтронно-радиационного определения содержания серы в золотосодержащих рудах и технологических продуктах их переработки.

Для контроля технологического процесса переработки сульфидных руд требуется метод, позволяющий определить содержание серы за время не более 0,5 часа. При этом концентрация серы в исходной руде в пределах от 1% до 8%, во флотоконцентратах -от 15% до 30% и в хвостах флотации в пределе от0,4% -1,0%.

Для нахождения концентрации серы в неизвестном образце использовали упрощенную формулу, связывающую концентрацию серы и интенсивность аналитического сигнала эталонного и исследуемого образцов:

$$C_x = C_{эт}(N_\gamma^x/N_\gamma^{эт})(P_{эт}/P_x) \quad (1)$$

где C_x и $C_{эт}$ - концентрация серы в исследуемом и эталонном образцах, соответственно; N_γ^x и $N_\gamma^{эт}$ -площади аналитического пика серы в исследуемом и эталонном образцах, соответственно; P_x и $P_{эт}$-масса исследуемого и эталонного образцов, соответственно.

На рисунке 2 приводится спектр мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов модельного образца, который содержит серу и водород.

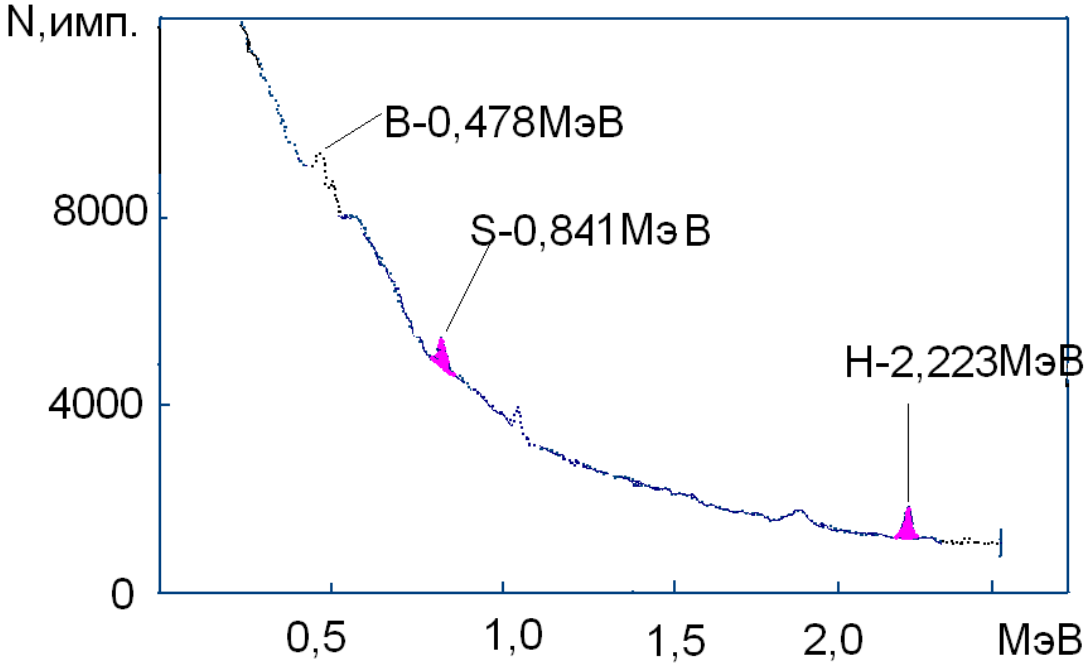


Рис.2. Спектр гамма-излучения захвата нейтронов образца, содержащего серу и водород

В ходе экспериментальных работ получена линейная зависимость интенсивности аналитического сигнала-площади пика серы с энергией 840,3 кэВ от её концентрации в образцах. Экспериментальным путём установлен предел определения серы в образцах руд и флотоконцентратов, который составляет 0,3% при относительной ошибке не более 10%.

Способ контроля технологического процесса переработки сульфидных золотосодержащих руд.

Основным технологическим параметром при обогащении сульфидных золотосодержащих руд является содержание серы на различных этапах флотации. При флотационном методе обогащения руды подбирают режимы по реагентам. Для отделения золотосодержащих сульфидов (в основном пиритFeS_2 и арсенопирит FeAsS) от пустой породы и накопления их на различных этапах флотации, начиная от измельчения руды до получения готового продукта – флотоконцентрата, добавляются нужные реагенты. Поэтому требуется контролировать этот процесс по содержанию

технологически важных элементов (серы и золота) и влажности. Контроль процесса начинается с определения содержания серы в исходном сырье–рудах. Следующими этапами контроля являются пенные продукты 1-ой основной флотации, 2-ой флотации, готовый продукт флотационного процесса–флотоконцентрат, и технологические отходы флотационного производства– хвосты флотации. Содержание золота, серы и влажность нужно контролировать во флотоконцентратах-конечном продукте флотационного процесса. Контроль технологического процесса сводится к оперативному установлению накопления сульфидов в ходе технологического процесса флотационного обогащения золотосодержащих руд. О степени накопления сульфидов в ходе процесса можно судить по содержанию серы, определяемой нейтронно-радиационной методикой и экспериментальной установкой. А хвосты флотации анализируется для того, чтобы установить степень извлечения золота, которая также определяется по содержанию серы в хвостах флотации. Хвосты флотации являются отвальными, и содержание золота в них должно быть не более 0,4г/т.

В третьей главе диссертации **«Разработка нейтронно-радиационного способа контроля технологического процесса получения перрената аммония в медеплавильном производстве»** рассмотрены результаты экспериментальных работ, посвященные разработке способа контроля технологического процесса получения рения из отходов медеплавильного производства Алмалыкского ГМК. Разработан способ контроля полноты насыщения сорбционных колонок рением при извлечении перрената аммония из технологических отходов.

Рений является редким элементом и собственных месторождений в земной коре не имеет. Основным источником рения в Республике Узбекистан являются медно и медно-молибденовые, урановые руды, концентраты горно-металлургических комбинатов страны (Алмалыкский ГМК и Навоийский ГМК), из которых рений извлекается попутно при получении основной продукции.

Выбор и обоснование точек в технологической цепочке для осуществления контроля. Технологический процесс попутного извлечения рения из сернокислых растворов медеплавильного производства АГМК можно условно делить на 4 этапа: 1)Избирательная сорбция рения и других технологически значимых элементов, присутствующих в сернокислых растворах на ионообменной смоле – экстрагенте; 2)Десорбция рения из ионообменной смолы – экстрагента, т.е. получение десорбата, обогащенного рением; 3)Отделение из ренийсодержащего раствора молибдена и других примесных элементов путём физико-химических воздействий; 4)Кристаллизация, сушка и получение готовой продукции – перрената аммония. На каждом этапе переработки ренийсодержащих продуктов требуется экспрессный контроль концентрации рения, молибдена и других элементов.

В лабораторных условиях были собраны экспериментальные колонки, имитирующие сорбционные колонны, и изучались возможности

дистанционного определения содержания рения в сорбенте по спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата. Исходя из производственного требования и аналитических возможностей обоснованы точки для осуществления экспрессного контроля в технологической цепочке переработки ренийсодержащих технологических продуктов (технологические растворы).

Методика нейтронно-радиационного анализа ренийсодержащих технологических продуктов медеплавильного производства. С применением нейтронно-радиационного анализа исследованы возможности определения рения и других элементов в образцах технологических растворов и насыщенного после сорбции твердого экстрагента. Для этого был собран рабочий макет экспериментальной установки на базе маломощного радионуклидного калифорниевого (^{252}Cf) – источника нейтронов с выходом нейтронов 5x10^7нейтр/сек. Исследуемый образец взяли в достаточно большом объеме, около 1000см^3. При радиационном захвате нейтронов ядро рения испускает сложный спектр мгновенного гамма-излучения со следующими энергиями: 207,8 кэВ; 214,7 кэВ; 290,7 кэВ; 316,5 кэВ; 5134,8 кэВ; 5348,7 кэВ; 5910,2 кэВ; 6079,5 кэВ; 6119,8 кэВ. В качестве аналитической гамма - линии рения наиболее удобно использовать линию с энергией 316,5 кэВ. Ренийсодержащий образец - твердый экстрагент весом 1кг поместили в экспериментальную установку на позицию одновременного облучения тепловыми нейтронами и измерения мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов. Плотность потока тепловых нейтронов на поверхности образца составляла:2x10^4 нейтр/см^{2}сек. Хотя в данной области гамма-спектра наблюдается очень высокий гамма-фон, пик рения можно выделить. Экспериментальным путём получена линейная зависимость площади аналитического пика от содержания рения в технологических продуктах. Чувствительность по рению составляла – 120 имп./проц. за время измерения 20 минут.

Исследование возможности применения спектрометрии гамма-излучения нейтронного захвата для контроля полноты насыщения сорбционных колонок рением при получении перрената аммония.

Исходя из необходимости контроля полноты насыщения сорбционных колонок проведено исследование возможности определения рения и других элементов в образцах технологических растворов и насыщенного после сорбции твердого экстрагента, с применением спектрометрии мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов. Для этого был собран рабочий макет экспериментальной установки (рис.3) на базе маломощного радионуклидного калифорниевого (^{252}Cf) – источника нейтронов с выходом нейтронов 5x10^7 нейтр/сек. Экспериментальная установка состоит из источника нейтронов-1, исследуемого образца-2, системы замедления–3,системы защиты от быстрых нейтронов и рассеянных гамма-квантов–4, сцинтилляционного NaI(Tl)-детектора-5, системы отражения нейтронов–6, комбинированной физической защиты персонала от радиации- 7, 8.

Ренийсодержащий образец - твердый экстрагент весом 1кг поместили в экспериментальную установку на позицию одновременного облучения тепловыми нейтронами и измерения мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов. При плотности потока тепловых нейтронов на поверхности образца $2x10^4$ нейтр/см^{2}сек за 20 мин облучения-измерения набрана достаточная статистика для определения содержания рения.

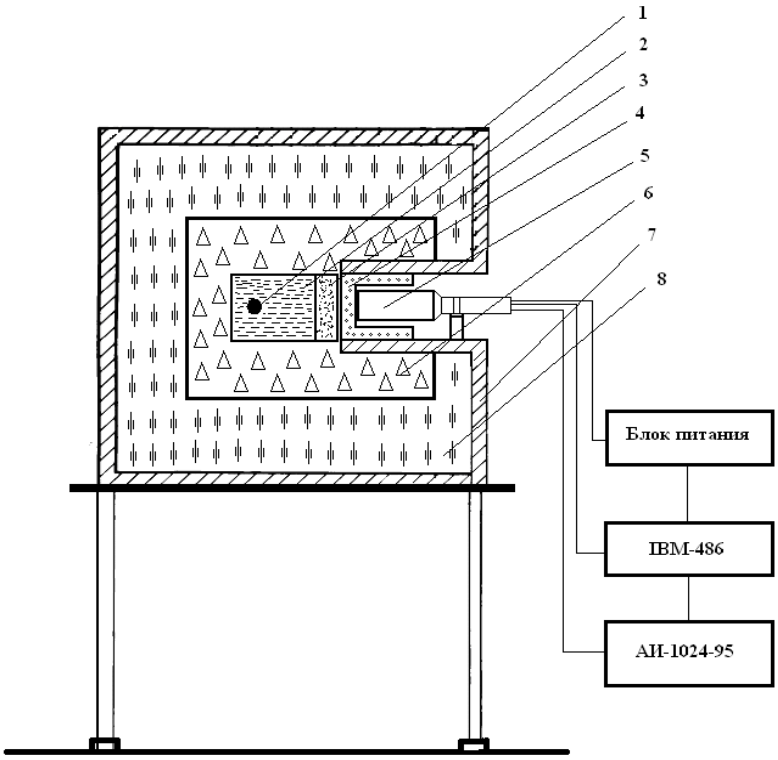


Рис. 3. Экспериментальная установка для нейтронно-радиационного анализа

Экспериментально изучены возможности нейтронно-радиационного определения содержания рения в сорбенте, взятого из медеплавильного производства, при содержании рения в нем от 0,3 % до 4,0%. На рис.4 приведен график зависимости площади аналитического пика рения от содержания рения в сорбенте - экстрагенте.

Также исследованы варианты установки, где вместо исследуемого образца будет находиться сама сорбционная колонка, насыщенная рением. Автором собран рабочий макет экспериментальной установки (рис.5), предназначенный для осуществления контроля полноты насыщения сорбционной колонки рением. В этом варианте сорбционная колонка как составляющая часть экспериментальной установки размещается в центре установки в вертикальном расположении.

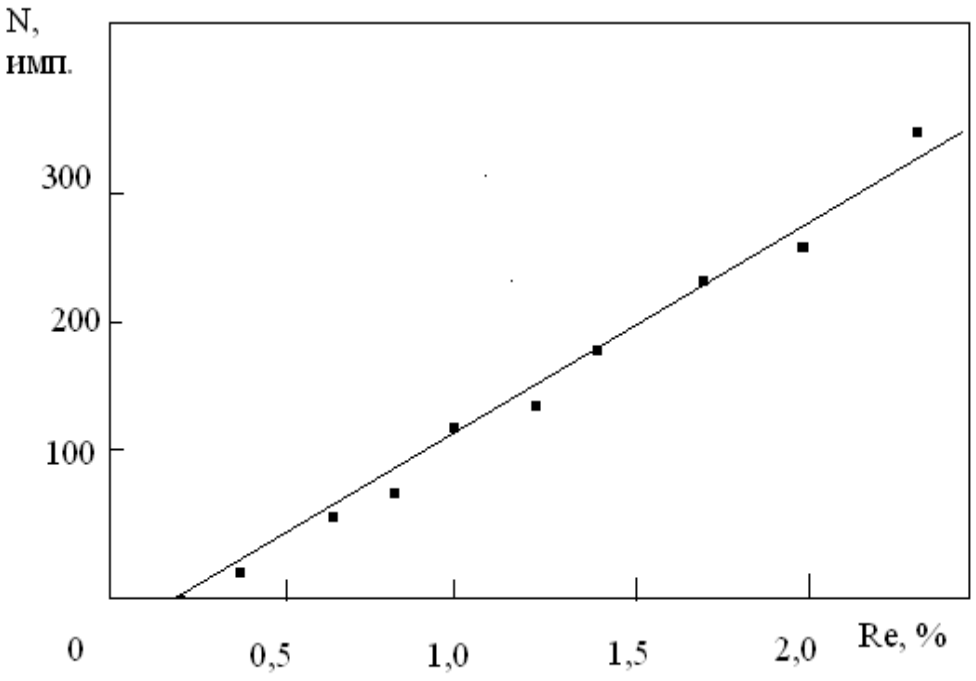


Рис. 4. График зависимости площади пика от содержания рения

В лабораторных условиях на экспериментальной установке с сорбционной колонкой изучались принципиальные возможности экспрессного определения рения в сорбенте по спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата. Экспериментальным путём установлено, что за 20 мин измерения нижний предел определения рения по данной методике составляет 0,3% или 3г/кг. При полном насыщении твердого экстрагента (ТВЭКС) содержание рения будет составлять 4,0 % или 40 г/кг, что в принципе, возможно, контролировать с помощью нейтронно-радиационного анализа с применением нейтронного источника с выходом 1х 10^8 нейтронов в сек.

В четвертой главе диссертации «**Исследование возможности комбинирования методов нейтронно-радиационного (НРА) и нейтронно-активационного анализа (НАА) элементного состава технологических продуктов»** экспериментально изучены возможности сочетания двух ядерно-физических методов: нейтронно-радиационного метода и нейтронно-активационного метода элементного анализа.

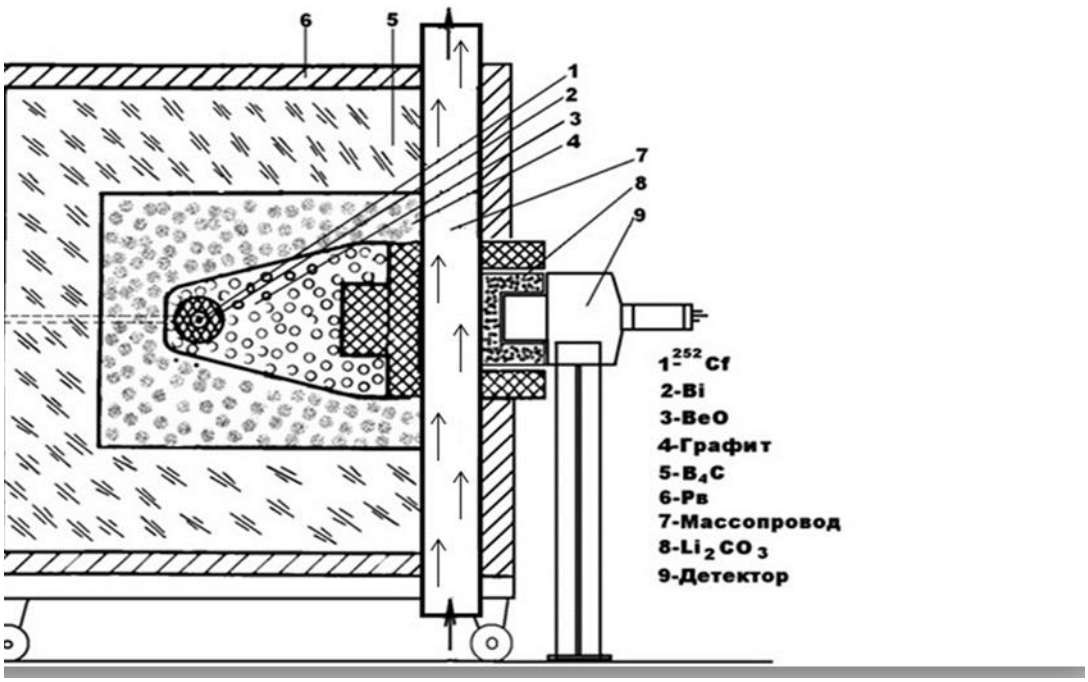


Рис.5. Экспериментальная установка для определения полноты насыщения сорбционной колонны рением

В целях расширения аналитических возможностей с применением экспериментальной установки на основе радионуклидного (калифорний-252) источника нейтронов были исследованы возможности сочетания нейтронно-радиационного и нейтронно-активационного методов элементного анализа.

Экспериментальная установка для комбинирования методов нейтронно-радиационного и нейтронно-активационного анализа. Для комбинирования двух методов была собрана экспериментальная установка на базе радионуклидного ^{252}Cf –источника нейтронов с выходом 5x10^{7} нейтрон/сек. На рисунке 6 приводится схема экспериментальной установки, которая состоит из двух частей: А) Установка для спектрометрии гамма-излучения нейтронного захвата на основе радионуклидного ^{252}Cf – источника нейтронов; Б) Измерительный блок гамма-спектров наведенной активности образцов.

Измерительная система состояла из полупроводникового Ge(Li) – детектора с энергетическим разрешением 2,5 кэВ по гамма-линии^{60}Co (1333кэВ) в сочетании с многоканальным анализатором импульсов.

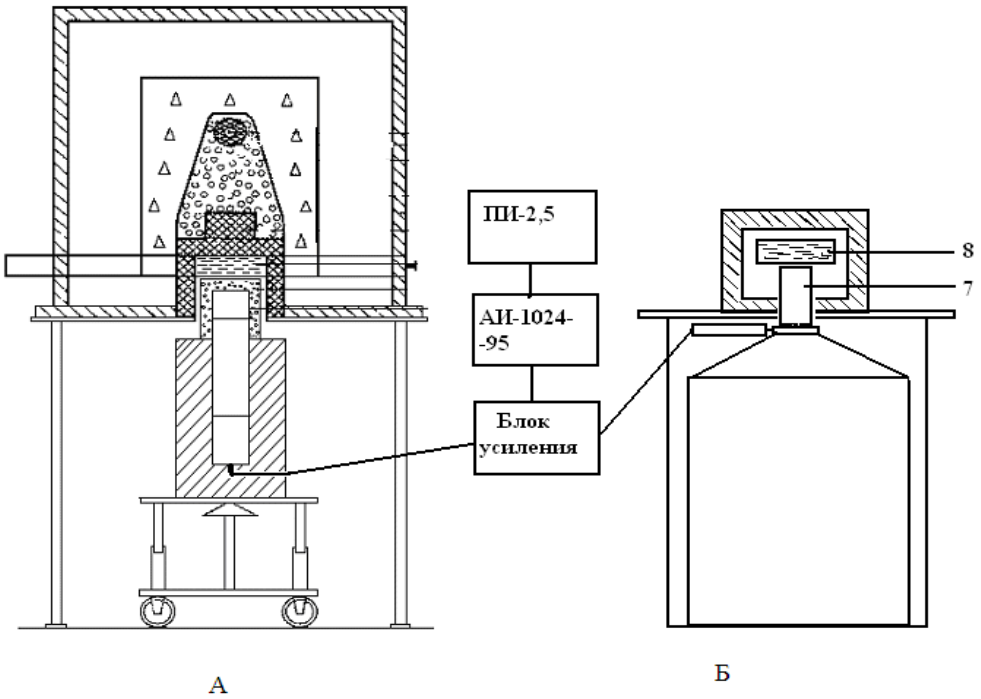


Рис.6. Схема экспериментальной установки для сочетания нейтронно-радиационного и нейтронно-активационного методов анализа

Исследуемые образцы поочередно устанавливали в экспериментальную установку сначала в части А в позицию одновременного облучения потоком тепловых нейтронов и регистрации мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата, затем в части Б для измерения спектра остаточной гамма-активности. Плотность потока тепловых нейтронов на исследуемом образце составляла: $Ф=2x10^4$ н $см^{-2}$ $с^{-1}$. Вес исследуемого образца составлял 1200÷1400 граммов. Время одновременного облучения-измерения составляло от 30 до 60 минут. После измерения спектра мгновенного гамма-излучения исследуемый образец перенесли в измерительный блок, окруженный свинцовым экраном толщиной 5см, чтобы измерить спектр гамма- излучения остаточной активности. Измерение гамма -спектра проводилось с помощью полупроводникового Ge(Li)-детектора с объемом кристалла 80 $см^3$.

По спектру мгновенного гамма-излучения захвата нейронов показаны возможности определения элементов: H(2223 кэВ); S(840,3 кэВ); Ti(1381,5 кэВ и 1585,3 кэВ); Cu(609 кэВ). Путём идентификации гамма-спектра наведенной активности образцов показаны возможности определения следующих изотопов:^{42}K(1524,7 кэВ); ^{46}Sc(889,2 кэВ и 1120,5 кэВ); ^{51}Ti (928,5 кэВ); ^{59}Fe (1099,2 кэВ и 1291,6 кэВ); ^{101}Mo(1187 кэВ и 1357 кэВ); ^{198}Au (411 кэВ).

В пятой главе диссертации «**Разработка физико-технических и методических основ определения элементов в технологических потоках («on-line») с помощью гамма-излучения нейтронного захвата»** приводятся результаты исследований по созданию методики контроля элементного

состава на технологических потоках и других быстропротекающих процессах.

Изучение ядерно-физических параметров и возможности определения некоторых легких элементов.

Следует отметить, что для легких элементов метод спектрометрии гамма-излучения нейтронного захвата по своей физической сущности является почти единственным методом анализа в потоке, так как наиболее распространенный метод - рентгеновский - не применим для них. Кроме того, при облучении материалов, состоящих из легких элементов, т.е. наиболее перспективных материалов нашего века, не образуются долгоживущие радионуклиды. Действительно, как было указано выше элементы –водород, азот и сера, которые определяются по реакции: $^{1}H(n,\gamma)D$; $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$; $^{32}S(n,\gamma)\ ^{33}S$, т.е. продукт ядерной реакции не является радиоактивным. Бор можно определить по реакции $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li^{*}$. Возбужденные ядра ^{7}Li практически мгновенно испускают гамма-кванты с энергией - 478 кэВ, по интенсивности которого определяют концентрацию бора. Сечение указанной реакции весьма большое (σ = 759 барн) и, следовательно, с весьма высокой чувствительностью можно определять концентрацию бора.

Водород является одним из элементов, который трудно определить другими методами. При радиационном захвате тепловых нейтронов водородом по реакции $^{1}H(n,\gamma)D$ испускается мгновенное ($t \leq 10^{-13}$ сек) гамма-излучение с энергией 2223 кэВ. Сечение этой реакции $\sigma(E)$ = 332 мбарн. Выход гамма-квантов в этой реакции I_{γ} = 100%. Влажность в образцах можно установить по интенсивности линии водорода. В исследованных образцах содержание влажности в пределах от 0,3% до 30%.

Принципиальная схема “on-line”анализатора. Результаты исследований, описанных в данном разделе, позволяют предложить принципиальную схему поточного анализатора, т.е установки для “on-line” определения концентрации элементов.Учитывая результаты исследований, предлагается схема поточного анализатора на базе ^{252}Cf- источника нейтронов с выходом 10^{8} нейтр/с. Объем материала иследуемого образца составляет 10^{3} см^{3}. Основные размеры такого анализатора приведены при описании экспериментальной установки. Размеры устройства и биологическая защита – поточного анализатора (рис.7)позволяют применять в нем калифорниевый источник (1) с выходом до 10^{8} нейтр.с$^{-1}$. Массопровод (7) анализатора должен быть изготовлен из материала, который не содержит водород (например: графит, тефлон, фторопласт-4 и др.), его форма выбирается в зависимости от решаемой задачи (жидкость, сыпучие материалы, зерно и др.), детектор гамма-квантов (9) выбирается также в зависимости от решаемых задач(сцинтилляционный (NaI(Tl)- или полупроводниковый Ge(Li) –детекторы).

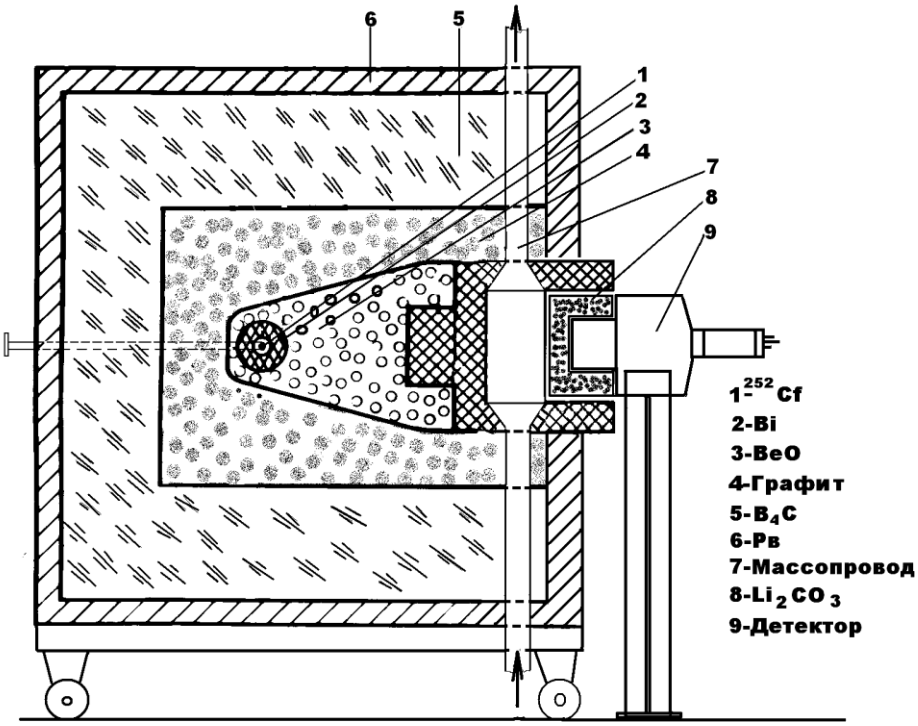


Рис. 7. Принципиальная схема “on-line” анализатора

Такой поточный анализатор, позволяют решать многие задачи, связанные с “on-line” анализом химической промышленности, горнорудной промышленности, сельского хозяйства (контроль качества зерна по содержанию белка) и других отраслей науки и производства. Экспериментально показано, что такой анализатор позволяет одновременно контролировать концентрацию H,S, N, K в технологических потоках со сложным элементным составом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук (DSc) на тему:«Экспрессные нейтронно-радиационные способы контроля процессов переработки золотосодержащих руд и ренийсодержащих технологических продуктов» получены следующие результаты:

1. Создана экспериментальная установка на основе радионуклидного ^{252}Cf - источника нейтронов, выбраны оптимальная геометрия и конструкционные материалы установки, система замедления нейтронов высокой (3-:-15 МэВ) и промежуточной (0,5-:-3 МэВ) энергией и система фокусировки замедленных нейтронов, позволяющие эффективно оптимизировать поток нейтронов для применяемого источника, установлены режимы облучения образцов и измерения гамма - излучения, позволяющие

расширить аналитические возможности метода нейтронно-радиационного анализа;

2. Показано, что применение спектрометрии мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов позволяет проводить оперативный аналитический контроль технологического процесса переработки сульфидных золотосодержащих руд.

3. Разработана методика экспрессного определения содержания серы и влажности в технологических продуктах флотационного обогащения сульфидных золотосодержащих руд, с использованием спектрометрии низкоэнергетической области (E < 3 МэВ) мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов, которая позволяет за 10 мин измерения достигать чувствительности по сере - 0,3% и по влажности - 0,2% при относительной погрешности не более 10%.

4. Разработан экспрессный нейтронно-радиационный способ контроля технологического процесса флотационного обогащения сульфидных золотосодержащих руд, основанного на одновременном облучении исследуемого образца потоком замедленных нейтронов и спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата ядрами серы с энергией 840,3 кэВ, которая образуется по реакции $^{32}S(n,\gamma)^{33}S$ и водорода с энергией 2223кэВ, образующиеся по реакции $^{1}H(n,\gamma)^{2}H$, по эмпирической формуле вычисляется содержания серы и влажности, по значению которых контролируется технологический процесс.

5. Предложен способ “on-line” определения полноты насыщения сорбционных колонок рением при получении перрената аммония из технологических отходов медеплавильного производства по спектрометрии гамма-излучения захвата нейтронов. Предел определения содержания рения в технологических продуктах по аналитическому пику с энергией 316,5 кэВ, который образуется из ядерной реакции $^{187}Re(n,\gamma)^{188}Re$ при взаимодействии тепловых нейтронов с исследуемым образцом, за время измерения 15 мин составил 0,3%, при относительной погрешности не более 10%.

6. Разработана методика и создана экспериментальная установка для комбинированного использования методов нейтронно-радиационного и нейтронно-активационного анализа элементного состава, и этим путём расширен круг одновременно определяемых элементов в образцах руд и технологических продуктах. За 20 мин измерения предел определения нейтронно-радиационной методики анализа в рудах и технологических продуктах их переработки составляли: H-0,1%, S-0,3%, K-0,2%, Fe-0,4%, Ti-0,3%, Mn-0,2%, Sc-0,4%, Cu-0,2% с относительной погрешностью не более 10%. В этом режиме облучения потоком нейтронов в экспериментальной установке показаны возможности нейтронно-активационного определения содержания K, Ti, Mn, Cu;

7. Разработан способ определения концентрации компонентов сложных смесей на потоке без измерения массы или объема и плотности исследуемого вещества с использованием спектрометрии гамма-излучения нейтронного захвата. Способ реализован при определении компонентов смесей,

состоящих из сернокислого аммония – $(NH_4)_2SO_4$, азотнокислого аммония – NH_4NO_3 и воды – H_2O, а концентрация этих компонентов вычисляется по формуле, составленной эмпирическим путём. (Разработка запатентована. Патент РУз № IDR -05229).

8. Предложена принципиальная схема «on-line» анализатора элементного состава вещества на технологическом потоке по спектрометрии мгновенного гамма-излучения нейтронного захвата, создан экспериментальный вариант установки и разработана методика поточного определения легких элементов (H, S, N, K) в быстропротекающих процессах.

SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 AT INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS

INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS

KURBANOV BAKHTIYAR IBRAGIMOVICH

EXPRESS NEUTRON-RADIATION METHODS OF CONTROL PROCESSES OF PROCESSING GOLD- CONTAINING ORES AND RHENIUM-CONTAINING TECHNOLOGICAL PRODUCTS.

01.04.01 –Instruments and methods of experimental physics

DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES (DSc)

Tashkent – 2020

The subject of the doctorof sciences dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan B2019.3.DSc/T295.

The dissertation has been carried out at the Institute of Nuclear Physics of Uzbekistan Academy of Sciences.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, English and Russian (resume)) is posted on the web page at the address of www.inp.uz and Information-educational portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant	**Sadikov Ilkham Ismailovich** Doctor of tehnical sciences
Official opponents:	**Baxramov Sadulla Abdullayevich** Doctor of physical and mathematical sciences,professor, academician of the Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan
	Kulmatov Rashid Anorovich Doctor of chemical sciences, professor.
	Olimov Kosim Doctor of physical and mathematical sciences, professor
Leading organization:	**Samarkand State University**

Defense will take place on the «____» _____ 2020, at ____ at the meeting of Scientific councilDSc.27.06.2017.FM/T.33.01 at Institute of Nuclear Physicsof Uzbekistan Academy of Sciences (Address: 100214, Tashkent, Ulughbek, Institute of Nuclear Physics. Phone: (+99871) 289-31-18; Fax: (+99871)289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

The dissertation is registered at Information-resource center of Institute of Nuclear Physics (registration No_____). Address: 100214, Tashkent, Ulughbek, Institute of Nuclear Physics, Phone (+99871) 289-31-19.

The abstract of dissertation was distributed on "_____"_____2020.
(Registry record No. ____ dated "___" _____ 2020.)

M.Yu. Tashmetov
Chairman of scientific council on award of scientific degrees D.Ph.M.S.,professor

S.B.Igamov
Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees D.Ph.M.S.,

I.Nuritdinov
Chairman of scientific seminar under scientific council on award of scientific degrees, D.Ph.M.S., professor

INTRODUCTION (Annotation of doctoral dissertation)

Relevance and demandof thesis topic. At present, significant attention is paid to the analytical control of the processes of processing technological products. Science and technology, medicine and agriculture, metallurgical and chemical industries are not without the control of elemental composition, which is the fundamental parameter of the substance on which all properties and structure depend, as well as the nature of the physical, chemical, biological, technological and other processes taking place in them.

A variety of elemental analysis techniques have been developed to allow the determination of elements in different materials over a very wide range of concentrations. Among analytical methods, nuclear-physical methods of elementary analysis are of particular importance, which are instrumental (non-destructive) methods and provide high sensitivity, selectivity, and allow automatizing the analytical process. Despite great advances in the development of express and highly sensitive methods, many problems of science, technology and production still remain unresolved. There are acute problems of control of technological processes (especially in mining, metallurgical and chemical industries) related to the creation of APCS, new technologies, and increasing requirements to the quality of produced products and efficient use of energy and raw materials resources. An important place in the solution of these problems may be the nuclear-physical method of analysis of the elemental composition of the substance, based on the use of spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture (neutron-radiation method of analysis). Among nuclear-physical and other analytical methods, this method has a number of fundamental advantages, such as multi-element, expresses, depth, distance, non-destructive element analysis.

In Uzbekistan, mining and metallurgical enterprises annually process tens of millions of tons of gold-containing, uranium-containing, copper-molybdenum and other ores, in which economic and production efficiency directly depends on the level of analytical methods and instruments. On this basis, improvement of previously developed and development of new efficient, express and selective methods and control devices of technological process in order to increase productivity and reduce the cost of production in mining and metallurgical enterprises, are considered as relevant problems of current time.

This research work corresponds to the tasks provided in Presidential Decree No. 4947 of 2 February 2017 on the “Strategy for the Further Development of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021”, Presidential Decree No.1442 of 15 December 2010 “On Priorities for Industrial Development in the Republic of Uzbekistan in 2011-2015”, Presidential Decree No. 2789 "On Measures for Further Improvement of the Activities of the Academy of Sciences, Organization, Management and Financing of Research Activities" dated 17 February 2017, And other legal instruments adopted in this area.

Concordance of research with priority areas of science and technology development of the Republic. The dissertation study was carried out in accordance with the priority areas of science and technology development in the Republic of Uzbekistan II. "Energy, energy- and resource- conservation" and VII."Earth sciences (geology, geophysics, seismology and processing of mineral raw materials)."

Review of foreign scientific research on the topic of dissertation. The research on neutron radiation analysis based on spectrometry of instant gamma radiation of neutron capture are carried out in the leading scientific centers of the world, such as Neutron Sciences at Oak Ridge National Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Los Alamos Sciences Laboratory, Laboratory of Radiochemistry and Activation Analysis, University of Missouri, Columbia (USA), Joint Institute of Nuclear Research (Dubna, Russia), “Kurchatov Institute” Research Center (Russia), Nuclear Physics Institute of the Czech Academy of Sciences (Czech Republic), Institute of Nuclear Physics and Chemistry (China), Moscow Institute of Engineering and Physics (Russia), Institute of Nuclear Research of NANU (Ukraine), Institute of Nuclear Physics of AS Republic of Uzbekistan.

On analytical use of gamma-ray spectrometry of neutron capture for technological control of fast - flowing processes, in particular during processing of ores and rocks, studies were carried out at the National Institute of Standards and Technology (USA), where during the measurement period of 5 minutes the content of the main elements with satisfactory parameters was expressly determined. Neutron Sciences at Oak Ridge National Laboratory (USA) has investigated and established an experimental plant to determine technologically important elements on grain flow when descending through an elevator. In order to detect explosive loads, the Joint Institute for Nuclear Research (Dubna, Russia) has developed a methodology and apparatus for controlling the elemental composition of the substance.

Currently, intensive research is being conducted on the possibilities of using gamma radiation spectrometry of neutron capture in various fields of science and technology, which shows the prospects of this method. Attempts have been made to use this method to control processes and products where it is necessary to analyze the elemental composition of the substance remotely and without contact. These studies are mainly devoted to determining the elemental composition of process streams of bulk and solid materials (e.g. coal, grain, ore). Studies of the elemental composition of biological objects are of particular interest. The results obtained are used, including in-vivo analysis, for medical diagnosis, neutron-capture therapy of oncological diseases, etc.

Degree of study of the problem. Scientific research on the development of nuclear-physical methods and installations for the control of elemental composition in technological products during processing of gold-bearing, sulphide, copper-molybdenum ores was carried out by many leading scientists of the world, such as: Groshev L.D., Demidov A.M., Starchik L.P., Guma V.I., Myasoedov B.F., BurmistenkoYu.N., Ivanov I.N., etc.), (El-Kady A., Senftle F.E., Paul R.L.,

Lindstrom R.M., Molner G.L., etc.). In the development of nuclear-physical method of analysis of elemental composition of substance based on use of spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture. They investigated the fundamental foundations, patterns and fundamental issues of gamma-ray spectrometry of neutron capture and analytical control of elemental composition on this basis. The advantages of this tool over other analytical methods are also shown.

However, most of the authors' researches were devoted to the fundamental issues of this method and the development of various techniques for controlling the elemental composition of geological samples and ores, archaeological sites, as well as the study of various industrial products that differ in chemical composition and structure from our investigated sites. Scientists of the Republic of Uzbekistan (Aripov G.A., Kist A.A., Usmanova M.M., Sattarov G.S., Bakiyev S.A., Khatamov Sh.H., Kulmatov R.A., Muhammedov S.M., Haydarov R.A., Ganiyev A.G., Muminov T.M., etc.) developed nuclear-physical methods of analytical control of various technological processes. These developments, which are mainly devoted to nuclear-physical methods of analysis of samples on stationary laboratory conditions, lack express neutron-radiation methods and mobile nuclear-physical installations for control of technological processes of processing gold-containing ores and rhenium-containing technological products. Therefore, development of express methods of control of processes of processing of gold-bearing ores and rhenium-containing technological products is a pressing problem.

Connection of the dissertation study with the plans of research works of the research institution where the thesis was performed. Dissertation research was carried out within the framework of scientific projects of the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan on the topics: A-3.1.3.8. "Development and introduction of methods of extraction of valuable metals from technological wastes of industrial enterprises of the Republic of Uzbekistan and methods of their analytical control" (2000-2002); П-3.1.4.2 "Development of neutron-radiation methods of control of elemental composition of ores and technological products" (2000-2002).П -10-30 "Development of physical and technical and methodological bases for determining elements in technological flows (" on-line ") by means of gamma radiation of neutron capture" (2003-2005); A-13-084 "Development of Methods for Determining Element Content by Neutron Capture Gamma Ray Spectrometry" (2006-2008); A-13-113 "Development of a method of control of technological process of production of rhenium, gold and other precious metals" (2006-2008);

The aim of the research is to develop express neutron-radiation methods of control of processes of processing of sulphide gold-bearing ores and rhenium containing technological products, using the method of spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture.

Research objectives:

Expansion of analytical capabilities of elementary analysis method based on spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture for technological control using radionuclide neutron sources;

Creation of experimental plant and development of method of express determination of technologically important elements (sulphur) and humidity in technological products during flotation enrichment of sulphide gold-bearing ores;

Development of method of express control of technological process of processing of sulphide gold-bearing ores using spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture;

Development of a method of determining completeness of saturation of sorption columns with rhenium without sampling, when producing ammonium perrenate in copper smelting production, using gamma radiation spectrometry of neutron capture;

Development of experimental plant and development of method for combined use of methods of neutron radiation and neutron activation analysis of elemental composition;

Creation of a schematic diagram of a flow analyzer of technologically important elements in fast-flowing technological processes using neutron radiation analysis.

The object of the study is sulphide gold-bearing ores, rhenium-containing and medical-containing technological samples, chemical centers, technological products of sulphide ores processing and technological wastes of mining and metallurgical enterprises.

Subject of research: analytical control of processes of flotation enrichment of sulphide gold-bearing ores and processing of renium-containing technological products of copper smelting production using nuclear-physical methods.

Research methods. Neutron-radiation method of research based on use of spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture and neutron-activation method of investigation of elemental composition of substance, integration of these two methods, as well as methods of computer processing of gamma spectra.

The scientific novelty of the study is the following results:

Experimental plant based on radionuclide source of ^{252}Cf neutrons is created, optimum geometry is selected, which allows to effectively slow neutron flux, analytical capabilities of method based on spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture are expanded;

Method of express determination of technologically important elements (sulphur, arsenic) and humidity during process of flotation enrichment of sulphide gold-bearing ores using spectrometry of low-energy gamma radiation of neutron capture;

For the first time, an express neutron-radiation method for controlling the process of floatation enrichment of gold-bearing ores has been developed, based on the use of an experimental plant and a method for express determination of sulphur and moisture content;

For the first time, it is possible to determine the completeness of saturation of sorption columns with rhenium "on-line", when producing ammonium perrenate;

Method for combined use of methods of neutron-radiation and neutron-activation analysis of elemental composition of substance for expansion of range of

simultaneously determined elements in samples of ores and technological products has been developed;

Method is developed to determine concentration of components of complex mixtures on continuous process flow from spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture;

Disclosed is an on-line circuit diagram of an analyzer for determining the elemental composition of a process solution stream with a complex composition from spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture.

The practical results of the study are:

Potential application of neutron-radiation analysis method for control of technological processes, increase of range of determined elements and increase of analysis expressiveness are shown;

Experimental plant and method of determining technologically important elements in processing sulphide gold-bearing ores at GMZ-1 production are developed and used;

On-line working model of analyzer is assembled to determine elemental composition of substance in complex objects from spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture.

The reliability of the results of the study is justified by the reproducibility of the results obtained in parallel experiments under different conditions, the use of modern methods and measurement means, comparative analysis of developed methods with standard samples of gold and medical ores, parallel analyses and comparison of data of various researchers.

Scientific and practical significance of the study results. Scientific significance of research results lies in development of express methods of control of technological processes of processing of gold-bearing ores and rhenium-containing technological products by spectrometry of instantaneous gamma radiation of neutron capture, in expansion of analytical capabilities of method of PGAA and range of simultaneously determined elements at combination of methods of neutron-radiation and neutron-activation analysis of elemental composition and in creation of experimental plant for their implementation.

The practical significance of the results of the study consists in the development and introduction in the production of the mining and metallurgical industry of the Republic (Navoi MMC GMZ-1) of an experimental plant and a method of express determination of the content of technologically important elements (sulphur and arsenic) and humidity in the technological products of flotation enrichment, and a method of monitoring the technological process of processing gold-bearing ores.

Implementation of research results.

Based on the results of the development of express methods for controlling the processes of processing gold-bearing ores and rhenium-containing technological products:

The developed experimental plant and method for express determination of concentration of technologically important elements (sulphur) and humidity in technological products of processing of sulphide gold-bearing ores have been used

in the production of Ore Management "GMZ-1" GP "Navoi MMC" for operational control of technologically important elements in the process of processing of sulfide gold-bearing ores (Implementation Act of Navoi MMC No. 1837 of 04.10.2018);

The developed express neutron-radiation method of control of the process of processing gold-bearing ores is used in the production of the Ore Management "GMZ-1" Navoi MMC "for operational control and control of the process of processing sulphide gold-bearing ores (Implementation Act of Navoi MMC No. 1837 of 04.10.2018). The use of scientific results allowed to increase the efficiency of gold extraction from sulfide gold-bearing ores;

Experimental results on optimization of neutron flows and the developed technique of definition of concentration of elements on the instant gamma radiation of capture of neutrons were used within the applied project: FA-F14-F068 "Creations of scientific and technical base for development of a method of neutron-capture therapy on the reactor VVR-SM INP AS RUz" (2009-2011). (Letter of Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 2/1255-1873 of 05.07.2019). The use of scientific results as an auxiliary material in laboratory experiments made it possible to optimize measurements of the thermal neutron flux density in the study of (n, γ) reactions in the VVR-SM reactor and to determine some elements from the instantaneous gamma radiation of radiation capture of neutrons;

The developed technique of determination of element structure of difficult objects at combination of neutron-radiation and neutron-activation methods of the analysis were used within the applied A-4.056 project "Application of the neutron and activation analysis for development of highly effective ways of extraction of noble and rare metals from poor ores and waste" (2006-2008) (The letter of Academy of Sciences of RUz, No. 2/1255-1873 of 05.07.2019). The use of scientific results allowed us to study the elemental composition of the group of precious and rare metals in ores and technological wastes of mining and metallurgical enterprises.

Testing the results of the study. The main results of dissertation work were reported and discussed at 19 International and Republican conferences.

Publication of study results. On the topic of dissertation 52 scientific works have been published, including patented in RUE 3 inventions, 13 articles in scientific journals, publications recommended by the Higher Certification Commission of the Republic of Uzbekistan for publications of the main scientific results of doctoral theses, of which 2 is a foreign journal.

Structure and scope of thesis. The thesis consists of an introduction, five chapters, an opinion, a list of literature and annexes. The volume of the thesis is 158 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
LIST OF PUBLISHED WORKS
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Iбўлим (partI; Iчасть)

1. Патент РУз № IDP 04491. Устройство для определения элементного состава вещества /Арипов Г.А., Курбанов Б.И.- 06.07.2000.
2. Патент РУз № IDP–05229. Способ определения концентраций компонентов смеси / Арипов Г.А., Курбанов Б.И. - 18.04.2002.
3. Патент РУз № 03313. Способ получения перрената аммония / Саттаров Г.С., Зотов Г.Д., Гапурова О.У., Лукомская Г.А., Кист А.А., Юлдашев Б.С., Сигедин В.Н., Аранович В.Л., Кадиров Ф., Шарипов Х.Т., Пилецкий В.М., Руденко Б.И., Скерджев Ю.М., Курбанов Б.И., Мавлянов К.А.- 28.02.2007.
4. Aripov G. A., Kurbanov B.I., Allamuratova G.B., Ergashev A. Device for Study of Thermal-Neutron Capture Gamma – Rays Spectra //Uzbek Journal of Physics. – Tashkent, 2004. - Vol.6 (№3). -pp.227-229 (01.00.00. №5)
5. Арипов Г.А., Курбанов Б.И.., Абдуллаев Ж. М., Сатаров Г.С. Метод контроля элементного состава золотосодержащих руд и продуктов их переработки // Горный Вестник Узбекистана. - Навои, 2004. - № 2 (17). - С.37-39 (05.00.00. №7)
6. Арипов Г.А., Курбанов Б.И., Сатаров Г.С., Абдуллаев Ж.М. Комбинирования методов нейтронно-активационного анализа и спектрометрии гамма-излучении радиационного захвата нейтронов. //Горный Вестник Узбекистана. – Навои, 2004.- № 2(17).-С.72-75(05.00.00. №7)
7. Арипов Г.А., Курбанов Б.И., Алламуратова Г., Каюмов М., Умаралиев М. Определение легких элементов методом спектрометрии гамма-излучения захвата нейтронов // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2006. – № 6 (8). -С.352-360(01.00.00. №5)
8. Курбанов Б.И., Арипов Г.А., Гапурова О.У., Кист А.А., Барсукова Е.Г. Применение ядерно-физических методов для определения рения и других элементов в технологических продуктах медеплавильного производства // Горный Вестник Узбекистана. – Ташкент, 2007. - № 1 (28).-С.82-85 (05.00.00. №7)
9. Арипов Г.А., Курбанов Б.И., Зиновьев В.Г. Определение содержания азота и бора методом спектрометрии гамма-излучения захвата нейтронов // Горный Вестник Узбекистана. – Навои, 2007.- № 1 (28).- С.102-104(05.00.00. №7)
10. Курбанов Б.И., Арипов Г.А., Барсукова Е.Г., Умаралиев М., Курбанов З.Б. Нейтронно-радиационный метод определения технологически важных элементов при переработке сульфидных руд //Горный Вестник Узбекистана. – Навои, 2007. - №2 (29). -С.96-99 (05.00.00. №7)

11.Курбанов Б.И., Арипов Г.А., Кист А.А., Гапурова О.У. Применение ядерно-физических методов для определения ценных элементов в технологических продуктах медеплавильного производства // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2007. № 4 (9).- С.281-285 (01.00.00. №5)
12.КурбановБ.И., КистА.А., СаттаровГ.С. Исследования возможности контроля полноты насыщения сорбционной колонны рением при утилизации технологических отходов медеплавильного производства// Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2017. - №1(19). - С. 55-59 (01.00.00. №5)
13.КурбановБ.И., КистА.А., Курбанова Н.Б. Нейтронно-радиационная методика определения содержания азота в зерне и зерновых продуктах // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2017. - №5(19). - С. 307-313 (01.00.00. №5)
14. Урунбоев С.К., Курбанов Б.И., Шеров А.Г., Курбанов У.Т., Ирисматова А.И. Использование ядерно-физического метода для изучения распределения воды в почвах с разными степенями засоленности // Бюллетень науки и практики. – Россия, 2018. - № 10 (4). - С.223-229 (№1.Web of Sciences; IF=0.309)
15.Урунбоев С., Курбанов Б., Шеров А., Курбанов З. Исследования закономерности поглощения воды в почвах с применением ядерно-физических методов// ЖурналAGRO ILM. – Ташкент, 2019. -№ 4 (60).- С.81-82 (05.00.00. № 3).
16. Urunboev S.K., Kurbanov B.I., Sherov A.G. Studies of the Dynamics of Water Absorptionin Soil swith Different Types Using Nuclear-Physical Methods // International Journal of Multidisciplinary Research and Publications. – IJMRAP (India), 2019. -Vol.1, Issue 11. -pp.6-9 (№ 14. Research Bib; IF=5.302).

II бўлим (partII; IIчасть)

17.Aripov G.A., Kurbanov B.I. Facility for Study of Thermal Neutron Capture Gamma-Rays Spectra // The IIIInternational Conference «Modern problems of nuclear physics»: Book of Abstracts,Bukhara,August23-27, 1999.–Tashkent, 1999.-pp.195-196.
18.Aripov G.A., Kurbanov B.I. Use of Some Peculiarities of Neutron Capture Gamma-Spectra for Analytical Purposes //The III International Conference «Modern problems of nuclear physics»: Book of Abstracts, Bukhara, August23-27, 1999.–Tashkent, 1999. - pp.196-197.
19.Aripov G.A., Kurbanov B.I. Neutron-Radiation Method for Determination of Mixtures Component Concentration //The IV International Conference «Modern problems of nuclear physics»: Book of Abstracts,25-29 September, 2001. –Tashkent, 2001. - pp.237 - 238.
20.Aripov G.A., Kurbanov B.I. The Neutron - Radiation Device for Determination of Element Contents //The IV International Conference «Modern problems of

nuclear physics»: Book of Abstracts, 25-29 September, 2001. –Tashkent, 2001. -pp.263 - 264.
21. Aripov G.A., Kurbanov B.I. Analyses of Copper ore and Processing Products by Neutron Capture Gamma-Ray Spectrometry // Abstracts the Third Conference «Radioisotopes and Their Applications», 8 - 10 October, 2002.– Tashkent (Uzbekistan), 2002.- p.78.
22. Aripov G.A., Kurbanov B.I. Application of Neutron Capture Gamma-Ray Spectrometry for Analyses of Gold-Bearing ore and its Processing Products // Abstracts the Third Conference «Radioisotopes and Their Applications», 8 - 10 October, 2002.–Tashkent (Uzbekistan), 2002.- p.86.
23. Aripov G.A., Kurbanov B.I. Using the Cf ^{252}-Neutron Source for Elements Contents Control in Technological Process //Book of abstracts the Second Conference «Radioisotopes and Their Applications», 3-5 October, 2000. – Tashkent (Uzbekistan), 2002, - p.111.
24. Aripov G.A., Kurbanov B.I., Khudayberdieva D. Dynamical Analysis with the Help of Spectrometry of Gamma-Radiation of the Neutron Capture //The Fifth International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of abstracts, 12-15 August, 2003. –Tashkent, 2003.-p.259.
25. Aripov G.A., Kurbanov B.I. Possibilities of Combination of Neutron-Activation Method and Spectrometry of Gamma-Radiation Neutron Capture // The Fifth International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of abstracts 12-15, August, 2003. –Tashkent, 2003. -pp.303-304.
26. Kurbanov B.I. Application of Neutron-Radiation Analysis for Controlling Fullness of Saturation of Sorbtional Columns by Rhenium // 5-th International Conference “Nuclear and Radiation Physics”, 26-29 September, 2005.- Алматы(Казахстан), 2005. -С. 564-565
27. Kurbanov B.I. Determination of Elements by Combining Two Methods: Neutron-Radiation and –Activation Analysis // 5-th International Conference “Nuclear and Radiation Physics”, 26-29 September, 2005.– Алматы (Казахстан), 2005. -С. 566-567
28. Aripov G.A., Kurbanov B.I., Allamuratova G., Sanetullaev A. Determination of Some Light Elements in Complex Samples by Gamma-Ray Spectrometry of Neutron Capture// 5-th International Conference “Nuclear and Radiation Physics”, 26-29 September, 2005. –Алматы (Казахстан), 2005. -С. 567-568
29. Kurbanov B.I. Neutron-Radiative Method of Controlling Element Content in Production of Cement. // 5-th International Conference “Nuclear and Radiation Physics”, 26-29 September, 2005. –Алматы (Казахстан), 2005. -С. 582-583
30. Aripov G.A., Kurbanov B.I., Allamuratova G., Umaralyev M. Determination of the Contents of Nitrogen and Some other Light Elements by Prompt Gamma Activation Analysis. // The 6-th Intern. Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of Abstracts,19-22 September, 2006. – Tashkent (Uzbekistan), 2006. -p.254
31. Kurbanov B.I.,Aripov G.A., Allamuratova G., Umaraliev M.PGAA Method of the Control for Technologically Important Elements at Processing of Sulfide Ores //The 6-th Intern. Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”:

Book of Abstracts,19-22 September, 2006. – Tashkent (Uzbekistan), 2006. - p.297.
32. Kurbanov B.I. Nuclear Analytical Techniques for Control of Important Technological Elements for Extraction of Ammonium Perrhenate //The 6-th Intern. Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of Abstracts,19-22 September, 2006. – Tashkent (Uzbekistan), 2006. -pp.297-298.
33. Aripov G.A., Kurbanov B.I. The Device on the Base Cf-252 Neutron Source for Determination Element Contents by PGAA Method //4thEurasian Conference “Nuclear Science and Its Application”: Book of Abstracts,31 October – 03 November, 2006. – Baku (Azerbaijan), 2006. -p. 187.
34. Арипов Г.А., Курбанов Б.И. Определение концентрации некоторых легких элементов: H, B, N и S с использованием спектрометрии гамма-излучения захвата нейтронов»// Тезисы докладов международной конференции «Актуальные проблемы ядерной физики и атомной энергетики, 29 май – 03 июнь 2006. –Киев(Украина), 2006.–С.156.
35. Курбанов Б.И., Арипов Г.А., Гапурова О.У. Ядерно-физические методы контроля технологически значимых элементов при получении перрената аммония из промышленных отходов // Препринт ИЯФ АН РУ.- № Р-3-677.- Ташкент, 2006. - 28с.
36. Арипов Г.А., Курбанов Б.И. Нейтронно-радиационный метод определения технологически важных элементов при переработке сульфидных руд//Препринт ИЯФ АН РУ. - № Р-3-678.– Ташкент, 2006.- 28с.
37. Kurbanov B.I. Combination of the Prompt Neutron Capture Method with Other Neutron Methods for Substance Elemental Content Analysis // Proceedings of the 3-th Eurasian Conference “ Nuclear Science and its Application”, October, 5-8, 2004. – Tashkent (Uzbekistan), 2006. - pp. 295-297
38. Aripov G.A., Kurbanov B.I., Allamuratova G. Monitoring of Processes with Gamma-Rays of Neutron Capture and Short-living Radionuclides. // Proceedings of the 3-th Eurasian Conference “Nuclear Science and its Application”, October, 5-8, 2004. – Tashkent (Uzbekistan), 2006. -pp.332-334
39. AripovG.A., Kurbanov B.I., Sulaymanov N.T., Ergashev A. About Possibilities of Obtaining Focused Beams of Thermal Neutrons of Radionuclide Sourse// Proceedings of the 3-th Eurasian Conference “Nuclear Science and its Application”, October, 5-8, 2004. – Tashkent (Uzbekistan), 2006.-pp. 337-338
40. Курбанов Б.И. Нейтронно-радиационный метод определения содержания технологически важных элементов при переработке сульфидных руд// Тезисы докладов 6-ой Международной конференции «Ядерная и радиационная физика», 4-7 июня,2007.– Алматы (Казахстан),2007. - С.243-245.
41. Курбанов Б.И., Журакулов А.Р. Саноат ишлаб чиқариш корхоналари худудларида тупроқ ва сувдаги табиий радиоактивликни аниқлаш имкониятларини ўрганиш//Тезисы докладов Республиканской научной конференции «Замонавий физиканинг фундаментал ва амалий муаммолари», 25-26 май 2007.–Ташкент (Узбекистан), 2007. -С.158-159

42.Kurbanov B.I. Study of the Induced and Natural Radionuclides Sorption in Clay Bentonite of the “Djumurtau” Deposit // Intern. Conference “Fundamental Problems of Nuclear Physics, Atomic Power Engineering and Nuclear Technologies (Nucleus-2007), Voronezh (Russia), June 25-29, 2007: Book of Abstracts. - Saint-Petersburg (Russia), 2007.- p.247-248
43.Kurbanov B.I. The Method for Contents Determination Technologically Important Elements at Sulphide Ores Processing by Using Neutron Capture Gamma-Ray Spectrometry //Intern. Conference “Fundamental Problems of Nuclear Physics, Atomic Power Engineering and Nuclear Technologies (Nucleus-2007),Voronezh (Russia), June 25-29, 2007: Book of Abstracts. - Saint-Petersburg (Russia), 2007.- p.234-235.
44.Курбанов Б.И., Арипов Г.А. Спектрометрия гамма-излучения нейтронного захвата для определения концентраций компонентов смесей //Препринт ИЯФАНРУ. - № Р-3-686.–Ташкент, 2009. - 16с.
45. Kurbanov B.I., Umaraliev M.M. The Method of Non-Destructive Control of Elements Contents of Materials // 7-th International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of Abstracts,22-25 September, 2009.–Tashkent(Uzbekistan), 2009.- p.224.
46. Kurbanov B.I., Umaraliev M.M. Neutron – Radiation Method of Control of Sulfur Gold-Containing Ores Enrichment // 7-th International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of Abstracts, 22-25 September, 2009.–Tashkent (Uzbekistan), 2009. -pp. 224-225.
47. Курбанов Б.И., Кист А.А., Умаралиев М.М. Перспективы применения нейтронно-радиационного анализа элементного состава в горно металлургической промышленности Узбекистана // Труды Республиканской научной конференции «Современная физика и её перспективы», 12-13 ноября, 2009. –Ташкент,2009. -С.88-90.
48.Курбанов Б.И. Определение состава многокомпонентных объектов по мгновенному гамма-излучению нейтронного захвата //Сборник тезисов Республиканской конференции «Актуальные проблемы теоретической и ядерной физики». 23-24 октября, 2015. – Ташкент, 2015. - С. 33-36.
49.Kurbanov B.I. The Method of Dynamical and Non-Destructive Control of Elemental Contents. // International Symposium “New Trends of Development Fundamental and Applied Physics: Problems,Achievements and Prospects”, 10-11 November, 2016. –Tashkent,2016.-pp.360-361
50. Kurbanov B.I., Muzafarov A.M., Jurakulov A.R. Effective Deceleration of Fast Neutrons Radionuclide Sources for Spectrometry of Gamma-Radiation Neutron Capture // IX-International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies”: Book of Abstracts,24-27 September, 2019. – Tashkent, 2019. - pp.167-168.
51. Kurbanov B.I., Kurbanova N.B., Jurakulov A.R. Neutron Methods of Investigation of the Elemental Composition of Substances and Materials// IX-International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies”: Book of Abstracts 24-27 September, 2019. – Tashkent, 2019. - pp.169-170.

52. Kurbanov B.I., Muzafarov A.M., Turdiyev S.Yu. Nuclear-Physical Methods of Investigations of Some Rare Earth Elements in Samples of Ore Deposits of Uzbekistan// IX-International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies”: Book of Abstracts,24-27 September, 2019. – Tashkent, 2019. - pp.143-144.

Илмий маслахатчи И.И. Садиков

Талабгор Б.И.Курбанов