ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ ՍԵՐՈԲ ԳԱՌՆԻԿԻ

ԳՈՐՇ ԵՎ ԹԵՐԹԱՔԱՐԱՅԻՆ ՄԵՏԱՂԱԿԻՐ ԱԾՈՒԽՆԵՐԻՑ ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐՁՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ե.16.02 - «Մետալուրգիա» մասնագիտության տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսություն

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

АЙРАПЕТЯН СЕРОБ ГАРНИКОВИЧ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МЕТАЛЛОНОСНЫХ БУРЫХ И СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕЙ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - “Металлургия”

Ереван 2017

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝ տեխ. գիտ. դոկտ., պրոֆ. Վ.Հ. Մարտիրոսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝
տեխ. գիտ. դոկտ., պրոֆ. Մ.Վ. Մարտիրոսյան
տեխ. գիտ. թեկնածու Ք.Վ. Սարգսյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի ոսկերչական գործարան - 1
«ԳՆՈՄՈՆ» ԲԲԸ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ. նոյեմբերի 3-ին, ժամը 15^{00}-ին, Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող ՀՀ ԲՈՀ-ի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» մասնագիտական խորհրդի (դասիչ 031) «Մետալուրգիա» ենթախորհրդի նիստում:
Հասցեն՝ 0009, ք. Երևան, Տերյան փ., 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2017թ. սեպտեմբերի 27 - ին

031 մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար, տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆ. Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении.

Научный руководитель: докт. техн. наук, проф. В.А. Мартиросян
Официальные оппоненты: докт. техн. наук, проф. М.В. Мартиросян
канд. техн. наук К.В. Саргсян

Ведущая организация: Ереванский ювелирный завод -1 ООО ‘’ГНОМОН”

Защита диссертации состоится 03 ноября 2017г. в 15^{00} ч. на заседании под совета “Металлургия” специализированного совета “Металлургия и материаловедение” (шифр 031) ВАК РА, действующего при Национальном политехническом университете Армении, по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан 27 сентября 2017г.

Ученый секретарь специализированного

совета 031, докт. техн. наук, проф. А.М. ОГАНЕСЯН

ԱՏԵՆԱԽՏՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի հրատապությունը և արդիականությունը: Հայաստանի Հանրապետության ընդերքը հարուստ է գորշ և թերթաքարային ածուխների պաշարներով: Հանրապետության երկրաբանական տվյալները վկայում են, որ Ճամուտ, Անտառամուտ, Ջաջուռ, Ջերմանիս, Նոր-Արևիկ հանքավայրերը դասվում են մետաղաբեր հանածոների շարքին: Վերջինիս առնչությամբ հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ Նոր-Արևիկի թերթաքարային ածուխները՝ բացի թանկարժեք ոսկուց և արծաթից, պարունակում են նաև պլատինի խմբի մետաղներ (ՊԽՄ):

Ատենախոսական աշխատանքում, որպես ելանյութ օգտագործվել են Նոր-Արևիկի ածխածնային հանքանյութերը, որտեղ Au-ը կազմում է - 0,4, Ag - 1,8, Pt - 0,020, Pd - 0,025, իսկ ՊԽՄ-ի ընդհանուր պարունակությունը տատանվում է 0,1...1,0 գ/տ միջակայքում: Այս հանածոների՝ գրավիտացման եղանակով հարստացված, արտադրական խտանյութերում ազնիվ մետաղները կազմում են՝ Au-9,5, Ag-48,0, Pt+Pd - 1,0, իսկ ՊԽՄ-ի ընդհանուր պարունակությունը 8,0...10,0 գ/տ: Նոր-Արևիկի հանքանյութում պինդ ածուխի պարունակությունը մոտ 40% է, իսկ երկաթի և ալյումինի օքսիդներինը՝ շուրջ 8,0-ական %:

Համաձայն սպեկտրալ վերլուծությունների տվյալների, նշված ածխածնային հանքանյութերի որոշ տարատեսակներում առկա են Be, Cr, Cu, Ga, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Zn, Sc, Sr, Ti, V, Zr և Fe արժեքավոր մետաղներ: Քիմիական վերլուծությունների տվյալները ցույց են տալիս, որ մոլիբդենով հարուստ են (0,04-0,2%) Ջաջուռի, Ջերմանիսի և հատկապես Նոր-Արևիկի ածուխները:

Հաշվի առնելով ազնիվ մետաղների նկատմամբ մեծ պահանջարկը, բարձր շուկայական գինը և գորշ ու թերթաքարային ածուխներից էներգետիկական նշանակությամբ վառելանյութերի ստացման հնարավորությունները, տեղական մետաղակիր ածուխներից ազնիվ մետաղների և ածխային վառելանյութի համալիր կորզման տեխնոլոգիայի մշակումը հանրապետությունում ունի մեծ գիտագործնական նշանակություն և այդ տեսակետից ատենախոսության թեման արդիական է ու հրատապ:

Աշխատանքի նպատակը և խնդիրները: Ատենախոսության հիմնական նպատակն է մշակել տեղական մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխներից ազնիվ մետաղների կորզման ժամանակակից տեխնոլոգիա, որը կբավարարի ածուխների ջերմային պոտենցիալի շահավետ օգտագործման պահանջներին և բնապահպանական նորմերին: Նշված նպատակին հասնելու համար աշխատանքում առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները՝

- ազնիվ մետաղ պարունակող ածխածնային ելանյութերի մշակման մետալուրգիական գործընթացների

համեմատական վերլուծություն և առավել արդյունավետի ընտրում,

- ազնիվ մետաղ պարունակող ածխածնային և սուլֆիդային միներալների ջերմային քայքայման գործընթացի տեսական և թերմոդինամիկական հիմնավորում և օգտագործվող օքսիդիչների (O_2, H_2O, O_2+NaCl, H_2O+NaCl) դերի բացահայտում,
- ազնիվ մետաղ պարունակող ածխածնային հանքանյութերի նախապատրաստման՝ ջրով լվացման, ջերմային մշակման և թթուներով տարրալուծման գործընթացների հետազոտում, դրանց իրականացման օպտիմալ ռեժիմների որոշում և տեխնոլոգիական սխեմայի մշակում,
- ածխածնային խտանյութերից Au, Ag, Pt և Pd մետաղների կորզման նպատակով հալքանոթային հալման և թթուներով տարրալուծման համակցված գործընթացի հետազոտում և տեխնոլոգիայի մշակում,
- ածխածնային խտանյութերից Au, Ag, Pt և Pd մետաղների կորզման նպատակով մետաղաթերմային եղանակով հալման և թթուներով տարրալուծման գործընթացի հետազոտում և տեխնոլոգիայի մշակում,
- ածխածնային խտանյութերից Au, Ag, Pt և Pd մետաղների ստացման հալքանոթային հալման և թթուներով տարրալուծման համակցված տեխնոլոգիական գործընթացի տնտեսական գնահատում և հիմնավորում:

Դաշտանության ներկայացվող հիմնական դրույթներն են.

1. Ազնիվ մետաղ պարունակող ածխածնային ելանյութերի մշակման մետալուրգիական գործընթացների համեմատական վերլուծությունը և առավել արդյունավետ եղանակի ընտրումը:
2. Ածխածնային հանքանյութերի քիմիական և երկրաբանական կազմի և մետաղագրական խնդիրների հետազոտումը:
3. Ածխածնային և սուլֆիդային միներալների ջերմային քայքայման ռեակցիաների տեսական և թերմոդինամիկական վերլուծությունը:
4. Ածխածնային հանքանյութի նախապատրաստման՝ ջրով լվացման, օքսիդիչ այրման և թթուներով տարրալուծման գործընթացների հետազոտումը և սկզբունքային տեխնոլոգիայի նախանշումը:
5. Ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման՝ հալքանոթային հալման և թթուներով տարրալուծման, գործընթացի օպտիմալ ռեժիմների ընտրումը և տեխնոլոգիայի մշակումը:
6. Ածխածնային ելանյութերի մշակման մետաղաթերմային և թթվային տարրալուծման տեխնոլոգիայի մշակումը և օպտիմալ ռեժիմների ընտրումը:
7. Մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխներից ազնիվ մետաղների կորզման հալքանոթային հալման և թթվային

տարրալուծման տեխնոլոգիայի տեխնիկատնտեսական հիմնավորումը:

Աշխատանքի գիտական նորույթը: Առաջին անգամ մշակվել է տեղական՝ մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի նախապատրաստման՝ ջրով լվացման, թթուներով տարրալուծման և օքսիդիչ այրման, համալիր և սկզբունքային նշանակության տեխնոլոգիա, որը հնարավորություն է ընձեռնում բացահայտել ածխածնային հանքանյութերում բարդ միացությունների տեսքով հանդես եկող ազնիվ մետաղները: Արդյունքում ստացվում են մետալուրգիական գործընթացներում հեշտ մշակվող խտանյութ, որտեղ ոսկու պարունակությունը կազմում է 12,0, արծաթը՝ 59,0, իսկ պլատինը և պալադիումը միասին՝ շուրջ 1,2 գ/տ:

Մշակվել է ածխածնային խտանյութերից կապարի, պղնձի, երկաթի և այլ մետաղական կուտակիչներով ազնիվ մետաղների կորզման՝ հալքանոթային և մետաղաթերմիայի եղանակներով հալման տեխնոլոգիաներ: Փորձնական ճանապարհով որոշվել և հիմնավորվել են ազնիվ մետաղների կորզման հալքանոթային հալման գործընթացների օպտիմալ ռեժիմները և բովախառնուրդի կազմը:

Գիտափորձարարական հետազոտությամբ հիմնավորվել է մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով՝ պղնձի հիմքով բազմամետաղային կուտակիչով, հալման եղանակը, որտեղ օգտագործված բովախառնուրդը, բացի տեխնիկական սոդայից և բորակսից պարունակում է կերակրի աղ:

Ցույց է տրված, որ մետաղակիր ածխածնային խտանյութերի պիրոմետալուրգիական և հիդրոմետալուրգիական եղանակներով մշակման գործընթացների համատեղման արդյունքում ստացվող բարձր մաքրությամբ ոսկին և արծաթը կազմում են հումքի պարունակության մոտ 98%-ը, իսկ պլատինային մետաղները 50%-ը:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը: Մշակվել է տեղական մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման տնտեսապես շահավետ և բնապահպանական նորմերին բավարարող պիրոմետալուրգիական տեխնոլոգիաներ:

Մշակված՝ հալքանոթային հալման և թթվային տարրալուծման տեխնոլոգիայում խտանյութից ստացված ոսկու միջին պարունակությունը կազմում է 9,5 գ/տ, իսկ արծաթինը՝ 47,0 գ/տ, որոնք համապատասխանում են հումքում այդ տարրերի պարունակության 95 և 98%-ին: Նման պայմաններում ոսկու հետկորզվում է 4,0 գ/տ ՊԽՄ (կազմում են հումքի պարունակության մոտ 50%-ը), իսկ մնացած մասն անցնում է թթուներում չլուծված նստվածքների մեջ:

Ալյումինաթերմային եղանակով հալման և թթուներով տարրալուծման տեխնոլոգիան օժտված է հումքից ՊԽՄ բարձր կորզելու ունակությամբ՝ այստեղ ազնիվ մետաղներն

արդյունահանվում են խմբակային խտանյութի տեսքով, որը կազմում է հումքում այդ տարրերի պարունակության մոտ 70 %-ը:

Ատենախոսության տեսական, տեղեկատվական և մեթոդական հիմքերը: Ատենախոսության համար տեսական հիմք են ծառայել հայրենական և արտերկրյա գիտական աշխատությունները: Հետազոտությունների համար տեղեկատվական հիմք են հանդիսացել հրատարակված պաշտոնական տեղեկատուները և տեղեկագրերը, պարբերականները, արտոնագրերը, ԳՕՍՏ-երը և այլն: Հետազոտությունների ընթացքում կիրառվել են համակարգչային տեխնիկա, քիմիական, ջերմաձանրաչափական, ռենտգենակառուցվածքային, ատոմա-աբսորբցիոն սպեկտրասկոպիայի, մետաղագրական և այլ վերլուծական մեթոդներ:

Աշխատանքի արդյունքների հրապարակումները: Աշխատանքի հիմնական արդյունքները զեկուցվել են հետևյալ տեղական և միջազգային գիտաժողովներում.

- Հայաստանի Հանրապետության լեռնաերկրաբանական ծառայության մասնագետների հանրապետական գիտաժողովի նյութեր: Եր.: ԳԵՕԻԴ, 2004, 68…72 էջ:
- «Քիմիա և քիմիական տեխնոլոգիաներ» IV միջազգային գիտաժողով (14-18 սեպտեմբերի 2015 թ., Երևան):
- ՀԱՊՀ-ի 2015 թ. և 2016 թ. տարեկան գիտաժողովներ:

Ատենախոսության հիմնադրույթները և գործնական հանձնարարականներն ըստ մշակման ընթացքի զեկուցվել և քննարկվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» ամբիոնի գիտական սեմինարներում:

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները քննարկվել են «ԱՍՍԱԹ» ՍՊԸ-ում, որի արդյունքում ձեռնարկությունը նպատակահարմար է գտել ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման մշակված տեխնոլոգիաները ներդնել արտադրությունում համապատասխան պահանջարկի դեպքում:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրատարակվել են 8 գիտական հոդվածներում, որոնցից 2-ը առանց համահեղինակների են:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, հինգ գլուխներից, ընդհանուր եզրակացություններից և 118 անուն օգտագործված գրականության ցանկից: Այն շարադրված է 125 համակարգչային տպագիր էջում, ներառյալ 32 նկար, 26 աղյուսակ և մեկ հավելված:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

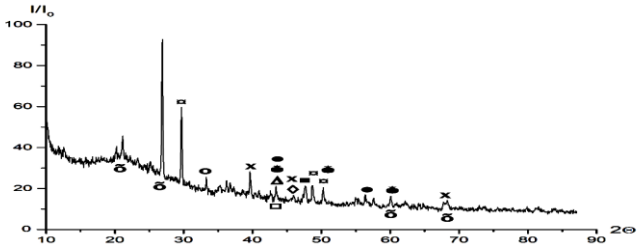
Ներածությունում հիմնավորվել է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված է թեմայի հիմնական նպատակը և պաշտպանության ներկայացվող

դրությունները և խնդիրները, ինչպես նաև աշխատանքի կիրառական նշանակությունները:

Առաջին գլուխում՝ կատարվել է հայրենական և արտասահմանյան գրական աղբյուրների՝ մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի մշակման և դրանց արգասիքներում առկա ազնիվ մետաղների կորզման՝ թթուներով տարրալուծման և պիրոմետալուրգիական եղանակներով ստացման տեխնոլոգիաների վերլուծություն, որի արդյունքում հիմնավորվել է աշխատանքի նպատակը և հետազոտության խնդիրները:

Երկրորդ գլխում՝ ուսումնասիրվել է ելանյութերի քիմիական և հանքաբանական կազմը, ընտրվել են ելանյութերը և ուսումնասիրվել դրանց բնութագրերը, համաձայն որի ոսկին կազմում է մոտավորապես 0,4 գ/տ, արծաթը՝ 1,8 գ/տ, պլատինը՝ 0,02 գ/տ, պալադիումը՝ 0,025 գ/տ, իսկ ՊԽՄ-ը միասին՝ 0,1-1,0 գ/տ: Ցույց է տրված, որ Նոր-Արևիկի հանքանյութերում ազնիվ մետաղները գտնվում են ալյումինասիլիկատային կառույցներում՝ ածխածնային տարրերի հետ սերտաճած երկաթի՝ պիրիտ, խալկոպիրիտ, մագնետիտ և այլ քիմիական կայուն միներալների կազմում: Ածխածնային ելանյութերի նախապատրաստման և դրանց արգասիքներում առկա ազնիվ մետաղների կորզման համար ընտրվել են պիրոմետալուրգիական տեխնոլոգիաներ և անհրաժեշտ սարքավորումներ:

Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութի ռենտգեն կառուցվածքային վերլուծության ռենտգենագիրը ներկայացված է նկ.1-ում:



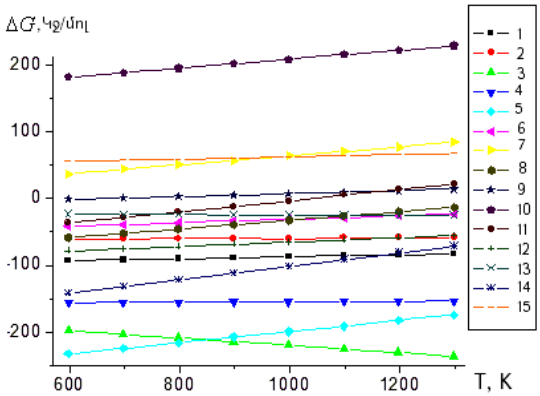
Նկ.1. Ածխածնային հանքանյութերից սինթեզված խտանյութի ռենտգենագիրը. **õ**-SiO_2, ¤-$CuFeS_2$, **o**-FeS_2, Δ-Fe_2C, ◊-FeMo, ▪-TiO_2, □-C, □-FeRe, ●-Re, **x**-Pt(Pd)

Երրորդ գլխում՝ կատարվել է մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացի թերմոդինամիկական հիմնավորում և օրինաչափությունների բացահայտում:

Բացահայտվել է մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերում՝ ազնիվ մետաղների սուլֆիդների

առկայությամբ, խառնուրդ մետաղների (երկաթի, պղնձի, նատրիումի, կալցիումի, մագնեզիումի) սուլֆիդների օքսիդացման, ստացված օքսիդների սիլիկատագոյացման (Na_2SiO_3), սուլֆատացման (Na_2SO_4) և քլորացման ռեակցիաների թերմոդինամիկական հնարավորությունները: Ցույց է տրվել, որ այդ պայմաններում ստացվում են ազնիվ մետաղների քլորիդներ և օքսիդներ, որոնց կարելի է առանձնացնել և ազնիվ մետաղները կորզել հայտնի մեթոդներով:

Ինչպես երևում է նկ. 2-ից (1 և 2 ռեակցիաներ) ջերմաստիճանը բարձրացնելիս ածխածնի այրման (CO-ի և CO_2-ի առաջացման) հավանականությունը նվազում է: Հակառակ երևույթն է նկատվում բնույթով ջերմանջատիչ 3, 4 և 5 ռեակցիաներում, քանի որ նրանց ընթացքն ակտիվանում է ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց: Հետևաբար ջերմաստիճանի բարձրացումից հետևում է, որ 1, 2 և 6....8 ռեակցիաների ընթանալու հավանականությունը կնվազի, իսկ 9-ի հավանականությունը կաճի: Չնայած Գիբսի էներգիաների փոփոխությունները վերը նշված ջերմաստիճաններում գրաֆիկորեն միմյանց նկատմամբ խիտ են տեղաբաշխված, սակայն ընդհանուր առմամբ երևում է, որ թերմոդինամիկորեն առավել հավանական են պիրիտի օքսիդացման ռեակցիաները՝ ինչպես առանց NaCl–ի (ռեակցիաներ 6,7), այնպես էլ NaCl+C-ի առկայությամբ (ռեակցիաներ 11,13), հավանական է նաև պիրիտ + NaCl + CO_2 ռեակցիաների թերմոդինամիկական հավանականությունները: Կարելի է ենթադրել, որ NaCl- ի առկայությունը մեծացնում է բոլոր օքսիդացման ռեակցիաների թերմոդինամիկական հավանականությունները:



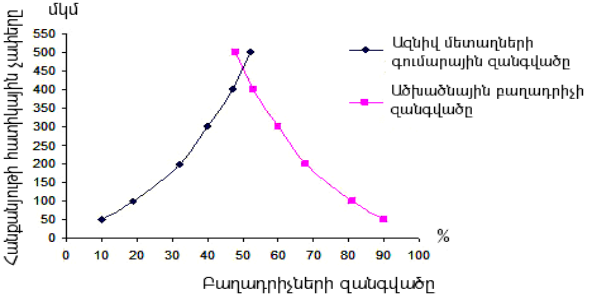
Նկ. 2. Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերում առկա ազնիվ մետաղների և դրանց միներալների փոխակերպման ռեակցիաների՝ Գիբսի էներգիայի կախումը ջերմաստիճանից. 1. $2Ag + 3/2O_2 + C = Ag_2O + CO_2$, 2. $Ag_2S + O_2 = 2Ag + SO_2$, 3. $Ag_2S + 5/2O_2 + C = Ag_2O +$

$SO_2 + CO_2$, 4. $Ag_2S + 2O_2 + C = 2Ag + SO_2 + CO_2$, 5. $Ag_2S + 3O_2 + C + 2NaCl = 2AgCl + Na_2SO_4 + CO_2$, 6. $2Au + 3/2O_2 + C + 2NaCl = 2AgCl + Na_2O + CO_2$, 7. $2Au + 3/2O_2 = Au_2O_3$, 8. $2Au + 5/2O_2 + C = Au_2O_3 + CO_2$, 9. $2Au + 2NaCl + 3/2\ O_2 + C = 2AuCl + Na_2O + CO_2$, 10. $2Au + 6NaCl + 5/2\ O_2 + C = 2AuCl_3 + 3Na_2O + CO_2$, 11. $Au + 2NaCl + 7/4O_2 + 5/2\ H_2O + C = Au(OH)_3 + Na_2CO_3 + 2HCl$, 12. $Pt + 3/2\ O_2 + C + 2NaCl = PtCl_2 + Na_2CO_3$, 13. $Pt + 3/2\ O_2 + C + 2NaCl = PtCl_2 + Na_2O + CO_2$, 14. $Pt + 3O_2 + 2C + 4NaCl = 2PtCl_4 + 2Na_2CO_3$, 15. $Pt + 2O_2 + C + 4NaCl = PtCl_4 + 2Na_2O + CO_2$

Ինչ վերաբերում է ազնիվ մետաղների սուլֆիդների օքսիդացման ռեակցիաների թերմոդինամիկական հավանականությանը, ապա ավելի հավանական են արծաթի սուլֆիդի օքսիդացման ռակցիաները, ինչպես NaCl-ի, այնպես էլ NaCl + C խառնուրդի առկայությամբ ընթացողները, որոնք ունեն Գիբսի էներգիայի համեմատաբար բացասական արժեքներ:

Չորրորդ գլխում՝ կատարվել է մետալուրգիական գործընթացների արդյունավետության բարձրացման նպատակով մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի մշակման՝ ջրային լվացման և գոյացած ծանր արգասիքների այրման ու թթուներով տարրալվացման գործընթացների հետազոտություն և օրինաչափությունների բացահայտում

Ջրով լվացման եղանակը սկզբունքորեն նման է հանքանյութերում առկա ազնիվ մետաղների հարստացման՝ արտադրությունում տարածված գրավիտացման գործընթացին: Ազնիվ մետաղների և տեխնիկական նշանակությամբ ածուխների առանձնացման գործընթացը համատեղվել է մեկ ընդհանուր գործընթացի մեջ: 100 գ ելանյութ հանքանյութի ջրով մշակումից ստացված տվյալները վկայում են, որ նշված գործընթացի արդյունքները հիմնականում կախված են ելանյութ հանքանյութի հատիկային չափերից: Նկ. 3 - ում բերված են այդ փորձարկումների արդյունքների գրաֆիկական պատկերը:



Նկ.3. Ջրային լվացման արգասիքների զանգվածային փոփոխությունները կախված հանքանյութի հատիկային չափերից

Ինչպես երևում է նկ.3-ից, հանքանյութի 50 մկմ հատիկային չափերի դեպքում առանձնացված

ածխածնասիլիկահողային բաղադրամասը համապատասխանում է 90% արժեքին, իսկ ծանր մետաղների խտանյութը կազմում է օգտագործված ելանյութի մոտ 1/10-րդ մասը:

Որոշվել են նաև մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերում և դրանց ջրով լվացման փորձերում սինթեզված ու գրավիտացման եղանակով հարստացված արտադրական խտանյութերում Au-ի և Ag-ի պարունակությունները, որոնք բերված են աղյուսակում:

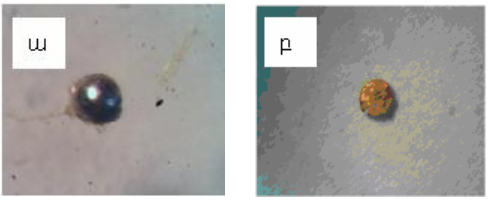
Աղ.-ում բերված ելանյութ խտանյութերի կողքի թվերը ցույց են տալիս թե այն հանքանյութի զանգվածի որ մասն է կազմում: Դորեի համաձուլվածքներում ոսկու և արծաթի զանգվածների հարաբերությունները (արտահայտված %-ով) համապատասխանում են՝ Au : Ag = 1 : 5:

Աղյուսակ

Ածխածնային հանքանյութում և դրամշակման արգասիքներում ոսկու և արծաթի պարունակությունները

Ելանյութերի տեսակները	Դորեի համաձուլվածք, մգ	Au		Ag	
		%	գ/տ	%	գ/տ
Ածխածնային հանքանյութ	0,215	16,3	0,35	83,7	1,8
Սինթեզ խտանյութ – 1/2	0,422	17,1	0,72	82,9	3,5
Սինթեզ խտանյութ – 1/2,5	0,540	16,7	0,90	83,3	4,5
Սինթեզ խտանյութ – 1/5	0,513	16,2	1,67	83,8	8,8
Սինթեզ խտանյութ – 1/10	1,035	14,5	3,50	85,5	17,3
Արտադրական խտանյութ - 1/30	2,845	16,7	9,50	83,3	47,5

Նկ. 4-ում բերված են ստացված Դորեի համաձուլվածքի (ա) և ոսկու (բ) մակրոկառուցվածքները:



Նկ. 4. Դորեյի համաձուլվածքի (ա) և ոսկու (բ) մակրոկառուցվածքը (x 50)

Ածխածնային հանքանյութերի գազայնացման գործընթացը ընթանում է օդի և ջրային գոլորշիների առկայության պայմաններում: Այս եղանակով այրման գործընթացներում գոյանում են 1000oC-ից բարձր ջերմաստիճաններ, որոնցում

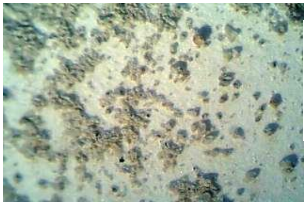
ջերմային էներգիան օգտագործվում է հումքում առկա մետաղների հալման համար:

Փորձում որպես հումք օգտագործվել է 15-30 մմ չափերի մոտ 8 կգ ածուխ, որոնց երկու ժամ այրումից հետո գոյանում է մոտ 4,8 կգ խարամ: Վերջիններիս կազմում առկա ազնիվ մետաղները հետազոտելու համար գործածվել են պիրոմետալուրգիայի աղային քլորացման և տիգելային հալման եղանակները: Արդյունքում ստացված ազնիվ մետաղներ պարունակող նստվածքից երկաթը հեռացվել է խիտ աղաթթվով, ապա նաև ազոտական թթվով տարրալուծմամբ: Փորձի արդյունքում ստացվում է մոտ 8 մգ զանգվածով ազնիվ մետաղների խտանյութ, որն ունի արծաթափայլ տեսք: Բացի նշված մետաղներից այդ վերջնական արգասիքում շատեն գորշ գույնի և մագնիսական հատկություններով օժտված մասնիկները, որոնցում ազնիվ մետաղների առկայությունը բացառված չէ:

Ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման եղանակով փորձարկումները կատարվել են 600...700°C ջերմաստիճանային տիրույթում: Այրման արդյունավետությունը՝ ըստ արտանետվող ածխածնային գազերի քանակության, բարձրացնելու նպատակով փորձերում նպատակահարմար է եղել գործածել մինչև 1 մմ հատիկայնության ածխածնային հումք, որն ընթացել է օդի թույլ հոսքի առկայության պայմաններում:

Ջերմային մշակման փորձերի արդյունքները քննարկելիս, որպես հիմք ընդունվել են վերը նշված ջերմաստիճաններում մոտ երկու ժամ ընթացող այրման փորձերի արդյունքները, համաձայն որոնց ելանյութ հանքանյութերի զանգվածը պակասում է մոտ 48%-ով, իսկ խտանյութերինը՝ 25 ...30%-ով:

Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի թթվով տարրալուծման նպատակն ածխածնային ելանյութերի այրման արգասիքներից երկաթի հեռացումն է, քանի որ դրանք ևս օժտված են թթվային լուծույթներից ազնիվ մետաղները վերականգնելու ունակությամբ: Նշված գործընթացում ազնիվ մետաղների հնարավոր կորուստների կանխման համար աղաթթվով տարրալուծումները կատարվում են նուրբ չափերով ածխածնային հավելանյութի ներկայությամբ: Ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ նման մոտեցմամբ տարրալուծումը նպաստում է նշված խնդրի բավարար մակարդակով լուծմանը: Որպես վերջինիս հիմնավորում, ստորև ներկայացված է լաբորատոր փորձանմուշի տարրալուծված այրուքի մակրոկառուցվածքը (նկ. 5), որտեղ SiO_2-ի սպիտակ հատիկների միջակայքերում առկա են Au-ի և Ag-ի տարրերը:



Նկ. 5. Լաբորատոր ածխածնային խտանյութի աղաթթվով տարալուծված-այրուքի մակրոկառուցվածքը (x 50)

Առավել հաջողված են մինչև 100 մկմ չափերով այրուքի խիտ աղաթթվով և նրա 1:1 հարաբերությամբ լուծույթով տարրալուծման (պ:հ=1:6) գործընթացները, որոնք ընթանում են 70...80°C ջերմաստիճաններում: Համաձայն ստացված տվյալների, նշված պայմաններում տարրալուծումներից գոյացած պինդ արգասիքներում ազիվ մետաղների պարունակությունը՝ համեմատելանյութի, ավելանում է 10-20 %-ով:

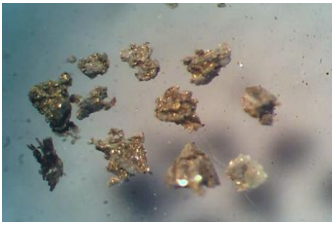
Մետաղակիր ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման հալքանոթային հալման գործընթացի ժամանակ փորձարկվել են տարբեր՝ մետաղական կապարի և պղնձի հիմքով, ազնիվ մետաղների կուտակիչները:

Կապարյա կուտակիչի դեպքում որպես ելանյութ օգտագործվել են ածխածնային հանքանյութերի և վերջինիս գրավիտացման միջոցով հարստացված արտադրական խտանյութերի այրուքները: Այդ ելանյութերի 50-100 գ զանգվածով փորձանմուշները հալվել են 1000...1150°C ջերմաստիճաններում՝ 80 գ տեխնիկական սոդայի, 40 գ բորակսի, 60 գ կապարի օքսիդի (գլյոտ) և 3...5 գ ածխածնի հետ միասին: Այս հալումների արդյունքում հումքում առկա ազնիվ մետաղները հավաքվում են կապարի հիմքով կուտակիչի կամ վերկբլեյի մեջ, որոնցից այնուհետև առանձնացվել են ցեմենտյա տիգելի մեջ՝ օքսիդիչ հալման (920...980°C) կամ կուպելացման միջոցով: Վերջինիս արդյունքում տիգելի հատակին գոյանում է ազնիվ մետաղների համաձուլվածք, որն ազոտական թթվի նոսր լուծույթով տարրալուծումից հետո Au-ը և Pt-ը մնում են պինդ նստվածքի կազմում, իսկ Ag-ը՝ մասամբ նաև Pd-ը, անցնում են լուծույթի մեջ:

Ածխածնային հանքանյութերի կապարային կուտակիչով հալման գործընթացներում կորզված ազնիվ մետաղների միջին պարունակությունները կազմում են՝ Au - 0,34, Ag - 1,7 գ/տ, իսկ խտանյութերի օգտագործման դեպքում՝ Au - 9,50, Ag - 47,5 գ/տ:

Արծաթի հավելումով հալման փորձերում ածխածնային խտանյութը օգտագործվել է առանց ջերմային մշակման: Դրանցում գոյացած կապարի հիմքով վերկբլեյի կուպելացումից ստացված արծաթի հիմքով ազնիվ մետաղական համաձուլվածքի ազոտական թթվի նոսր լուծույթով տարրալուծման արդյունքում ստացված ոսկու և ՊԽՄ-ի

պարունակությամբ համաձուլվածքի մակրոկառուցվածքը ներկայացված է նկ.6-ում:



Նկ.6. Ազնիվ մետաղների համաձուլվածքի թթվով քայքայումից գոյացած 0,55 մգ ոսկի-պլատինային համաձուլվածքի մակրոկառուցվածքը (x100)

Արդյունքում կապար-արծաթային կուտակիչի օգտագործմամբ, բացի ոսկուց կորզվում են նաև մոտ 1,5 գ/տ պարունակությամբ ՊԽՄ, որոնցում ածխածնային խառնյութերի հալման և դրանց արգասիքների կուպելացման ջերմաստիճանները կազմում են 1000...1150 և 920...980°C:

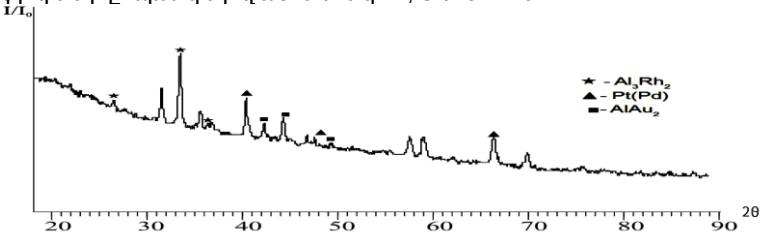
Հերթական փորձերում որպես ազնիվ մետաղների կուտակիչ օգտագործվել է պղնձի քիմիապես մաքուր՝ $CuCl_2.2H_2O$ քլորիդը, որի դեպքում կորզված Au-ը կազմում է հումքի պարունակության մոտ 40, իսկ Ag-ը՝ մինչև 15%-ը: Այս շարքում հաջողվածը պղնձի հիմքով բազմամետաղային կուտակիչի (Au-ի պարունակությունը կազմում է 2,0...2,5 գ/տ, իսկ Ag-ը մոտ 50,0 գ/տ) օգտագործմամբ փորձերն են, որոնցում ածխածնային խառնյութի հալման բովախառնուրդը բացի տեխնիկական սոդայից և բորակսից պարունակում է կերակրի աղ: Այս գործընթացում (1200°C-ում) կորզված ոսկի պլատինային համաձուլվածքը կազմում է 2,3 մգ (16,5 գ/տ), Ag-ը՝ 9,3 մգ (56,0 գ/տ), որից հետևում է, որ ՊԽՄ-ը այստեղ կազմում են մոտ 4,0...4,5 գ/տ:

Ազնիվ մետաղների կորզման բարձրջերմաստիճանային ինքնատրածվող սինթեզի (ԲԻՍ) պլյումինաթերմային եղանակում՝ ածխածնային ելանյութերի հալման բովախառնուրդը պարունակում է Fe_2O_3, CuO, CuS մետաղական կուտակիչներ և ֆլյուսացնող՝ $NaNO_3$, CaO - և այլ նյութեր: Փորձերում օգտագործված դյուրավառ պլյումինի հատիկային չափերը ցածր են 300 մկմ-ից, իսկ բովախառնուրդի բոցավառման հարուցիչը տիտանի և ածխածնի դիսպերս խառնուրդն է:

Պլյումինաթերմային վերականգնման եղանակի արդյունքներն ըստ կորզվող ոսկու և արծաթի պարունակությունների նման են ածխածնային խառնյութերի հալքանոթային հալման գործընթացին: Համաձայն դրանցում ստացված տվյալների՝ վերականգնված մետաղական կառույցներ են անցնում ոչ միայն Au-ը, Ag-ը, այլ նաև որոշ դժվարահալ հազվագյուտ և պլատինային մետաղներ: Վերջիններս հիմնականում հավաքվում են երկաթի մեջ, առաջացնելով համակցված (Pt,Fe կամ պալիքսեն) միացություններ, որոնց ռենտգենակառուցվածքային վերլուծություններով

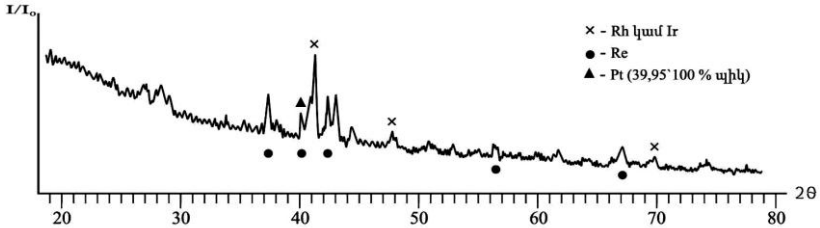
տարբերակումն երբեմն անհնար է, քանի որ Pt –ի և Pd-ի երկաթային միացություններն ըստ կառուցվածքային տվյալների նման են ռենիումի համապատասխան միացություններին, իսկ Pt, Pd և Rh տարրերը նման են պլատինի դժվարահալ ուղեկիցներին:

Կատարված փորձերի արդյունքում ստացված մետաղական զանգվածների, դրանց տարբեր թթուներով մշակված արգասիքների և հարստացված խարամի ռենտգենակառուցվածքային վերլուծությունների գրաֆիկները պատկերված են նկ. 7, 8 և 9-ում՝

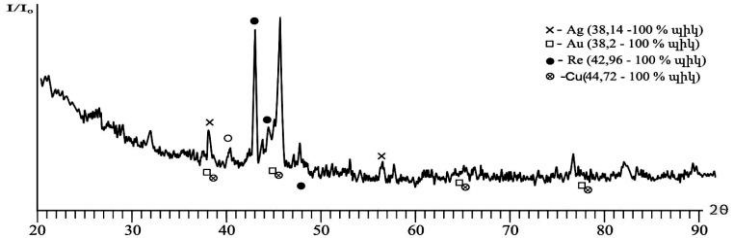


Նկ.7. Ազնիվ մետաղներ պարունակող արգասիք՝ ★- Al_3Rh_2 (33,31-100%),
▲- Pt(Pd) (40,17-100%), ■ - $AlAu_2$ (41,64-100%)

Ալյումինաթերմային արգասիքների ուսումնասիրման նպատակով օգտագործվել է ազնիվ մետաղների որոշման հարգորոշիչ գրավիմետրական եղանակը: Համաձայն հետազոտության արդյունքների, ալյումինաթերմային գործընթացում որպես ելանյութ օգտագործված խտանյութերից կորզված ազնիվ մետաղների միջին արժեքները կազմում եմ՝ Ag-9,5, Au-1,9, իսկ Pt-ի հիմքով մետաղները՝ մոտ 1,5 գ/տ:



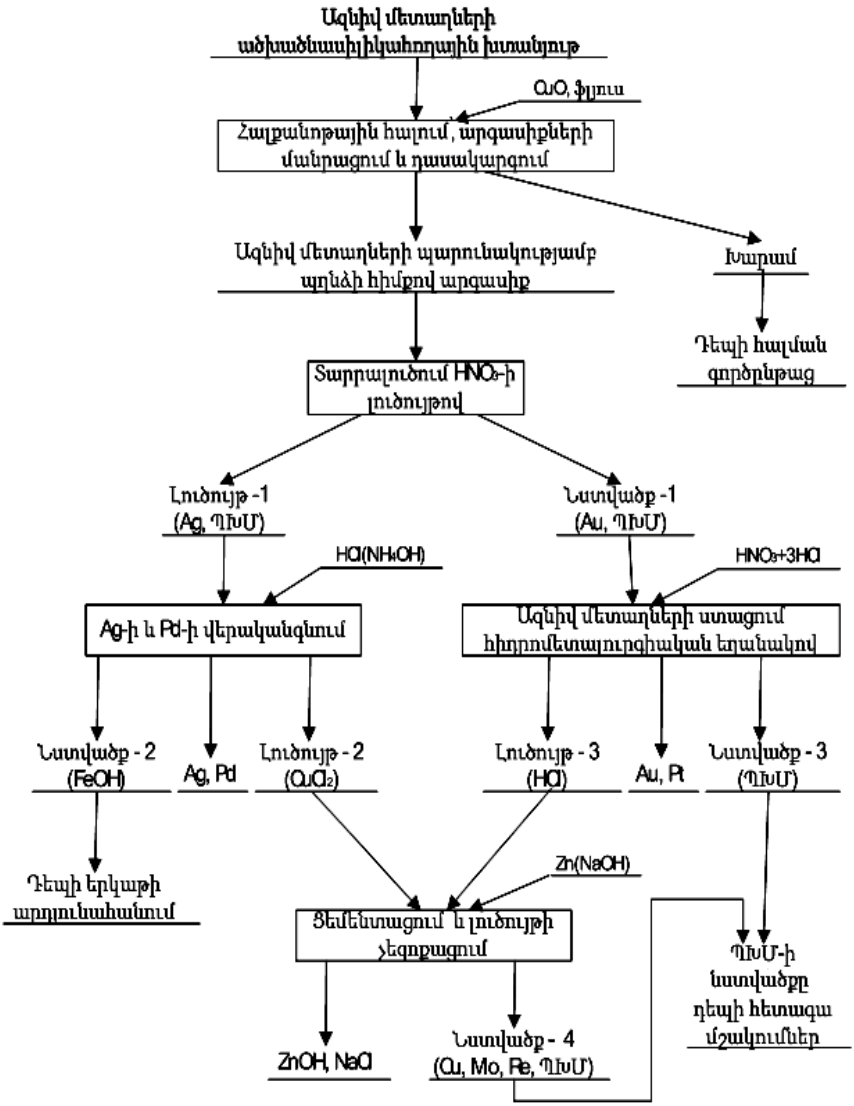
Նկ. 8. Ազնիվ մետաղ պարունակող արգասիք՝ x - Rh (41,00-100%) կամ Ir
(40,62-100%), ▲- Pt (39,95-100%), ● - Re (42,82-100%)



Նկ. 9. Ազնիվ մետաղ պարունակող արգասիք՝ ●- Re (37,28, 40,14, 42,78-100%), □ - Au, x -Ag, Θ-Cu

Հիմնվելով տեսական և փորձարարական տվյալների վրա, մշակվել է ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային ելանյութերի մշակման հալքանոթային հալման և թթուներով տարրալուծման համակցված տեխնոլոգիա, որի սխեմաբերված է նկ.10-ում:

Հինգերորդ գլխում՝ կատարվել է մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի գրավիտացման եղանակով հարստացված արտադրական խտանյութերի հալքանոթային եղանակով հալման տեխնոլոգիայի տեխնիկատնտեսական հիմնավորում: Համաձայն դրանց արդյունքների Նոր-Արևիկի 20 միլիոն տոննա հանքանյութի մշակումից ստացվող համախառն արտադրանքը համապատասխանում է մոտ 24,3 միլիարդ դրամին, որում հասույթի բաժինը կազմում է 120600 միլիոն դրամ:



Նկ. 10. Ածխածնասիլիկահողային խտանյութերի ազնիվ մետաղների կորզման հալքանոթային հալման և հիդրոմետալուրգիական եղանակներով մշակման համակցված տեխնոլոգիական սխեմա

ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Գրականության վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված, որ ածխածնային հանքանյութերի վերամշակման հիդրոմետալուրգիական եղանակներն արդյունավետ չեն, քանի որ թթուներով տարրալուծման ընթացքում ածխածինը հանդես է գալիս որպես մետաղների վերականգնիչ, որի արդյունքում հումքի ազնիվ մետաղները հայտնվում են պչանքում: Նման բարդությունները նկատվում են նաև հանքանյութերի այրուքների թթվային տարրալուծման ժամանակ, ինչը պայմանավորված է ազնիվ մետաղներով աղքատ և վերականգնիչ հատկանիշներով օժտված՝ ածխածնային և երկաթի ու պղնձի սուլֆիդային միացությունների պարունակությամբ հումք օգտագործելու հետ: Ցույց է տրված, որ ազնիվ մետաղների կորզման հիդրոմետալուրգիակամ գործընթացներում առկա խնդիրները շրջանցելու համար նպատակահարմար է օգտագործել ածխածնային ելանյութերի՝ հալքանոթային և մետաղաթերմային եղանակներով, հալման պիրոմետալուրգիական գործընթացները: Պահանջվող տեխնոլոգիայի մշակման նպատակով փորձերում կօգտագործվեն ազնիվ մետաղների կորզման համար տարբեր մետաղական կուտակիչներ (մետաղական կապար, կապար արծաթային համաձուլվածք, պղինձ, երկաթ), իսկ դրանցում գոյացած մետաղական ելքերի մեջ ազնիվ մետաղների բացահայտումը կիրականացվի այդ միջանկյալ արգասիքները կապարով կուպելացնելու և թթուներով տարրալուծելու միջոցներով

2. Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով, որպես հումք ընտրվել է Հայաստանի Հանրապետության Նոր-Արևիկի մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխները: Ուսումնասիրվել է այդ ելանյութերի միներալոգիական կազմը և քիմիական բաղադրությունը, համաձայն որի ոսկին կազմում է մոտ 0,4 գ/տ, արծաթը՝ 1,8 գ/տ, պլատինը՝ 0,02 գ/տ, Pd-ը 0,025 գ/տ, իսկ պլատինայինմետաղները միասին՝ 0,1 - 1,0 գ/տ:

3. Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման համար ընտրվել և հիմնավորվել է ջրով լվացման և ստացված ծանր մետաղների արգասիքի այրման ու թթվով տարրալուծման համալիր գործընթացներ, իսկ դրանց արգասիքներից ազնիվ մետաղները կորզելու համար՝ համակցված պիրո-հիդրոմետալուրգիական եղանակներ:

Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի նախնական մշակման և ազնիվ մետաղների կորզման գործընթացների իրականացման նպատակով մշակվել է հետազոտման մեթոդիկա, որն իր մեջ ընդգրկում է դասական հիդրոմետալուրգիական, ատոմային աբսորբցման, հարգորոշիչ գրավիմետրական,

ռենտգենակառուցվածքային վերլուծման եղանակները և դրանց նորագույն տեխնիկական միջոցները:

4. Կատարվել է մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացի թերմոդինամիկական հիմնավորում, համաձայն որի ածխի այրման և գազայնացման ռեակցիաների արդյունքում հնարավոր է ածխածնային բաղադրիչի մեծամասամբ հեռացում, ազնիվ մետաղներ պարունակող քիմիապես կայուն միներալների քայքայում՝ հատկապես բարձր ջերմաստիճաններում CO գազը նպաստում է միներալների օքսիդացմանը, իսկ NaCl-ը՝ քլորացմանը, ինչպես նաև հնարավոր է լուծելի և անլուծելի կարբոնատների և սիլիկատների ստացում:

5. Կատարվել է մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի նախապատրաստման (ջրով լվացման, գազայնացնող այրման, թթուներով տարրալուծման) եղանակների հետազոտություն՝ ածխածնի հեռացմամբ և ազնիվ մետաղներով բացահայտված սիլիկահողային խտանյութի ստացմամբ: Ցույց է տրվել, որ լավագույն արդյունքներ են ստացվում ջրով լվացման և ստացված ածխածնասիլիկատային արգասիքների այրման ու թթվային տարրալվացման համալիր գործընթացների դեպքում: Մշակվել են նշված գործընթացներից յուրաքանչյուրի օպտիմալ ռեժիմների և համալիր մշակման սկզբունքային տեխնոլոգիա: Մշակված տեխնոլոգիայով սինթեզված լաբորատոր խտանյութերում ազնիվ մետաղների քանակությունը գերազանցում է արտադրական խտանյութերին, համաձայն որի Au-ը կազմում է 12,0, Ag՝ 59, իսկ Pt+Pd՝ մոտ 1,2 գ/տ:

6. Մշակվել է ածխածնային ելանյութերում առկա ազնիվ մետաղների կորզման պիրոմետալուրգիական եղանակ, համաձայն որի սկզբում կիրառվել է կապարի կուտակիչով և ֆլյուսներով հալքանոթային հալման գործընթաց, որից հետո ստացված վերկբլեյից ազնիվ մետաղները կորզվել են կուպելացման և ստացված համաձուլվածքը թթուներով տարրալուծելու մեթոդներով: Գրավիտացման եղանակով ստացված արտադրական խտանյութերի օգտագործման պարագայում ստացվող Au-ը կազմում է 9,50, իսկ Ag-ը՝ 47,5 գ/տ: Ցույց է տրված, որ հալման եղանակն արդյունավետ է ածխածնային ելանյութերում պարունակվող ոսկին և արծաթը կորզելու համար՝ քանի որ այնի հնարավորություն է ընձեռնում կորզել նշված ազնիվ մետաղների հումքի պարունակությունների մոտ 97%-:

7. Մշակվել է հալքանոթային հալման տեխնոլոգիա կապար-արծաթային կուտակիչի օգտագործմամբ, համաձայն որի ստացված Ag-ը կազմում է մոտ 46,0 գ/տ, իսկ արծաթի թթվով տարրալուծումից հետո ստացված Au-ի հիմքով միացությունը համապատասխանում է պարունակության 11,0 գ/տ ցուցանիշին: Ցույց է տրված, որ բացի արծաթից և ոսկուց այս

գործընթացում հնարավոր է կորզել մինչև 1,5 գ/տ պլատինայի մետաղներ:

8. Մշակվել է հալքանոթային հալման տեխնոլոգիա պղնձի հիմքով բազմամետաղային կուտակիչի օգտագործմամբ, համաձայն որի գոյացած մետաղական միացություններից ազնիվ մետաղները կորզվել են թթուներով տարրալուծելու միջոցով: Ցույց է տրված, որ մշակված բովախառնուրդի և հալման օպտիմալ ջերմաստիճանների (1150…1200°C, 2,0 ժամ) շնորհիվ գրավիտացման խտանյութերից կորզված ազնիվ մետաղների քանակությունը ավելանում է կազմելով՝ Au- 10,0 գ/տ, Ag -50,0 գ/տ, իսկ ՊԽՄ՝ 4,0-5,0 գ/տ:

9. Մշակվել է լաբորատոր պայմաններում սինթեզված ածխածնային խտանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման ալյումինաթերմային եղանակ՝ ԲԻՍ գործընթաց, որն ընթանում է 2000…2500°C ջերմաստիճանային միջակայքում՝ ազնիվ մետաղների Fe_2O_3, CuO, CuS կուտակիչների և $NaNO_3$ ու CaO ֆլյուսների առկայությամբ: Ցույց է տրվել, որ հալման արգասիքներում առկա ազնիվ մետաղները կորզելու համար պետք է կատարել թթուներով տարրալուծման գործընթաց: Բացահայտվել է, որ այս եղանակով կորզվում են ոչ միայն ոսկին և արծաթը, այլ նաև ՊԽՄ-ը, որոնք հանդես են գալիս երկաթի հետ համակցված վիճակում՝ երկաթի (ՊԽՄ+Mo+Re) բարդ միացության տեսքով: Ցույց է տրված, որ այս դեպքում ամենաարդյունավետ կուտակիչը պղինձն է և ալյումինը, և ազոտական թթվի լուծույթով մշակված մետաղական ելքում Au-ը կազմում 1,9 գ/տ, ՊԽՄ-ը (Pt, Rh)՝ 1,5 գ/տ, իսկ Ag-ը՝ 9,5 գ/տ:

10. Կատարվել է մետաղակիր ածուխներից ազնիվ մետաղների ստացման հալքանոթային հալման տեխնոլոգիայի տեխնիկատնտեսական հաշվեկշռի հիմնավորում, համաձայն որի Նոր-Արևիկի հանքայուքի գրավիտացման եղանակով հարստացման արդյունքում ստացվում է մոտ 670,0 միլիոն տոննա արտադրական խտանյութ, որի հալքանոթային հալման և դրանց արգասիքների թթուներով տարրալուծման եղանակով մշակումից ստացվող հասույթը կազմում է մոտ 121,0 միլիարդ դրամ: Արգասիքներում ազնիվ մետաղների դրամական արժեքը գումարը կազմում է 28,8%: Բացի ազնիվ մետաղներից ստացվում է մոտ 7,0 միլիոն տոննա տեխնիկական ածուխ, որը համապատասխանում է 140,0 միլիարդ դրամին և կազմում է համախառն արտադրանքի 17,2%-ը և ալյումին ու երկաթ պարունակող հումք, որը համապատասխանում է 440,0 միլիարդ դրամին և կազմում է համախառն արտադրանքի 54,0%-ը:

Ատենախոսության հիմնական դրույթներն արտացոլված են հետևյալ գիտական աշխատանքներում՝

1.**Հայրապետյան Ս.Գ., Բունիաթյան Վ.Վ., Դաշտոյան Հ.Ռ.** Հայաստանի ածուխների համալիր վերամշակման ուսումնասիրությունը // ՀՃԱ ԼՐԱԲԵՐ.-2013. - Գիտատեխնիկական հոդվածների ժողովածու.- Երևան.- Հատ.10, № 1.- էջ 75-78:

2.**Айрапетян С.Г., Мартиросян В.А.** Технология переработки благородных металлсодержащих сланцевых и бурых углей Армении // Вестник ГИУА.- Серия “Хнмические и природоохранные технологии”. 2014. Вып. 17, № 2.- С. 60-66.

3.**Айрапетян С.Г., Мартиросян В.А.** Исследование возможности извлечения золота и серебра из сланцевых углей Армении // Изв. НАН РА и НПУА. Серия Техн. Науки.-2015.- Т. 68, № 2.- С. 149-153.

4.**Հայրապետյան Ս.Գ.** Այրվող թերթաքարերում և գորշ ածուխներում պարունակվող ազնիվ մետաղների կորզման տեխնոլոգիական ուրվագծի մշակումը // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- Տեղ. ՏԳ սերիա. 2016.- Հ. LXIX, № 1.- էջ 20-27:

5.**Мартиросян В.А., Айрапетян С.Г., Сасунцян М.Э.** Химико-металлургические процессы извлечения благородных металлов из бурых и сланцевых углей Республики Армения // Вестник НПУА.-Сер. Металлургия, материаловедение, недропользование. 2016, № 2.- С. 9-16.

6.**Հայրապետյան Ս.Գ.** Ածխածնային հանքանյութերի ազնիվ մետաղների՝ հալքանոթային մեթոդով ստացման գործընթացի հետազոտումը // ՀԱՊՀ- Լրաբեր.-Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2016.-Մաս, № 2.- էջ 592-597:

7.**Հայրապետյան Ս.Գ., Մարտիրոսյան Վ.Հ., Տեր-Գալստյան Օ.Պ** Ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների մետաղաթերմիական եղանակով կորզման գործընթացի հետազոտություն // ՀԱՊՀ - Լրաբեր. -Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2017. - Մաս, № 2.- էջ 848-855:

8.**Հայրապետյան Ս.Գ., Մարտիրոսյան Վ.Հ.** Ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացի թերմոդինամիկական վերլուծություն // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- 2017.- Հ. LXX, № 1.- էջ 39-48:

АЙРАПЕТЯН СЕРОБ ГАРНИКОВИЧ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МЕТАЛЛОНОСНЫХ СЛАНЦЕВЫХ И БУРЫХ УГЛЕЙ

Р Е З Ю М Е

Диссертационная работа посвящена разработке современной технологии извлечения благородных металлов из металлоносных бурых и сланцевых углей, которая удовлетворяла бы требованиям рентабельного использования теплового потенциала углей и экологических норм.

Разработана методика исследования, выбраны исходные материалы и исследованы их химический и фазовый составы. В качестве сырья выбраны сланцевые и бурые угли руд Нор-Аревикского месторождения Республики Армения, где содержание Au составляет 0,4 г/т, Ag - 1,8 г/т, Pt - 0,02 г/т, Pd - 0,025 г/т, а общее содержание металлов платиновой группы (МПГ) - 0,1…1,0 г/т. Выполнено также теоретическое и термодинамическое обоснование процесса термического разложения находящихся в исходном материале углеродистых и сульфидных минералов, содержащих благородные металлы, и определена роль используемых в этих процессах окислителей (O_2, H_2O, O_2+NaCl, H_2O+NaCl).

Для извлечения благородных металлов из металлоносных углеродистых рудных материалов обоснованы процессы комплексной обработки углеродистых руд водой, а также обжига и кислотного выщелачивания полученных концентратов тяжелых металлов, а для извлечения благородных металлов из этих продуктов - совмещенный пиро-гидрометаллургический метод.

Проведены исследования методов подготовки (обработка водой, газифицирующее горение, кислотное выщелачивание) металлоносных углеродистых руд. Показано, что наилучшие результаты получаются в процессах комплексной обработки водой, обжига и кислотного разложения. Разработаны оптимальные режимы указанных процессов и технология комплексной обработки сырья. Согласно разработанной технологии, содержание благородных металлов в синтезируемых в лабораторных условиях концентратах превышает производственные концентраты: содержание Au составляет 12,0 г/т, Ag - 59,0 г/т, а Pt + Pd - до 1,2 г/т.

Разработан пирометаллургический метод извлечения благородных металлов из углеродистого сырья, согласно которому сначала проводимые

процессы тигельной плавки осуществляются совместно со свинцовым коллектором и с флюсами, а затем извлечение из полученного веркблея благородных металлов проводится способами купеляции и кислотного разложения. В результате этого процесса из полученных методом гравитации производственных концентратов извлечение золота составляет 9,50 г/т, а извлечение серебра - 47,5 г/т. Показано, что этот метод плавки наиболее эффективен для извлечения содержащихся в углеродистых материалах золота и серебра, поскольку при этом обеспечивается извлечение указанных благородных металлов почти до 97%.

Разработана технология тигельной плавки с применением свинцово-серебряного коллектора, согласно которой полученное серебро составляет примерно 46,0 г/т, а полученное после выщелачивания серебра соединение на основе золота соответствует показателю 11,0 г/т. Показано, что, кроме серебра и золота, в этом процессе возможно извлекать платиновые металлы - до 1,5 г/т.

Разработана технология тигельной плавки с применением полиметаллического коллектора на основе меди, согласно которой образующиеся из металлических соединений благородные металлы извлекаются способом кислотного выщелачивания. Показано, что благодаря разработанной шихте и оптимальным режимам плавки (1150…1200°C, 2,0 часа) содержание извлекаемых из гравитационного концентрата благородных металлов увеличивается, составляя: Au-10,0, Ag - 50,0, а МПГ - 4,0…5,0 г/т.

Разработан метод алюминотермии процесса самовоспламеняющегося высокотемпературного синтеза (СВС) извлечения благородных металлов из синтезированных в лабораторных условиях концентратов, который протекает в температурном интервале 2000…2500 ^{o}C в присутствии коллекторов благородных металлов Fe_20_3, CuO, CuS и флюсов $NaNO_3$ и CaO. Показан0, что для извлечения благородных металлов, имеющихся в продуктах плавки, необходимо провести процесс кислотного разложения. Выявлено, что этим методом извлекаются не только золото и серебро, но и МПГ, которые присутствуют в комбинированном виде с железом - в виде сложного соединения железа (МПГ+Mo+Re). Показано также, что в этом случае более продуктивными коллекторами являются медь и алюминий, и в металлическом выходе, обработанном в растворе азотной кислоты, содержание золота составляет 1,9, МПГ - 1,5, а серебра - 9,5 г/т.

Выполнено технико-экономическое обоснование разработанной технологии.

По теме диссертации опубликовано 8 научных статей, две из которых без соавторов.

HAYRAPETYAN SEROB GARNIK

DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR EXTRACTING NOBLE METAKS FROM METAL-CONTAINING SHALE AND BROWN COALS

SUMMARY

The dissertation is devoted to the development of a modern technology for extracting noble metals from metal-containing brown and shake coals which would meet the requirements set to the profitable usage of the heat potential of the coals and ecological standards.

An investigation method is developed, the initial materials are selected, and their chemical and phase compositions are studied. As raw materials, the shale and brown coals of the Republic of Armenia Nor-Arevik deposit are selected, where the content of Au is 0,4 g/t, Ag - 1,8 g/t, Pt - 0,02 g/t, Pd - 0,025 g/t, and the whole content of metals of the platinum (MPG) - 0,1…1,0 g/t. The process of thermal decomposition of carbon and sulphidic minerals contained in the initial materials, containing noble metals is substantiated theoretically and thermodynamically, and the role of oxidizers (O_2, H_2O, O_2+NaCl, H_2O+NaCl) used in these processes is determined.

To extract noble metals from metal-containing carbon ore materials, the processes of the complex treatment of carbon ores with water, as well as roasting and acidic leaching of the obtained concentrates of heavy metals, while to extract noble metals from these products - the combined pyro-hydrometallurgical method are substantiated.

The methods for preparing (treatment with water, gasifying combustion, acidic leaching) the metal-containing carbon ores are investigated. It is shown that the best results are obtained in the processes of the complex treatment with water, roasting and acidic decomposition. The optimal regimes of the mentioned processes and the technology for the complex treatment of the raw material are developed. According to the technology developed, the content of noble metals in the concentrates synthesized in laboratory conditions exceeds the production concentrates: the Au content is 12,0 g/t, Ag - 59,0 g/t, and Pt+Pb - up to 1,2 g/t.

A pyro-metallurgical method for extracting noble metals from carbon raw materials is developed according to which, at first, the conducted crucible processes are carried out together with a lead collector and fluxes, and then, the extraction from the obtained lead bullion of noble metals is carried out by the methods of cupellation and acidic decomposition. As a result of these process, from the production concentrates obtained by the gravitational method, the extraction of gold is 9,50 g/t,

and the extraction of silver – 47,5 g/t. It is shown that this method of smelting is most efficient for extracting gold and silver contained in the carbon materials as due to it, the extraction of the mentioned noble metals almost up to 97% is ensured.

A technology for the crucible process is developed by applying a lead-silver collector, according to which the silver obtained is about 46,0 g/t, and the gold-based compound obtained after leaching the silver corresponds to the index 11,0 g/t. It is shown that in this process, besides silver and gold, it is possible to extract platinum metals of up to 1,5 g/t.

A technology for the crucible process is developed by applying a copper-based polymetallic collector according to which the noble metals formed from metallic compounds are extracted by the method of acidic leaching. It is shown that due to the developed burden and the optimal regimes of smelting (1150…1200°C), the content of the noble metals extracted by the gravitational concentrate increases, constituting Au - 10,0, Ag - 50,0, and MPG - 4,0…5,0 g/t.

The method of aluminothermy of the self-ignited high-temperature synthesis (SHS) process for extracting noble metals from the concentrates synthesized in the laboratory conditions, proceeding in the temperature range 2000…2500 ^{o}C in the presence of the noble metal collectors Fe_2O_3, Cuo, CuS and fluxes $NaNO_3$, and CaO. It is shown that to extract noble metals contained in the smelting products, it is necessary to carry out a process of acidic decomposition. It is revealed that by this method not only gold and silver are extracted, but also MPG existing in a combined form with iron – in the form of a complex compound of iron (MPG+Mo+Re). It is also shown that in this case, copper and aluminium are more productive collectors, and in the metallic outcome treated in the solution of nitric acid, the content of gold amounts to 1,9, MPG - 1,5, and silver - 9,5g/t.

The technical and economic substantiation of the developed technology is carried out.

Eight scientific papers, two of which without co-authors, have been published on the subject of the dissertations.

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ
Հայրապետյան Սերոբ Գառնիկի

ԳՈՐՇ ԵՎ ԹԵՐԹԱՔԱՐԱՅԻՆ ՄԵՏԱՂԱԿԻՐ ԱԾՈՒԽՆԵՐԻՑ ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ատենախոսական աշխատանքը նվիրված է տեղական մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխներից ազնիվ մետաղների կորզման ժամանակակից տեխնոլոգիայի մշակմանը, որը պետք է բավարարի այդ հանածոների ջերմային պոտենցիալի շահավետ օգտագործմանը և բնապահպանական նորմերի պահանջներին:

Մշակվել է հետազոտության մեթոդիկա, ընտրվել են ելանյութերը և ուսումնասիրվել դրանց քիմիական ու կառուցվածքային բաղադրությունները: Որպես հումք ընտրվել է Հայաստանի Հանրապետության Նոր-Արևիկի մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխները, որտեղ ոսկին կազմում է մոտ 0,4 գ/տ, արծաթը 1,8 գ/տ, պլատինը՝ 0,02 գ/տ, պալադիումը՝ 0,025 գ/տ, իսկ պլատինային մետաղները միասին՝ 0,1-1,0 գ/տ: Կատարվել է նաև ազնիվ մետաղներ պարունակող ելանյութի ածխածնային և սուլֆիդային միներալների ջերմային քայքայման գործընթացի տեսական և թերմոդինամիկական հիմնավորում, ինչպես նաև օգտագործվող օքսիդիչների (O_2, H_2O, O_2+NaCl, H_2O+NaCl) դերի բացահայտում:

Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման համար ընտրվել և հիմնավորվել է ջրով լվացման և ստացված ծանր մետաղների արգասիքի այրման և թթվով տարրալուծման համալիր գործընթացներ, իսկ դրանց արգասիքներից ազնիվ մետաղները կորզելու համար համակցված պիրո-հիդրոմետալուրգիական եղանակներ:

Կատարվել է մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի նախապատրաստման (ջրով լվացման, գազայնացնող այրման, թթուներով տարրալուծման) եղանակների հետազոտություն: Ցույց է տրվել, որ լավագույն արդյունքներ են ստացվում ջրով լվացման և ստացված ածխածնասիլիկատային արգասիքների այրման ու թթվային տարրալվացման համալիր գործընթացների դեպքում: Մշակվել են նշված գործընթացներից յուրաքանչյուրի օպտիմալ ռեժիմները և համալիր մշակման տեխնոլոգիա: Մշակված տեխնոլոգիայով սինթեզված լաբորատոր խտանյութերում ազնիվ մետաղների քանակությունը գերազանցում է արտադրական խտանյութերին, համաձայն որի Au-ը կազում է 12,0, Ag՝ 59, իսկ Pt+Pd՝ մոտ 1,2 գ/տ:

Մշակվել է ածխածնային ելանյութերում առկա ազնիվ մետաղների կորզման պիրոմետալուրգիական եղանակ,

համաձայն որի սկզբում կիրառվել է կապարի կուտակիչով և ֆլյուսներով հալքանոթային հալման գործընթաց, որից հետո ստացված վերկբլեյից ազնիվ մետաղները կորզվել են կուպելացման և ստացված համաձուլվածքը թթուներով տարրալուծելու մեթոդներով: Գրավիտացման եղանակով ստացված արտադրական խտանյութերի օգտագործման պարագայում ստացվող Au-ը կազմում է 9,50, իսկ Ag-ը՝ 47,5 գ/տ: Ցույց է տրված, որ հալման եղանակն արդյունավետ է ածխածնային ելանյութերում պարունակվող ոսկին և արծաթը կորզելու համար՝ քանի որ այնի հնարավորություն է ընձեռնում կորզել նշված ազնիվ մետաղների հումքի պարունակությունների մոտ 97%-ը:

Մշակվել է հալքանոթային հալման տեխնոլոգիա կապար-արծաթային կուտակիչի օգտագործմամբ, համաձայն որի ստացված Ag-ը կազմում է մոտ 46,0 գ/տ, իսկ արծաթի թթվով տարրալուծումից հետո ստացված Au-ի հիմքով միացությունը համապատասխանում է պարունակության 11,0 գ/տ ցուցանիշին: Ցույց է տրված, որ բացի արծաթից և ոսկուց այս գործընթացում հնարավոր է կորզել մինչև 1,5 գ/տ պլատինային մետաղներ:

Մշակվել է հալքանոթային հալման տեխնոլոգիա պղնձի հիմքով բազմամետաղային կուտակիչի օգտագործմամբ, համաձայն որի գոյացած մետաղական միացություններից ազնիվ մետաղները կորզվել են թթուներով տարրալուծելու միջոցով: Ցույց է տրված, որ մշակված բովախառնուրդի և հալման օպտիմալ ջերմաստիճանների (1150…1200°C, 2,0 ժամ) շնորհիվ գրավիտացման խտանյութերից կորզված ազնիվ մետաղների քանակությունը ավելանում է կազմելով՝ Au- 10,0 գ/տ, Ag -50,0 գ/տ, իսկ ՊԽՄ՝ 4,0-5,0 գ/տ:

Մշակվել է լաբորատոր պայմաններում սինթեզված ածխածնային խտանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման ալյումինաթերմային եղանակ՝ ԲԻՍ գործընթաց, որն ընթանում է 2000…2500°C ջերմաստիճանային միջակայքում՝ ազնիվ մետաղների Fe_2O_3, CuO, CuS կուտակիչների և $NaNO_3$ ու CaO ֆլյուսների առկայությամբ: Ցույց է տրվել, որ հալման արգասիքներում առկա ազնիվ մետաղները կորզելու համար պետք է կատարել թթուներով տարրալուծման գործընթաց: Բացահայտվել է, որ այս եղանակով կորզվում են ոչ միայն ոսկին և արծաթը, այլ նաև ՊԽՄ-ը, որոնք հանդես են գալիս երկաթի հետ համակցված վիճակում՝ երկաթի (ՊԽՄ+Mo+Re) բարդ միացության տեսքով: Ցույց է տրված, որ այս դեպքում ամենաարդյունավետ կուտակիչը պղինձն է և ալյումինը, և ազոտական թթվի լուծույթով մշակված մետաղական ելքում Au-ը կազմում 1,9 գ/տ, ՊԽՄ-ը՝ 1,5 գ/տ, իսկ Ag-ը՝ 9,5 գ/տ:

Կատարվել է մշակված տեխնոլոգիայի տեխնիկատնտեսական հիմնավորում:

Ատենախոսական աշխատանքի թեմայով հրատարակվել են ութ հոդվածներ, որոնցից երկուսը առանց համահեղինակների են: