

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ
ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ**

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Հայ րապետյան Սերոբ Գառնիկի

**ԳՈՐԾ ԵՎ ԹԵՐԹԱՔԱՐԱՅԻՆ ՄԵՏԱՂԱԿԻՐ ԱԾՈՒԽՆԵՐԻՑ ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ
ԿՈՐԶՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ե. 16.02 - «Մե տալ ու ը գի ա» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտություններ թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման

Գիտական ղեկավար՝
Տեխնիկական գիտություններ
դոկտոր, պրոֆեսոր
Մարտիրոսյան Վ.Յ.

Երևան - 2017

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ	4
1. ԳՈՐԾ ԵՎ ԹԵՐԹԱՔԱՐԱՅԻՆ ՄԵՏԱՂԱԿԻՐ ԱԾՈՒԽՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ	7

1.1. Գորշ և թերթաքարային ածուխների ծագումը և նյութական կազմը	8
1.2. Գորշ և թերթաքարային ածուխներում պարունակվող մետաղները	8
1.3. Գորշ և թերթաքարային ածուխներում պարունակվող ազնիվ մետաղների հարստացման եղանակները	11
1.4. Ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման հիդրոմետալուրգիական եղանակները	16
1.4.1. Թթուներով տարրալուծման անմիջական եղանակները	17
1.4.2. Ածխածինը չեզոքացված ելանյութի թթուներով տարրալուծման եղանակները	18
1.5. Ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման պիրոմետալուրգիական եղանակները	22
1.5.1. Հալման հալքանոթային եղանակները	23
1.5.2. Բոցավառման եղանակները	25
1.5.3. Հալման մետաղաթերմային եղանակները	26
1.5.4. Աղային քլորացման եղանակները	27
1.6. Ազնիվ մետաղների կորզման գործընթացների վերլուծությանը և ածխածնային ելանյութերի մշակման տեխնոլոգիական մոդելի նախաշնչումը	29
Եզրակացություններ և հետազոտման խնդիրների դրվածքը	33
2. ԵԼԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒՄԸ, ՉԱՓԻՉ ՀՍԿԻՉ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ	36
2.1. Ելանյութերի քիմիական և հանքաքանակական կազմի բնութագրերը	36
2.2. Չափիչ-հսկիչ սարքավորումները	40
2.2.1. Ռենտգենակառուցվածքային վերլուծությանը	40
2.2.2. Մետաղագրական վերլուծությանը	40
2.3. Մետաղակիր ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման հիդրոմետալուրգիական և պիրոմետալուրգիական գործընթացների հետազոտման եղանակները	41
2.4. Հետազոտությանը և ներքին վերլուծության եղանակները և տեխնիկական միջոցները	43
2.5. Մետաղակիր ածխածնային ելանյութերի վերականգնման ալյուրմինաթերմային գործընթացի հետազոտման մեթոդը, արգասիքները և հատկությունները	47

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ.....	49
3. ԱՁՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ԹԵՐՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱԿՈՐՈՒՄԸ	50
3.1. Ազնիվ մետաղներ պարու նակող ածխածնային հանքանյութերի մշակման գործընթացի առանձնահատկությունները	50
3.2. Ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացում փոխազդեցություններին թերմոդինամիկական վերլուծության եղանակը	52
3.3. Ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացի թերմոդինամիկական հիմնավորումը	53
ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ.....	59
4.ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԵԼԱՆՅՈՒԹԵՐԻՑ ԱՁՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ.....	60
4.1. Ազնիվ մետաղ պարու նակող ածխածնային հանքանյութերի նախապատրաստման գործընթացների հետազոտումը	60
4.1.1. Ազնիվ մետաղներ պարու նակող ածխածնային հանքանյութերի ջրով լվացման գործընթացի հետազոտումը	61
4.1.2. Ազնիվ մետաղներ պարու նակող ածխածնային հանքանյութերի գազայնացման գործընթացի հետազոտումը	64
4.1.3. Ազնիվ մետաղներ պարու նակող ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացի հետազոտումը	69
4.1.4. Ազնիվ մետաղներ պարու նակող ածխածնային ելանյութերի թթուներով տարալուծման գործընթացի հետազոտումը	71
4.2.Ազնիվ մետաղների կորզման հալքանոթային հալման գործընթացի հետազոտումը	75
4.2.1. Ազնիվ մետաղների կորզման և կապարի կուտակիչով հալման գործընթացի հետազոտումը	75
4.2.2. Ածխածնային խտանյութի հալման գործընթացի հետազոտության ընդ կապարի և պղնձի հիմքով կուտակիչների առկայության դեպքում	78
4.3.Մետաղակիր ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման մետաղաթերմային գործընթացի հետազոտումը	88

4.3.1. Բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթետիկ գործընթացի բնութագրերը	88
4.3.2. Բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթետիկ գործընթացը որպես ազնիվ մետաղների և համաձուլվածքների ստացման եղանակ	90
4.3.3 Երկաթի և պղնձի կուտակիչներով ալյուրմինաթերմային գործընթացի հետազոտությունը	92
ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ.....	107
5. ԱՃԽԱՃՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻՑ ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՏԵԽՆԻԿԱՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ	109
5.1. Արտադրական ծավալների հիմնավորումը և պիրոմետալուրգիական գործընթացին անհրաժեշտ հալման վառարանի ընտրությունը	109
5.2. Ածխածնային հանքային թերի ազնիվ մետաղների և ածուխների հարստացման տեխնոլոգիայի տնտեսական հաշվեկշիռը	112
5.3. Մետաղակիր ածխածնային խտանյուն թերից ազնիվ մետաղների կորզման հալքանոթային հալման տեխնոլոգիայի տնտեսական հաշվեկշիռը	113
ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ.....	116
ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ ԵՎ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ	117
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	121
ՀԱՎԵԼՎԱԾ	130

ՆԵՐԱՃՈՒԹՅՈՒՆ

Մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխներում ազնիվ և հազվագյուտ մետաղների պարունակության հետազոտումը Հայաստանի երկրաբանա-հետախուզական գործնեություն և մետալուրգիայի ոլորտում սկզբունքորեն նոր երևույթ է: Համաձայն ստացված վերլուծական տվյալների՝ Շամուտի, Նոր-Արևիկի և Ջերմանիսի ածխածնային հանածոներում ոսկին կազմում է մոտ 0,4, արծաթը 2,0, իսկ ալատինի խմբի մետաղների (ՊԽՄ) ընդհանուր պարունակությունը 0,1...1,0 գ/տ:

Այ գեծորի \$աբրիկայ ու մ գրավիտացման եղանակով Նոր-Արևիկի հանքանյութերի հարստացումից ստացված արտադրական խտանյութում ոսկին կազմել է մոտ 10, արծաթը 50, իսկ ՊԽՄ 8,0-10,0 գ/տ: Համաձայն սպեկտրալ վերլուծության տվյալների Հայաստանի գորշ և թերթաքարային ածուխների որոշ տարատեսակներում պարունակվում են նաև Be, Cr, Cu, Ga, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Zn, Sc, Sr, Ti, V, Zr, Fe տեսակների մետաղներ:

Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության զարգացման համար տեղական մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխներից ազնիվ մետաղների կորզման արդյունավետ տեխնոլոգիայի մշակումը խիստ արդիական և առաջնահերթ լուծում պահանջող խնդիր է: Ածխածնային հանքանյութերի մշակման տեխնոլոգիան պետք է ունակ լինի առաջին հերթին առանձնացնել ածուխը՝ ստանալով ածխածնով հարուստ վառելանյութ և ծանր մետաղների բարձր պարունակությունը ամբ սիլիկահողային արգասիք, որը կարող է ծառայել որպես ոսկու, արծաթի և ՊԽՄ-ի ստացման խտանյութ: Այսպիսի մոտեցման նպատակը հանրապետությունում ազնիվ մետաղների կորզման համալիր եղանակների ներդրումն և ոլորտի դիրքերի ամրապանդումն է, ինչի արդյունքում բացի թանկարժեք մետաղներից հնարավոր է ստանալ լրացուցիչ շահույթ՝ շնորհիվ ածխածնային վառելանյութի:

Այրվող օրգանական զանգվածը առանձնացնելու նպատակով արդտադրությունում օգտագործվում են գորշ և թերթաքարային ածուխների հարստացման՝ գրավիտացման, \$լոտացման և այրման գազայնաման եղանակները: Այս գործընթացներում ածխածնի հիմնական մասը հեռացվում է, որից հետո մնում է ազնիվ և հազվագյուտ մետաղներով հարուստ ածխածնասիլիկահողային արգասիքներ: Վերջինիս կազմից ազնիվ մետաղները կորզելու նպատակով արտադրությունում հիմնականում գործածվում են հիդրոմետալուրգիական եղանակները: Հայտնի է նաև, որ ածխածնային խտանյութերի մշակման հիդրոմետալուրգիական տեխնոլոգիաները քիչ արդյունավետ են, քանի որ մետաղների վերականգնիչ հանդիսացող ածախածնային տարրերը նպաստում են լուծույթներում առկա ազնիվ մետաղների սիլիկահողային

նստվածքի կազմը տեղափոխվելու վնասարար երևույթի իրականացմանը: Ածխածնային տարրերի կորստաբեր ազդեցությունը չեզոքացնելու նպատակով քիմիական մանրէների օգտագործման փորձերը ցանկալի արդյունքների չեն հանգեցնում, քանի որ բարձրանում են ստացվող ոսկու ինքնարժեքը:

Գրական աղբյուրներից ստացվող տվյալների համեմատական վերլուծություններից հետևում է, որ այդ բարդույթի շրջանցման հնարավոր տարբերակը կարող է հանդիսանալ որպես ածխածնային խտանյութերի պիրոմետալուրգիական մեթոդներով մշակման եղանակ: Այս դեպքում խտանյութի զանգվածի մոտ 25%-ը կազմող ածխածինը ծախսվում է այրվող գազի ստացման տեխնոլոգիաներում, իսկ գոյացած այրուքում առկա թերայրուկ մնացուկները հալման գործընթացներում կատարում են մետաղների վերականգնիչի դերը:

Այսպիսի մոտեցումներին համապատասխանող տեխնոլոգիայի մշակման նպատակով ածխածնային ելանյութերի հալքանոթային և մետաղաթերմիական եղանակով հալումները իրականացվել են ազնիվ մետաղների տարբեր՝ մետաղական կուտակիչների (Pb, Cu, Al, Fe) և ֆլյուսների առկայության պայմաններում: Այս գործընթացների արդյունքում հումքում առկա ազնիվ մետաղները հայտնվում են նշված մետաղական կուտակիչների հիմքով հալույթների մեջ:

Ստացված ազնիվ մետաղներով հարուստ մետաղական համաձուլվածքները այնուհետև տարրալուծվում են ազոտական թթվի լուծույթով, ինչի հետևանքով բացի երկաթից և պղնձից լուծույթ են տեղափոխվում արծաթը՝ մասամբ նաև պալլադիումը: Գոյացած ազոտաթթվային լուծույթը նախ չեզոքացվում է ամոնիումի հիդրոքսիդով, ապա մշակվում աղաթթվով: Այս պայմաններում արծաթը կորզվում է AgCl-ի, իսկ պալլադիումը պալլադամինի՝ $\text{[Pd(NH}_3\text{)}_2\text{Cl}_2\text{]}$ տեսքով:

Ազոտական թթվի լուծույթում չլուծված պինդ նստվածքներից ոսկին և ալատինը կորզվում է հիդրոմետալուրգիայի դասական, կամ ազնիվ մետաղների՝ աֆֆինաժային տեխնոլոգիայով: Արքայաջրով քայքայումից հետո աղաթթվային լուծույթից ոսկու տարրերը վերականգնելու համար օգտագործվում է հիդրոխինոն: Դրանից հետո զտված լուծույթը մշակվում է ամոնիումի քլորիդով, որի

արդյունքում ստացվում է պլատինի քլորիդային միացության $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ նստվածքը:

Ելնելով վերը նշվածից, ատենախոսության նպատակն է մշակել տեղական մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխներից ազնիվ մետաղների համալիր կորզման ժամանակակից տեխնոլոգիա, որը կբավարարի ածուխների ջերմային պրոտեսնցիալի շահավետ օգտահամար և բնապահպանական նորմերի պահանջներին:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթներն են՝

1. Ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային ելանյութերի մշակման մետալուրգիական գործընթացների համեմատական վերլուծությամբ և առավել արդյունավետ տեղանակի ընտրումը:
2. Ածխածնային հանքանյութերի քիմիական և միներալոգիական կազմի ու մետաղագրական խնդիրների հետազոտումը:
3. Ածխածնային և սուլֆիդային միներալների ջերմային քայքայման ռեակցիաների տեսական և թերմոդինամիկական վերլուծությունն ու հիմնավորումը:
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:

1. ԳՈՐՇ ԵՎ ԹԵՐԹԱՔԱՐԱՅԻՆ ՄԵՏԱՂԱԿԻՐ ԱՃՈՒԽՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

1.1. Գորշ և թերթաքարային ածուխների ծագումը և նյութական կազմը

Այրվող պինդ հանածոները՝ ընդ որում նաև գորշ և թերթաքարային ածուխները, ունեն նստվածքաբանական ծագում: Թերթաքարային ածուխներն ի տարբերություն գորշի, կազմված են բարակ թերթաշերտերից, իսկ դրանց քիմիական կազմը միմյանց նման է, քանի որ բացի միներալներից պարունակում են ածխածին, ջրածին, թթվածին, ազոտ և ծծումբ տեսակների օրգանական տարրեր:

Գորշ և թերթաքարային ածուխների (այսուհետ ածուխներ) այրման կամ շիկացման արդյունքում գոյանում են ածխածնաջրածնային գազային արտանետումներ և տարբեր մետաղների և ոչ մետաղների օքսիդներ, որոնց տեխնիկայում անվանում են մոխիր: Այս ածուխներում մոխրի պարունակությունը 33%-ից ավելի է՝ հակառակ պարագայում նրանք կդասվեին այլ որակի հանածոների շարքին: Օրգանական և ոչ օրգանական բաղադրիչների հարաբերություններն ածուխներում ցածր են 1/4 –ից, իսկ ածխածին, ջրածին, թթվածին, ազոտ և ծծումբ տարրերը հանդիսանում են կերոգենի հիմնական բաղադրամասերը [1]:

Փաստորեն այրվող թերթաքարային և գորշ ածուխներն իրենցից ներկայացնում են օրգանական և ոչ օրգանական նյութերի առանձնահատուկ խառնուրդ, որոնց նյութական կազմին վերաբերող տվյալները բերված են աղ. 1.1.-ում:

Աղյուսակ 1.1

Գորշ և թերթաքարային ածուխների նյութական կազմը

Գորշ և թերթաքարային ածուխներ	
օրգանական նյութեր	ոչ օրգանական նյութեր
Բիտումներ (լուծվում են CS ₂ -ում) Կերոգեններ (չեն լուծվում CS ₂ -ում) (պարունակում են U, Fe, V, Ni, Mo)	Քվարց, դաշտային շպատ Կավեր (հիմնականում հիդրոսւլյուդան քլորիդ) Կարբոնատներ (կալցիտ և դոլոմիտ) Պիրիտ և այլ միներալներ

1.2. Գորշ և թերթաքարային ածուխներում պարունակվող մետաղները

Գորշ և թերթաքարային ածուխներն ավանդաբար օգտագործվում են որպես էներգետիկային անհրաժեշտ հեղուկ, գազային և պինդ

վառել անյուրների ու ջերմության ստացման հումք [2-6]:

Ածուխների մշակման այս տեխնոլոգիաներում առկա են տարաբնույթ խնդիրներ, որոնց լուծման նպատակով հետազա հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ դրանցից շատերում՝ բացի ցածրարժեք երկաթից և ալյումինից պարունակվում են հազվագյուտ՝ U, W, Mo, Ni, Ge, Re, Ti, Ga, V, Se, Zr և ազնիվ՝ Au, Ag, Pt և այլ մետաղներ:

Ազնիվ մետաղ պարունակող ածխածնային հանածոները տարածված են Ռուսաստանի Հեռավոր Արևելքի երկրամասում, հատկապես Պրիմորիեի Սիլանսկյան, Լիպովեցկյան, Տիրմինսկյան և Ռետիխովսկյան հանածոներում, որտեղ արծաթը գերազանցում է 1 գ/տ պարունակությունը: Ուշումունսկյան ածուխների մոխիրներում ոսկու պարունակությունը կազմում է 8 գ/տ, իսկ Սերգեյանում 17 գ/տ: Վերջիններիս համեմատ հարուստ են Օգոդինսկյան և Ռայչիխինսկյան հանածոների ոսկու պարունակությունները, որոնք համապատասխանաբար կազմում են 30 և 53 գ/տ:

Ոսկի-ալատինաբեր թերթաքարային ածուխների շարքին են դասվում Օնեժսկյան, Տիմսկյան, Տայմիրսկյան, Նատալկինսկյան, Սուխոլոժսկայն, Կարլինսկյան հանածոները: Նշված հանքերի շարքին են դասվում այնպիսի հսկաներ, ինչպիսիք են Մուրունտաու (Ուգբեկստան), Կարլին (ԱՄՆ, Նևադա), Աշանտի (Գանա), Նատալկա (ՌԴ, Կոլիմա), Սուխոյ Լոգ (ՌԴ, Բոդայկո), Կումուտոր (Ղրղստան), Օլիմպիադա (ՌԴ, Կրասնոյարսկի մարզ), Մայսկյան (ՌԴ, Չուկոտկա), Նեժդանինսկյան (ՌԴ, Յակուտյա) հանածոները: Այս շարքին դասվող Պովլովսկյան հանածոներում պարունակվում են՝ գ/տ 2,37 Pt, 3,17 Pd, 0,04 Rh, 0,1 Ru, 0,24 Os և 0,06 Ir, իսկ Խանկայում Pt-ը կազմում է 0,01...52, իսկ Pd-ը և Au-ը 0,1...30 գ/տ [7-10]:

Համաձայն մեկ այլ աղբյուրից ստացվող տվյալների Էստոնիայի թերթաքարային ածուխներում բացի ուրանից՝ ստրատեգիական մետաղների թվին են դասվում ռենիումը, օսմիումը, մոլիբդենը [11,12]:

Ըստ Էոլայն ոսկու, արծաթի, հազվագյուտ տարրերի և ՊԽՄ պարունակությունները Հայաստանի թերթաքարային

միացությունների երկրաբանա – հետախուզական գործնական մեջ հանդիսանում են սկզբունքորեն նոր երևույթներ:

Այս ասպարեզի հետազոտությունների համար կարևոր խթան է հանդիսացել 1987...1991 թվականներին կատարված «Մետաղակիր սև թերթաքարերը» ծրագիրը:

Նշված հետազոտություններով Հայաստանի Հանրապետությունում գբադվել են «Լեռնամետալուրգիա ինստիտուտ» ՓԲԸ-ի գիտական աշխատողները երկրաբանական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Պ.Գ. Ալոյանի գլխավորությամբ [13...19]: Այդ հետազոտությունում ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ Հայաստանի որոշ գորշ և թերթաքարային ածուխները օժտված են տարբեր աստիճանի մետաղաբերությամբ՝ ընդ որում դրանք պարունակում են ինչպես ոսկի և արծաթ, այնպես էլ ՊԽՄ: Ազնիվ մետաղների պարունակությունները տատանվում են լայն միջակայքերում և որոշ խոշոր հանքավայրերի համար ոսկին կազմում է 1,5...3,0 – ից մինչև 7...8 – 11,2 գ/տ, արծաթը՝ 28...50 – ից մինչև 150...350 գ/տ, ՊԽՄ՝ 0,1...1,0 գ/տ, իսկ որոշ տեխնոլոգիական արգասիքներում վերջիններիս քանակը կազմում է 8,0...10,0 գ/տ: Կատարվել են նաև խոշոր լաբորատոր և արդյունաբերական նշանակության տեխնոլոգիական փորձարկումներ, որոնցում կիրառվել են Շամուտ, Նոր-Արևիկ և Ջերմանիա հանքավայրերի փորձամուշները՝ վերջիններիս քաշը կազմել է 20 կգ-ից մինչև 35 տ: Նշված նյութերը հարստացվել են Այգեձորի ոսկու կորզման ֆաբրիկայում գրավիտացման և ֆլոտացման միջոցներով՝ դրանց խտացված արգասիքներում Au-ը կազմում է 10...50, Ag-ը՝ 50...100, Pt-ը՝ 10...40 գ/տ:

Համաձայն նույն աղբյուրի, սպեկտրալ վերլուծությունների տվյալների Հայաստանի գորշ և թերթաքարային ածուխների որոշ տարատեսակներ պարունակում են Be, Cr, Cu, Ga, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Zn, Sc, Sr, Ti, V, Zr, Fe (բավականին շատ) հազվագյուտ և արժեքավոր մետաղներ: Համաձայն քիմիական վերլուծություններից ստացված տվյալների մոլիբդենով հարուստ են (0,04-0,2%) Ջաջուռի, Ջերմանիսի և առանձնապես Նոր-Արևիկ հանքավայրի ածուխները:

1.3. Գորշ և թերթաքարային ածուխներում պարունակվող ազնիվ մետաղների հարստացման եղանակները

Գորշ և թերթաքարային ածուխներում առկա ազնիվ մետաղների հարստացման համար արտադրական պայմաններում հիմնականում օգտագործվում են գրավիտացման, ֆլոտացման և մագնիսական տարրանջատման եղանակները:

Գրավիտացման եղանակով հարստացումը հիմնված է հանքանյութերում պարունակվող ածուխների, կավի, քվարցային ավազի և մետաղական միներալների տեսակարար կշիռների միջև առկա տարբերությունների վրա: Այս եղանակների շարքում առավել հաճախ օգտագործվողը հարստացման թաց գործընթացն է, որը համեմատաբար արագընթաց է և հնարավորություն է ընձեռնում առանձնացնել մինչև 50 մմ չափերի ածուխները: Հիդրոտեխնոլոգիայի վրահիմնված այս գործընթացում՝ ջրի հոսքի ժամանակ մետաղների ծանր միներալները որսվում են պոդպառյա անկյունակների և արգելակիչ ելուստների օգնությամբ:

Հանքանյութերի գրավիտացիայի համար արտադրությունում օգտագործվում են կոնաձև սեպարատորներ, որոնցում՝ կենտրոնախույս ուժերի ազդեցության արդյունքում կորզված ոսկին (1 գ/տ) կազմում է 90...93%: Որպես բարձր արդյունավետ միջոց կիրառվում են ցնցող սեղանները՝ ստացվող խտանյութը կազմում է վերամշակվող հանքանյութի 4–5%-ը, որի մեջ ոսկին կազմում է 98...99%: Նստեցնող մեքենաների գործածումից ստացվող խտանյութը կազմում է հումքի 8...20%-ը, իսկ վերջինիս մեջ կուտակված ոսկին համապատասխանում է ելանյութում առկա պարունակության 96...98%-ը [20,21]:

Ածուխների հարստացման չոր եղանակները իրականացվում են օդային խառնուրդների մեջ՝ պնեմատիկական սեպարատորների և նստեցնող մեքենաների օգնությամբ: Դրանցում ածխածնային ծանր և թեթև բաղադրամասերի բաժանումը արդյունավետ է ընթանում, երբ օգտագործվում են 3...5% խոնավությամբ և 13...25 մմ չափերի հումք: Այս եղանակի առավելությունը կայանում է նրանում, որ հարստացման ժամանակ ածխի խոնավությունը չի ավելանում [22,23]:

Ցածր արդյունավետության պատճառով վերջում նշված չոր միջոցներին հարստացման՝ ծանր լուծույթների օգտագործմամբ հիդրավլիկական համեմատաբար առաջադեմ եղանակները: Այս գործընթացներում՝ որպես ծանր լուծույթներ օգտագործվում են կալցիումի քլորիդ, ազոտաթթվային կալցիում և այլ օրգանական աղերի ջրային լուծույթներ, քանի որ վերջիններս օժտված են ածուխների հարստացմանը անհրաժեշտ մածուծիկությամբ և խտությամբ (մոտ 1,5 գ/սմ³): Կայուն խտությամբ լուծույթների ստացումը հնարավոր է պոտաշի կամ ածխաթթվային կալիումի, երկարժեք և եռարժեք երկաթի սուլֆատների օգտագործմամբ և այլն: Ըստ առկա տվյալների ածուխների հարստացմանը անհրաժեշտ ծանր լուծույթների ստացման համար հնարավոր է օգտագործել նաև մագնետիտ, պիրիտ, բարիտ, քվարց, կավային և այլ միներալներ: Ուկրաինայի հարստացուցիչ կոմբինատներում ջրի ծանր լուծույթները գործածվում են 25 մմ-ից բարձր չափերի ածուխների առանձնացման համար: Այս գործընթացի առավելությունը ածուխների առանձնացման բարձր ճշգրտությունն է և դրանցում օգտագործվող էժանագին և պարզ կառուցվածքի սարքավորումները [24]:

Ֆլոտացումը նուրբ շլամների արտադրությունում տարածված միակ հարստացման եղանակն է, ինչը հիմնված է գորշ և թերթաքարային ածուխների և այլ հանքաքարերի մակերևույթների ֆիզիկական և քիմիական հատկությունների տարբերությունների վրա: Այս հարստացումներից առաջ մետաղակիր հումքի մասնիկների մակերևույթը վերափոխվում է ջրամերժ վիճակի, ինչը իրականացվում է որոշ քիմիական նյութերի նոսրացված լուծույթների օգնությամբ: Ստացված արգասիքը այնուհետև լուծվում է ջրում, իսկ դրանից հետո գոյացած խյուսի մեջ ներկրվում են տարբեր քսանտատներ (կուտակիչներ): Վերջում գոյացած լուծույթի մեջ մղվում է օդ, որի արդյունքում առաջացած օդային բշտիկները պահանջվող միներալներին բարձրացնում են լուծույթի մակերևույթ: Համաձայն Ի.Ն. Պլակսինի հետազոտության տվյալների, ֆլոտացման տեխնոլոգիաները նպատակահարմար է գործածել ինչպես

սուղ ֆիդային, այնպես էլ ածխածնային հանքանյութերի ազնիվ մետաղները հարստացնելու նպատակով: Նշված աղբյուրներում, որպես արդյունավետ կուտակիչներ նշվում են ալկիսուղ ֆատները, ալկիլբենզոլսուղ ֆատների աղերը և որոշ ֆոսֆոր պարունակող միացություններ: Ըստ հաջորդ աղբյուրից ստացվող տեղեկատվության [25] Անկախ Պետությունների Համագործություն երկրներում՝ ածխածնային հանքանյութերի հարստացման գործընթացներում գործածվում են կերոսին, բուտիլային սպիրտ, կալիումի բուտիլային քսանտատ կուտակիչները, T-80 տեսակի փրփուր գոյացուցիչը և ջրամերժ նատրիումի և առերիլսուղ ֆատոկսիլատը:

Դժվար հարստացող հանքանյութերի ֆլոտացման ուսումնասիրությունում [26] առկամտահոգությունը վերաբերում է ոսկուն՝ ինչը ածխածնի և ծծումբի հետ սերտ կապվածության պատճառով հաճախ հեռանում է անվերադարձ: Այս բացասական երևույթը շրջանցելու նպատակով՝ ֆլոտացումներից առաջ ելանյութերը մշակվում են կուտակիչ և փրփուր գոյացնող հատկություններ ունեցող երկմեթիլ ֆենիլսիլիլով, քացախաթթվով, էթիլային էֆիրով և դիզելային վառելիքի մաքրված արգասիքով:

Հաջորդ մշակումը [27] դարձյալ վերաբերում է ածխածնային հանքանյութերի յուղի և փրփուր գոյացնող նյութերի առկայությամբ ֆլոտացման տարածված եղանակերին, որոնք ուսանելի են իրենց պարզության պատճառով: Այս նյութերի պարունակությամբ հումքի ջրային լուծույթ է ներմղվում օդ, այնուհետև խառնվում է մեխանիկական պտուտակի օգնությամբ: Նշված գործողությունների արդյունքում ածխածնային թեթև զանգվածը առանձնանում է, իսկ ծանր՝ ազնիվ մետաղակիր հանքանյութերը կուտակվում են տարողության հատակին: Աշխատանքում օգտագործում են՝ կերոսին, դիզելային վառելանյութ, TC-1 տեսակի վառելանյութ, գազոյլ կուտակիչները, իսկ որպես փրփուր գոյացնող նյութեր՝ КОБС, КЭТГОЛ, ВПН, T-80 և այլ նյութերը:

Ածուխների ֆլոտացմամբ հարստացման գործընթացների վերլուծությունների վերաբերյալ [28] աշխատանքում ցույց է տրված, որ այս ապարեզում առկա խնդիրների լուծումը հնարավոր է համալիր հատկանիշներով փոխազդիչների ստացման միջոցով: «Միներալ» ՍՊԸ-ում կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ UnicolTM «C» և «F» տեսակների փոխազդիչների համատեղ օգտագործման ժամանակ նկատվում է սիներգետիկական էֆեկտ՝ արդյունքում գոյանում է կայուն փրփուր և հնարավոր է լինում արդյունավետորեն ֆլոտացնել բոլոր տեսակների ածուխները:

Վերը նշված նյութերից բացի, որպես արդյունավետ ֆլոտացման փոխազդիչներ [29] աշխատանքում առաջարկվում է օգտագործել այնպիսի ոչ ավանդական և համալիր հատկանիշների նյութեր, ինչպիսիք են սուլֆատային մոդիֆիկատորները: Համաձայն ստացվող տվյալների, դրանց շնորհիվ հնարավոր է լինում նվազեցնել ածուխների մասնիկների թրջվածության աստիճանը և արդյունքում բարելավել ֆլոտացման ինչպես քանակային, այնպես էլ որակային ցուցանիշները:

Վերջին աշխատանքում [30], որպես արդյունավետ փոխազդիչ մոդիֆիկատորներ առաջարկվում է օգտագործել օրգանական եթերների միացությունները:

Մագնիսական տարրանջատման եղանակով հարստացումը հիմնված է մշակվող հանքանյութերի և տեխնոլոգիական արգասիքների մագնիսական հատկությունների տարբերությունների վրա: Համաձայն ստացվող տեղեկությունների, հարստացման այդ գործընթացները ունակ են առանձնացնել մագնիսական հատկանիշներով օժտված միներալները, որոնք հաճախ պարունակում են տարբեր արժեքավոր մետաղներ: Նշված հարստացումը կատարվում է տարբեր բնութագրերով տարրանջատիչների օգնությամբ և նախատեսված է երկաթ պարունակող հանքանյութերի չոր և թաց վերամշակման համար [31,32]:

Բերված աղբյուրներում նշվում է նաև, որ հանքանյութերի կախված վիճակում «Էրգա» ֆիրմայի տարրանջատիչներով մշակման արդյունքում ստացվում է մոտ 58% պարունակությամբ երկաթի

խտանյութ: Այս տեղ մշակվել են մագնիսական դաշտի և արվածության և տարրանջատման անկյան թեքության օպտիմալ արժեքներ, որոնց արդյունքում կորզված երկաթի պարունակությունը բարձրանում է մինչև 91,7%:

Հերթական աղբյուրից [33] տեղեկանում ենք, որ մագնիսական տարրանջատման հարստացման մեթոդը փորձարկվել է Նորիլսկի կոմբինատի թանկարժեք մետաղ պարունակող արտադրական արգասիքների վերամշակման ժամանակ: Դրանցում ստացվող մագնիսական խտանյութերի քանակը կազմում է օգտագործված հումքի 6,2%-ը, որում Pt, Pd, Rh, Ru, Os, Ir պատիսային մետաղների ընդհանուր պարունակությունը կազմում է 9,67 գ/տ, իսկ Au-ը՝ 0,27 գ/տ: Նշված եղանակով ստացված խտանյութերի հետագա վերամշակման նախապատվությունը այս աշխատանքում տրվում է հալման պիրոմետալուրգիական տեխնոլոգիաներին:

Վերջին աշխատանքից [34] ստացվող տեղեկությունները վերաբերում են միկրոչափերով ոսկու հարստացմանը, որոնցում հումքը մշակվում է էլեկտրամագնիսական ճառագայթմամբ և էլեկտրական լիցքերով: Քիմիական վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ նշված միջոցով ակտիվացված հումքից ստացված ոսկին կազմում է հումքի պարունակության մոտ 50%-ը, ինչը սովորական պայմաններում կորզվածից ավելի է 10%-ով: Ցույց է տրվել նաև, որ էլեկտրոհիդրավլիկական ներգործությունների հետևանքում փորձանմուշների մասնիկներում գոյանում են միկրոճափեր, որոնք իրենց դրական ներգործությունն են ունենում ոսկու կորզման հետագա մշակումների արդյունավետության վրա:

Հետևություններ: Ածուխներից վառելանյութերի ստացման նպատակով ջերմային մշակման ավանդական տեխնոլոգիաներում մեծ է հումքի ծախսը և ցածր է գործող արտադրական սարքերի տեսակարար արտադրողականությունը, իսկ դրանց արգասիքներում առկա են բնապահպանական նկատառումներով վնասակար՝ ազոտի, ծծումբի, ածխածնի գազատեսք օքսիդներ և մոխրի պինդ մասնիկներ: Համեմատաբար հեռանկարային են ածուխների օդի եռացող շերտում

ընթացող պիրոլիզի գործընթացները, որոնցում վերջնական արգասիքները կազմում են 90...95%:

Մետաղակիր ածուխների կիրառման դեպքում ոչ պիտանի հանքավայրերը և արտադրական թափոններից շատերը տնտեսական նկատառումներով դառնում են շահագործման համար նպատակահարմար և արդյունքում նպաստում են բնապահպանական խնդիրների լուծմանը: Այս տեսակի ածուխների ազնիվ մետաղների հարստացման համար արտադրությունում շատ են տարածված թաց միջոցներով գրավիտացման եղանակները: Այս շարքում, որպես համեմատաբար արդյունավետ պետք է նշել ցնցող սեղանների օգտագործմամբ գործընթացները, որոնցում ստացվող խտանյութերը կազմում են հանքանյութ ելանյութի զանգվածի 4...5%-ը: Սկզբունքով նախորդին նման հարստացման չոր եղանակները, ցածր արդյունավետության պատճառով, արտադրությունում փոխարինվում են ջրի ծանր լուծույթների օգտագործմամբ հիդրավլիկական եղանակներով:

1.4. Ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման հիդրոմետալուրգիական եղանակները

Ածխածնային հանածոները դասվում են ըստ ազնիվ մետաղների դժվար հարստացող հանքանյութերի շարքին, ինչի հիմնական պատճառը դրանցում առկա ազնիվ մետաղների ածխածնային կլանիչներն են: Համաձայն Ռուսաստանի Դաշնության «Испредмет» մասնագիտացված ինստիտուտի հետազոտությունների այդ հանքանյութերը բաժանվում են երեք խմբի.

1. ազնիվ մետաղների կլանման ակտիվությամբ թույլ հանքանյութեր, որոնց մշակումը հնարավոր է սովորական ցիանիդացման եղանակով,
2. կլանիչ ակտիվությամբ չափավոր հանքանյութեր, որոնցից ոսկին հնարավոր է կորզել ցիանիդային տարրալուծումներից գոյացած խյուսը սինթետիկ կլանիչների (իոնափոխանակիչ խեժեր, ակտիվ ածուխներ) ներկայությամբ մշակելու միջոցով,
3. կլանիչ ակտիվությամբ ուժեղ հանքանյութեր, որոնցում առկա ազնիվ մետաղների արդյունահանման գործընթացների

սկզբում ածխածինը չեզոքացվում է քլոր պարունակող գազային և պինդ վիճակների օքսիդիչ նյութերի, իսկ դրանց արգասիքների հետագա՝ ցիանիդային և այլ լուծույթներով տարալուծումները ընթանում են ոսկու վերականգնիչներ՝ իոնափոխանակիչ խեժերի կամ ակտիվ ածուխների ներկայությամբ [35,36]:

1.4.1. Թթուներով տարալուծման անմիջական եղանակները

Ածխածնային հումքի ցիանիդային լուծույթով տարալուծումները կատարվում են ռոդանիդի և հիմքի առկայությամբ՝ արդյունքում կորզվող ոսկին կազմում է հումքի պարունակության մոտ 80%-ը [37]: Նույն հումքի՝ NaClO և NaNO_2 օքսիդիչների ներկայությամբ աղաթթվով մշակումներում կորզվող Au-ը կազմում է 92, Ag 87%, իսկ Pt-ը և Pd-ը համապատասխանաբար 74 և 87% [38]:

Դժվար հարստացող հանքանյութերի տարալուծումներում լուծիչները թիոմիզանյութի և թիոսուլֆատի լուծույթներն են, որոնց օգտագործմամբ մշակումների արդյունքում հնարավոր է լինում կորզել հումքում առկա ոսկու մինչև 80%-ը [39]:

Ռուսաստանի Դաշնության Սուխոյ-Լոգ հանքավայրի ածխածնային խտանյութի՝ իոնափոխանակիչ խեժերի ներկայությամբ և ցիանիդի լուծույթով տարալուծումների արդյունքում կորզվող Au-ը կազմում է 94,3%, իսկ Ag-ը 49,6%: Նշված վերականգնիչների վրա կուտակված ոսկու առանձնացումը իրականացվում է էլեկտրոլիզի օգնությամբ [40]:

Քլորիդային լուծույթով մշակման ժամանակ էլեկտրական հոսանքի ազդեցության ներքո ընթացող գործողությունում հումքի ազնիվ մետաղների տարալուծումը և վերականգնումը համատեղված է. գործողությունը ընթանում է միջնապատից զուրկ էլեկտրոլիզյորի մեջ [41], իսկ թթվով տարալուծման վերջին աշխատանքում [42] խոսից ազնիվ մետաղների վերականգնման համար օգտագործվում է բնական ածխածին:

1.4.2. Ածխածինը չեզոքացված ել անյ ութի թթուներով տարրալ ու ծման եղանակները

Ածխածնային հանքանյութերում պարունակվող մանրահատ ոսկին ներծծված է ածխածնային, սուլֆիդային և այլ քիմիապես կայուն՝ ազնիվ մետաղ կլանող միացությունների մեջ: Նման պայմաններում հումքում պարունակվող ոսկու կորզման ցիանիդային լուծույթով տարրալ ու ծման միջոցը քիչ արդյունավետ է, ինչից դրված ածխածնային հումքը նախապես օքսիդացվում կամ ենթարկվում է ակտիվությունը չեզոքացնող մշակումների [43]:

Աշխատանքում [44] ածխածնային հումքի օքսիդացումը կատարվում է ծծմբական թթվով՝ կատալիզորդի և թթվածնի առկայության պայմաններում կրկնակի անգամներ տարրալ ու ծումների միջոցով: Մեկ այլ աշխատանքում [45] ազնիվ մետաղների կորզման արդյունավետությունը բարձրացնելու նպատակով հումքը մշակվում է 55...70,5% ացետոնֆենոն պարունակող արգասիքներով: Նշված միջոցները հնարավորություն են ընձեռնում կորզվող ոսկու և արծաթի քանակությունները հասցնել համապատասխանաբար 84...86,5 և 80...83%:

Ոսկու ածխածնային խտանյութերը երբեմն մշակում են ծծմբական թթվի (100...150 գ/լ) և ազոտաթթվային ամոնիումի (30...40 գ/լ) լուծույթների՝ կերակրի աղ պարունակող խառնուրդով: Դրանց արդյունքում գոյանում են ազնիվ մետաղներով հարուստ արգասիքներ, որոնց հետագա՝ ցիանիդի լուծույթով մշակումները ընթանում են ոսկու վերականգնիչ՝ AM – 25 տեսակի իոնափոխանակիչ խեժի առկայության պայմաններում: Առաջարկվող տեխնոլոգիան հնարավորություն է ընձեռնում լուծույթ անցկացնել հումքում պարունակվող ոսկու և արծաթի 93%-ից ավելին [46]:

Ոսկի պարունակող և գազային քլորով օքսիդացված ածխածնային ելանյութը ենթարկվում է հերթական՝ քլորացնող տարրալ ու ծումների: Վերջինիս արդյունքում գոյացած խլորակ կազմից ոսկին վերականգնվում է ակտիվ ածուխի օգնությամբ: Այս գործողությունը (CICL CARBORI-in Chlorine Leaching) հնարավորություն է ընձեռնում կորզվող ոսկու քանակը հասցնել 90...92% -ի [47]:

Ոսկու կորզման հիմնական գործողություննից առաջ ածխածնային հումքը մշակվում է պիրիդին կամ ծծմբածխածնային օրգանական լուծիչների միջոցով: Այդ լուծիչներից մեկի հետ հումքի տաքացումը շարունակվում է մինչև լուծույթի գույնը թափանցիկի վերափոխվելը, որից հետո լուծույթը հեռացվում է: Համաձայն հարգորոշիչ – գրավիմետրական վերլուծության արդյունքների, նշված օրգանական լուծիչներով մշակված պինդ մնացուկի ոսկին կազմում է հումքի 95%-ը [48]:

Ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով արտադրությունում հաճախ օգտագործվում են ածխածնային հանքանյութերի ավտոկլավի օգնությամբ օքսիդիչ տարրալուծումները: Այս տեխնոլոգիաներում օգտագործվող ոսկու ածխածնային խտանյութերը օքսիդացվում են մինչև 15 մթն. ճնշման պայմաններում և հիմնականում հիմքերի առկայությամբ՝ գործողությունը ընթանում է մոտ 90°C-ում 5 ժամ տևողությամբ: Դրանց պինդ մնացուկների թթվով տարալուծումից գոյացած խլուսի ոսկին վերականգնվում է սուլ SO_3 -ը կազմում է 50 գ/լ, $P_H = 9,3$ միջոցով: Կատարված փորձերը ցույց են տալիս, որ դրանցում կորզված ոսկին գտնվում է 90...95% արժեքային միջակայքերում [49]:

Ազնիվ մետաղների կորզման հերթական հետազոտությունում [50] հումքը ցիանիդի լուծույթով տարրալուծումներից առաջ մշակվում է տարբեր քիմիական մանրէներով: Վերջիններս քիմիապես բարդ և մակերևութային ակտիվ միացություններ են, որոնցում ելանյութերի օքսիդացման համար նախատեսվող աբիզատային աուտոտրոֆների կողքին, առկա են նաև հումքի կլանիչ հատկանիշները նվազեցնող միկրոստրոֆային մանրէներ: Նշված մանրէներով մշակվումը կատարվում է 18...25°C ջերմաստիճաններում, որի արդյունքում օքսիդանում են հումքում պարունակվող երկաթի 88...92%-ը, իսկ ընդհանուր գործընթացից կորզվող ոսկին կազմում է 92...96%:

Բնույթով նման [51] աշխատանքում ցիանիդային տարրալուծումներից առաջ ածխածնային հումքը մշակվում է

տարբեր տեսակների արթրոբակերետ, պսևդոմոնա, բլակեսլեա, պենիցիլին և այլ տեսակի մանրէներով: Հումքի օքսիդացումների համար օգտագործվում է նաև սիլիկաթթվի հիմքով կենսաբանական խյուս, որը պարունակում է Fe^{3+} , As^{5+} և այլ խառնուրդներ [52]: Հումքի կլանիչ ակտիվության չեզոքացման գործողությունը ընթանում է 2...4 ժամ, 40°C ջերմաստիճաններում՝ լուծույթի pH – ի արժեքը գտնվում է 2,6...2,8 միջակայքում: Այս միջոցների օգտագործման շնորհիվ կորզվող ոսկու քանակը բարձրանում է կազմելով հումքի պարունակությունների 98...99%-ը:

Ածխածնային բաղադրիչի առանձնացման հերթական աշխատանքում գործածվում է ոսկեբեր հումքի ֆլոտացման միջոցը, որից հետո ստացված խտանյութը տարրալուծվում է ցիանիդի լուծույթով: Այս եղանակը սակայն օժտված է ցածր արդյունավետությամբ, քանի որ մշակվող հումքում՝ ածխածնի հետ կապված ոսկին մեծ քանակ է կազմում [53]:

[54] աշխատանքներում, ազնիվ մետաղների կլանման ակտիվությունը նվազեցնելու նպատակով, ածխածնային հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացներում օգտագործվում են տարբեր յուղեր, սկիափոար, մեկուսիչ ներկանյութ, ինչպես նաև նավթ և թիոկարբամիդ: Այս միջոցները սակայն չեն ապահովում պահանջվող արդյունքները, քանի որ այս դեպքում հնարավոր է լինում հումքի ածխածնային մասնիկների կլանիչ ակտիվությունը պակասեցնել առավելագույնը 50%-ով և կորզել այդ հումքում պարունակվող Au և Ag - ի համապատասխանաբար 75 և 70%-ը: Ըստ հաջորդ [55] աղբյուրի տվյալի հումքը մշակվում է ածխաջրածնային վառելանյութերի օքսիդացված աերոզոլներով, որի հետևանքում թթվային տարրալուծման միջոցով կորզված Au-ի և Ag-ի պարունակությունները ավելանում են հասնելով համապատասխանաբար 88 և 84%-ի:

Աշխատանք [56]-ում ոսկեբեր ածխածնային հումքը ջրի հետ խառնումից գոյացած խյուսի մեջ ներկրվում է ածխածնի օքսիդացնող կատալիզորդ (օրինակ՝ կալիումի պերմանգանատ, վանադիումի օքսիդաթթվորիդ, մոլիբդենի եռօքսիդ, ամոնիումի

մետալանադատ), որը կազմում է գործընթացում օգտագործվող հումքի կշռի առնվազն 0,01%-ը: Ստացված խառնուրդը տեղադրում են նախապես մինչև 250...450°C տաքացրած վառարանի մեջ, որտեղ հումքի օքսիդացումն իրականացվում է 3...6 ժամվա ընթացքում: Արդյունքում հումքի ածխածնային նյութերը լիովին օքսիդանում են, իսկ դրանից հետո գոյացած պինդ արգասիքները մշակվում են ցիանիդային լուծույթով: Ըստ ստացվող տվյալների այս գործընթացում կորզվող ոսկին կազմում է ելանյութի պարունակությունների 62...95%-ը:

Համաձայն [57] աշխատանքի տվյալների ազնիվ մետաղներ պարունակող հումքին ավելացվում է մոտ 10 կգ/տ կրաքար և 5 կգ/տ լիգնին, ինչը այնուհետև տարրալուծվում է ցիանիդի 0,1%-ոց լուծույթով մոտ տասը ժամվա ընթացքում: Այս միջոցներով կորզված Au-ը և Ag-ը համապատասխանաբար կազմում են հումքում այդ տարրերի պարունակությունների մոտ 93,5 և 89,7%:

1.4.3. Ածխածնային ելանյութերի այրուքի թթուներով տարրալուծման եղանակները

Ուժեղ արտահայտված կլանիչ ակտիվությամբ ածխածնային հանքանյութերը հիդրոմետալուրգիական մշակումներին նախապատրաստելու նպատակով արտադրությունում հաճախ գործածվում են հումքի այրման միջոցը: Այդ օքսիդիչ այրումների շնորհիվ հնարավոր է լինում լուծել ածխածնի չեզոքացման և սուլֆիդների կազմում ներծծված մանրահատ չափերի ոսկու բացահայտման խնդիրները: Այս այրումներում այդ հումքը օգտագործվում է հանքանյութերի և առավելապես խտանյութերի վիճակում, իսկ գործողությունները կատարվում են տարբեր ջերմաստիճանային պայմաններում և սարքավորումների օգտագործմամբ:

Հետաքրքրական են հատկապես ածխածնային հանքանյութերի՝ ջրային գոլորշիների և թթվածնի խառնուրդում կատարվող ջերմային մշակման տեխնոլոգիաները [58,59]: Համաձայն նշված աշխատանքների տվյալների, հումքի ջերմային մշակումներն ընթանում են 300...500°C, 600...750°C և ավելի բարձր

ջերմաստիճանային միջակայքում: Այդ գործընթացներում օգտագործվող թթվածինը նպաստում է հումքի օրգանական բաղադրիչների լիարժեք այրմանը, իսկ ջրային գոլորշիների դերը այրուման ընթացքում գոյացող ածխածնային գազատեսք օքսիդների նպատակային կլանումն է:

Ածխածնային հումքից կորզվող ոսկու արդյունավետության բարձրացմանը նպատակաուղղված [60] աշխատանքում օքսիդիչ այրումները սովորաբար կատարվում $600-800^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճաններում: Այրման գործընթացի արդյունավետությունը բարձրացնելու նպատակով կրկնվող այրումներում օգտագործվում են մինչև 1 մմ չափերի թերայրուկներ: Ըստ ստացվող տվյալի, այսպիսի մոտեցումների շնորհիվ հետագա ընթացող ցիանիդային լուծազատմամբ հնարավոր է լինում լուծույթ անցկացնել հումքում պարունակվող ոսկու 70...80%-ը:

Համաձայն [61] աշխատանքի հանքանյութի մոխիրը Φ լոտացնելու միջոցով հնարավոր է լինում կորզել հումքում պարունակվող ոսկու 85...90%, իսկ ըստ այս շարքի վերջին աշխատանքի [62] տվյալների, Φ լոտացմամբ ստացված խտանյութի այրումից հետո այդ նույն տվյալը հնարավոր է լինում հասցնել մինչև 96,5%-ի:

1.5. Ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման պիրոմետալուրգիական եղանակները

Մետաղակիր՝ գորշ և թերթաքարային ածուխներից ազնիվ մետաղների կորզման հալքանոթային եղանակով հումքի հալման պիրոմետալուրգիական գործընթացները ընթանում է $1100...1200^{\circ}\text{C}$ և ավելի բարձր ջերմաստիճաններում, որոնցում՝ բացի Φ լյուններից և վերականգնիչներից հաճախ օգտագործվում են ազնիվ մետաղների տարբեր մետաղական կուտակիչներ (կապար, պղինձ, երկաթ և այլ): Այս եղանակին սկզբունքորեն նման մետաղաթերմային գործընթացը ընթանում է մոտավորապես 2000°C ջերմաստիճանում: Վերջինս ընթանում է ինքնաբերաբար, իսկ բարձր ջերմաստիճանները դրանցում գոյանում են Al, Mg և այլ մետաղական մանրազանգվածների այրման շնորհիվ:

Նշված եղանակով հումքում առկա ազնիվ մետաղները տեղափոխվում են բովախառնուրդի հալման արդյունքում գոյացած մետաղների կամ համաձուլվածքների (կուտակիչներ կամ վերկբլեյ) կազմի մեջ: Վերջինիս կազմից ազնիվ մետաղների հետագա արդյունահանման համար արտադրության ունում օգտագործվում են վերկբլեյի կուպելացման և քիմիական թթուներով տարրալուծուման հայտնի միջոցները:

Բարձր ջերմաստիճաններում ընթացող գործընթացների արդյունքում հումքում առկա ազնիվ մետաղները հայտնվում են ածխաթթվային գազերի կազմի մեջ: Այդ գազերից ազնիվ մետաղների վերականգնման համար դրանք անց են կացվում գազերի կլանիչ և մետաղների վերականգնիչ հատկանիշներով օժտված լուծույթների միջով:

Ազնիվ մետաղների կորզման վերջին եղանակում հումքի ջերմային մշակումները ($300\ldots 900^{\circ}\text{C}$) ընթանում են ալկալային մետաղների աղերի հետ՝ որի պատճառով գործընթացը կոչվում է աղային քլորացում: Վերջինիս արդյունքում գոյանում են ազնիվ մետաղների ջրում և թույլ թթուներում լուծվող աղեր, որոնց հետագա վերականգնումը իրականացվում է նշված լուծույթները ցինկով, երկաթով ցեմենտացնելու և այլ քիմիական միջոցների օգտագործմամբ:

1.5.1. Հալման հալքանոթային եղանակները

Ազնիվ մետաղների կորզման արդյունավետ միջոց է համարվում երկաթի բարձր պարունակություներով ածխածնային ելանյութերի՝ խարամագոյացնող նյութերի հետ $1600\ldots 1700^{\circ}\text{C}$ բարձր ջերմաստիճաններում հալման (ալազմա-աղեղնային վառարանների օգնությամբ) գործընթացները: Այս աշխատանքներում [63,64] օգտագործվող բովախառնուրդի կազմում՝ երկաթի վերականգնման համար անհրաժեշտ ածխածինը կազմում է 5-30%, իսկ հալումը շարունակվում է մինչև երկաթի հիմքով և ալատինային մետաղների պարունակությամբ համաձուլվածքի գոյացումը:

Ռուսաստանի Դաշնության Սուխոյ-Լոգ ածխածնային հանածոների մշակման արտադրական տեխնոլոգիայում ազնիվ մետաղ

պարունակող խտանյութի այրուքը հալվում է (1100...1200°C) տեխնիկական սոդայի, խարամի և արծաթի աղի հետ: Ստացվում է Դորեի համաձուլվածք, որից ոսկին և արծաթը առանձնացվում են թթվով մշակման միջոցով: Նույն ազնիվ մետաղների խտանյութը հալվում է նաև նատրիումի և կալցիումի կարբոնատների, երկաթի օքսիդի հիմքով նյութերի և ածխածնային վերականգնիչի հետ: Ստացված շտեյնը՝ մթնոլորտային օդի առկայության պայմաններում քայքայվում է, որից հետո գոյացած մանրազանգվածը տարրալվացվում է ջրով: Դրանից հետո ստացված մետաղներով հարուստ պինդ արգասիքը մշակվում է ցիանիդի լուծույթով [65,66]:

Աշխատանք [67]-ում խտանյութի՝ մոտ 1200°C ջերմաստիճանում հալումը իրականացվում է գլյոտի, ապաօքսիդիչների և վերականգնիչների հետ, որի արդյունքում նշված հումքում պարունակվող ազնիվ մետաղները կուտակվում են գործընթացի վերջում առաջացած կապարային վերկբլեյի մեջ: Վերջինս այնուհետև լուծվում է ազոտական թթվի էլեկտրոլիտում՝ անոդային հոսանքի խտության 800...1500 Ա/մ² արժեքների միջակայքում: Արդյունքում ոսկին անցնում է շլամի մեջ, իսկ էլեկտրոլիտում առկա կապարը նստում է իր դժվար լուծվող աղի տեսքով:

Ի տարբերություն նախորդի՝ հերթական նմանաբնույթ աշխատանքներում [68,69] հումքի հալումից հետո գոյացած մետաղական կապարի հիմքով վերկբլեյը կուպելացվում է, որի արդյունքում ցեմենտյա տարողության հատակին գոյանում է Դորեյի համաձուլվածք:

Ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով՝ օգտագործվող ածխածնային հումքը հալում է 900...1100°C, 0,5...2,0 ժամ տևողությամբ օքսիդիչի (ալկալային մետաղի սուլֆատ) $C : SO_4^{-2} = 1 : 1,5...2,0$ հարաբերության պայմաններում [70]: Գոյացած հալույթի՝ թթուներով տարրալուծումներից հետո, սուլֆիդը անցնում է լուծույթի կազմ, իսկ ազնիվ մետաղները մնում են պինդ նստվածքների մեջ: Գյուտի հեղինակները պնդում են, որ կիրառվող

միջոցները հնարավորություն են ընձեռնում կորզել հումքում պարունակվող Ag, Pd, Pt մետաղների 97,5...99,8%-ը:

Նախորդին նման [71] աշխատանքում հումքը հալվում է նատրիումի սուլֆատի և 10-20%-ոց նիկելի սուլֆիդային խառնուրդի հետ: Ստացված հալույթը այնուհետև տարալուծվում է ծծմբական թթվի լուծույթով, որի արդյունքում հնարավոր է լինում ստանալ ՊԽՄ խառնուրդ:

Աշխատանք [72]-ում հումքի հալման արգասիքների թթվով տարալուծված լուծույթներից՝ Au, Ag, Pd, Pt ազնիվ մետաղները վերականգնվում են նատրիումի թիոսուլֆատի օգնությամբ:

Հալման եղանակով կատարվող վերջին աշխատանքում [73] պլատինային մետաղներ պարունակող հումքը թրծվում է (850°C , 2 ժ) քանակով 2...3 անգամ ավելի բարիումի երկօքսիդի հետ, որից հետո ջերմամշակման արգասիքը տարալուծվում է (90°C , 1,5 ժ) աղաթթվի 6 ն լուծույթով: Նշված գործողությունների արդյունքում լուծույթ անցնող պլատինային մետաղները կազմում են (զանգ.)՝ Pt-ը՝...99,66, Pd-ը՝...99,77, Rh-ը՝ 99,8, Ir-ը՝ 99,42, Ru-ը՝ 99,73, իսկ պինդ նստվածքում այդ մետաղների գումարը կազմում է մոտ 0,25%:

1.5.2. Բոցավառման եղանակները

Գորշ և թերթաքարային ածուխների բոցավառման տեխնոլոգիաներում [74] գոյանում են ոսկու և այլ ազնիվ մետաղների պարունակությամբ ծխազազեր: Վերջիններիս որսման նպատակով օգտագործվում են ջրային գոլորշիներ, որոնցում գոյացած խառնուրդների հովացման արդյունքում ոսկին կուտակվում է ջրային կոնդենստի մեջ:

Աշխատանք [75]-ում ոսկու պարունակությամբ գազերի հովացման համար օգտագործվում են հեղուկ և գազային վիճակների ամոնիում: Դրանց արդյունքում չորոցված և խտացված ոսկին այնուհետև որսվում է համապատասխան սարքերի օգնությամբ:

Դժվար հարստացող ածխածնային հանքանյութերի այրումը կատարվում է օդի հոսքի առկայության պայմաններում [76,77], որոնց արդյունքում գոյացած ոսկու պարունակությամբ գազերն անցնում են ածխածնային վերականգնիչներ պարունակող ջրային

աշտարակներով, իսկ աշխատանք [78]-ում հոլմքի բոցավառումից գոյացած ոսկեկիր գազերի հովացումն իրականացվում է փոփոկ գոյացնող նյութի և ազնիվ մետաղների վերականգնիչի պարունակությամբ ջրով՝ Φ լոտացման մեքենայի մեջ:

Համաձայն այս ենթավերնագրի վերջին տեղեկատվական աղբյուրների [79,80] տվյալների օսմիում-պլատինային մետաղ պարունակող ածխածնային հոլմքն այրվում է $800 \pm 50^\circ\text{C}$ միջակայքում՝ օդի և ջրային գոլորշիների միջավայրում: Դրանցում գոյացած գազային արգասիքները անցնում են էմուլգատորի միջով, որից առանձնացած մոխրի մասնիկները շփվում են նատրիումի հիդրօքսիդի հետ: Վերջին փոխազդեցության արդյունքում օսմիումի միացությունները հնարավոր է լինում վերականգնել մինչև մետաղական օսմիումի վիճակը:

1.5.3. Հալման մետաղաթերմային եղանակները

Արդյունավետությամբ բարձրացնելու նպատակով արտադրությունում հաճախ գործածվում են մետաղների կորզման համար օգտագործվող հոլմքի մետաղաթերմային եղանակով հալման ինքնատարածվող բարձր ջերմաստիճանային սիմթեզի (ԻԲՍ) տեխնոլոգիաները [81]:

Ռուսաստանի Դաշնության Նորիլսկի ԼՄԿ-ում իրականացվող մետաղաթերմային գործընթացում որպես հոլմք օգտագործվող խտանյութի հիմնական բաղադրիչը պիրիտն է: Վերջինիս մետաղաթերմային եղանակով հալման համար գործածվող բովախառնուրդը կազմված է (զանգ.,%)՝ խտանյութ – 80, Al – 12,5, Mg – 4, C – 3,5: Այդ գործընթացի արդյունքում ստացված մետաղական ելքը կազմում է բովախառնուրդի կշռի մոտ 45%-ը, իսկ մնացածը՝ ալյումինի և մագնեզիումի օքսիդներից ու սուլֆիդներից կազմված խարամն է: Ըստ ստացվող տվյալի մետաղական արգասիքում առկա է (զանգ.,%)՝ Fe – 88,1, Ni – 4,3, Cr – 0,74, Cu – 0,6, Ti – 0,45, Co – 0,2 և (գ/տ)՝ Pd – 12,2, Pt – 1,7, Rh – 1,5 [82,83]:

Մետաղաթերմային գործընթացները կարող են օգտագործվել խտանյութերում պարունակվող ազնիվ մետաղների կորզման և վերլուծումների նպատակով: Պիրիտից և խալկոպիրիտից կազմված 60

գ փորձանմուշի մետաղաթերմային եղանակով մշակումները կատարվում են 27 գ Mg-ի, 3 գ CuO-ի, 2 գ Fe₂O₃-ի և 8 գ CaF₂-ի հետ: Չալումից ստացված մետաղական գնդիկում ազնիվ մետաղների պարունակությունը կազմում են 3,5 գ/տ, իսկ ստանդարտ վերլուծություններից ստացված նույն տվյալը՝ 2,95 գ/տ է [84,85]:

Արժեքավոր մետաղների բացահայտման վերաբերյալ հաջորդ` ԻԲՍ գործընթացում որպես փոխազդիչ նյութ օգտագործվում է հիմնային մետաղի կարբոնատ [86]:

[87...90] աշխատանքներում հումքի բարձր ջերմաստիճանային մշակումները կատարվում են ալյումինի և երկաթի օքսիդի մանրագնդակների հետ` հումքի հարաբերությունը նշված փոխազդիչների նկատմամբ համապատասխանում է 1 : 1,1 մինչև 1 : 1,4 կշռային միջակայքին, իսկ դրանց ջերմային մշակումները ընթանում են իներտ գազերի միջակայքում: Այրման արգասիքն այնուհետև տարրալուծվում են առանց խարամի և մետաղական գնդիկի առանձնացման:

Վերջին ԲԻՍ եղանակով աշխատանքը [91] վերաբերում է դժվար հարստացող հանքանյութերում պարունակվող ալատինի ուղեկիցների` Rh, Ir, Ru մետաղների բացահայտմանը: Չամաձայն ստացվող տեղեկատվության այդ գործընթացի արդյունքում գոյանում են վերը նշված ալատինային մետաղների և երկաթի թթուներում լուծվող իներտ մետաղական միացություններ:

1.5.4. Աղային քլորացման եղանակները

Ածխածնային ելանյութերում առկա Au, Pt և Pd քլորացման եղանակով ստացման առաջին գործընթացում [92] հումքը օգտագործվում է առանց նախնական ջերմային մշակումների: Այդ հումքի քլորացման ջերմային մշակումները (450...600°C) կատարվում են նատրիումի քլորիդի և պիրիտի հետ, որի արդյունքում ազնիվ մետաղները վերափոխվում են թթուներում լուծվող միացությունների: Այս գործողություններից ստացված քլորային այրուքը տարրալուծվում է աղաթթվի կամ ծծմբական թթվի ջրով

նոսրացված լուծույթներում, որի արդյունքում լուծույթի կազմ են անցնում Pt, Pd-ի և Au-ի 90% - ից ավելին:

Երկրորդ գյուտում [93] ազնիվ մետաղներ պարունակող խտանյութի քլորացման նպատակով ջերմային մշակումը կատարվում է 7...13% նատրիումի քլորիդ պարունակող բովախառնուրդում՝ 600...700°C ջերմաստիճանային միջակայքերում: Ստացված քլորային այրուքն այնուհետև տարալուծվում է արքայաջրի նոսր լուծույթով՝ դրանից հետո լուծույթի մեջ անցած Au, Ag, Pt և Pd ազնիվ մետաղները կորզվում են քիմիական տարալուծումների հայտնի եղանակով:

Արծաթ, Pt և Pd ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով [94] աշխատանքի սկզբում դժվար հարստացող ելանյութը ենթարկվում է սուլֆատացնող այրման, որից հետո՝ ստացված այրուքը հալվում է (600...900°C) 1:(1-10) զանգվածային հարաբերությամբ նատրիումի քլորիդի հետ: Ստացված հալույթի հետագա տարալուծումն իրականացվում է տաք (80...90°C) ջրով՝ վերջում խյուսը գտվում է: Նշված գործողությունների արդյունքում Ag, Pt և Pd ազնիվ մետաղներն անցնում են լուծույթ, որտեղից դրանք հնարավոր է վերականգնել քիմիական միջոցներով: Այս գործընթացը համեմատած հայտնի տեխնոլոգիաների, կրճատում է ընդհանուր գործողության տևողությունը, հնարավորություն է ընձեռնում կորզել հումքի ՊԽՄ ամբողջությամբ:

Նույն նպատակով կատարված [95,96] աշխատանքներում ազնիվ մետաղների սուլֆիդային հումքը քլորացվում է (300...600°C) KCl և NaCl պարունակող աղային խառնուրդներով: Ըստ ստացվող տվյալների, նշված գործողությունների արդյունքում հումքի ալատինային մետաղները վերափոխվում են քիմիապարզ, սակայն ջրում լուծելի քլորիդային միացությունների:

Չերթական՝ [97...100] աշխատանքներում հումքի քլորացման համար օգտագործվում են FeCl_3 , NaCl և ZnCl և այլ տեսակների աղերի էվտեկտիկական բաղադրությամբ աղային խառնուրդներ: Այդ աղերով հումքի հալումները (250...550°C), ի տարբերություն վերևի աշխատանքների, կատարվում է քլոր գազի ներկայությամբ: Այս ջերմային մշակումների արգասիքներն այնուհետև մշակվում են

350...650°C ջերմաստիճանային միջակայքում, որի նպատակը դրանցում գոյացած ոսկու քլորիդը տարրական ոսկու վերափոխումն է: Դրանից հետո հայտնի միջոցներով լվացահանված ոսկին կազմում է 99,5...99,8%: Այս շարքին դասվող վերջին աշխատանքում հումքի քլորացման ջերմային մշակումները (400...600°C, 20...40 րոպե), կատարվում են մագնեզիումի քլորիդի ջրային լուծույթի ներկայությամբ՝ ավտոկլավների մեջ:

[101] գյուղը վերաբերում է դժվար հարստացող հանքանյութերում պարունակվող ազնիվ մետաղների կորզման միջին ջերմաստիճանային պիրոմետալուրգիական եղանակին: Համաձայն ստացվող տեղեկատվության ազնիվ մետաղների խտանյութի ջերմային մշակումը ընթանում է տարրական ծծումբի և նատրիումի հիդրօքսիդի հետ շուրջ 500°C ջերմաստիճաններում՝ երկու ժամ տևողությամբ: Հալումից գոյացած հալույթը լուծվում է ջրում, իսկ գոյացած խլուսի գտումից հետո լուծույթ անցած ոսկին կազմում է 91...93%, իսկ արծաթը՝ 96...97%: Այս ցուցանիշները ստացվում են ծծումբի, հիմքի և խտանյութի քանակական հարաբերությունների օպտիմալ արժեքների դեպքում, որոնք գտնվում են 1,6:1,0:0,5...1,6:1,0:0,2 միջակայքերում:

1.6. Ազնիվ մետաղների կորզման գործընթացների վերլուծությամբ և ածխածնային ելանյութերի մշակման տեխնոլոգիական մոդելի նախանշումը

Ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային ելանյութերի մշակման առավել արդյունավետ եղանակը ցիանիդի լուծույթով էլեկտրոլիզի և օքսիդիչ նյութերի պայմաններում աղաթթվով մշակման գործընթացներն են: Արդյունքում կորզվող Au-ը և Ag-ը կազմում են հումքի պարունակության համապատասխանաբար 92 և 87%-ը:

Կորզվող ազնիվ մետաղների արդյունավետությունը բարձրանում է, երբ հիդրոմետալուրգիայի եղանակով մշակումից առաջ ածխածնային ելանյութերը ենթարկվում են ջերմային մշակման: Այս դեպքում ֆլուտացման եղանակով հարստացված արուքից կորզվող ոսկին կազմում է 90...96,5%:

Արդյունավետության և բնապահպանության տեսանկյունից հարկ է կարևորել ածխածնային ելանյութերի՝ ավտոկլավով օքսիդացված արգասիքը ծծմբածխածնային օրգանական լուծիչներով տարրալուծման գործընթացը, որտեղ կորզվող ոսկին կազմում է հումքի պարունակությունների 95%-ը:

Ազնիվ մետաղների կորզման եղանակներից արդյունավետությամբ միական մանրէներով չեզոքացված հումքի ցիանիդի լուծույթով մշակման գործընթացն է, որի ընթացքում կորզվող ոսկին կազմում է հումքի պարունակության 98...99%-ը:

Բերված փաստարկներից հետևում է, որ վերջում նշված գործընթացին՝ որպես մրցունակ տարբերակ, կարող է հանդիսանալ օքսիդիչների առկայությամբ աղաթթվով տարրալուծումը, քանի որ բացի ոսկուց, այստեղ հնարավոր է արդյունահանել լրացուցիչ Pt և Pd, որոնք համապատասխանաբար կազմում են 74 և 87%:

Ազնիվ մետաղների կորզման բարձր ջերմաստիճանային բոցավառման գործընթացներն ունեն որոշակի թերություններ, որոնք պայմանավորված են արդյունահանվող մետաղների գոլորշիացման և հետագա վերականգնման ռեժիմների միջև առկա տարբերություններով: Այդ տեխնոլոգիաների իրականացումը և ավտոմատ վերահսկումը հնարավոր է կառուցվածքով բարդ և թանկարժեք սարքավորումների միջոցով, իսկ օգտագործվող բարձր ջերմաստիճանները նպաստում են որոշ արժեքավոր մետաղների կորուստին: Նշված պատճառներով բոցավառման եղանակով հալման գործընթացները արտադրությունում քիչ են տարածված և գործածվում են հիմնականում ոսկու և օսմիումի պարունակությամբ նյութերի մշակելիս:

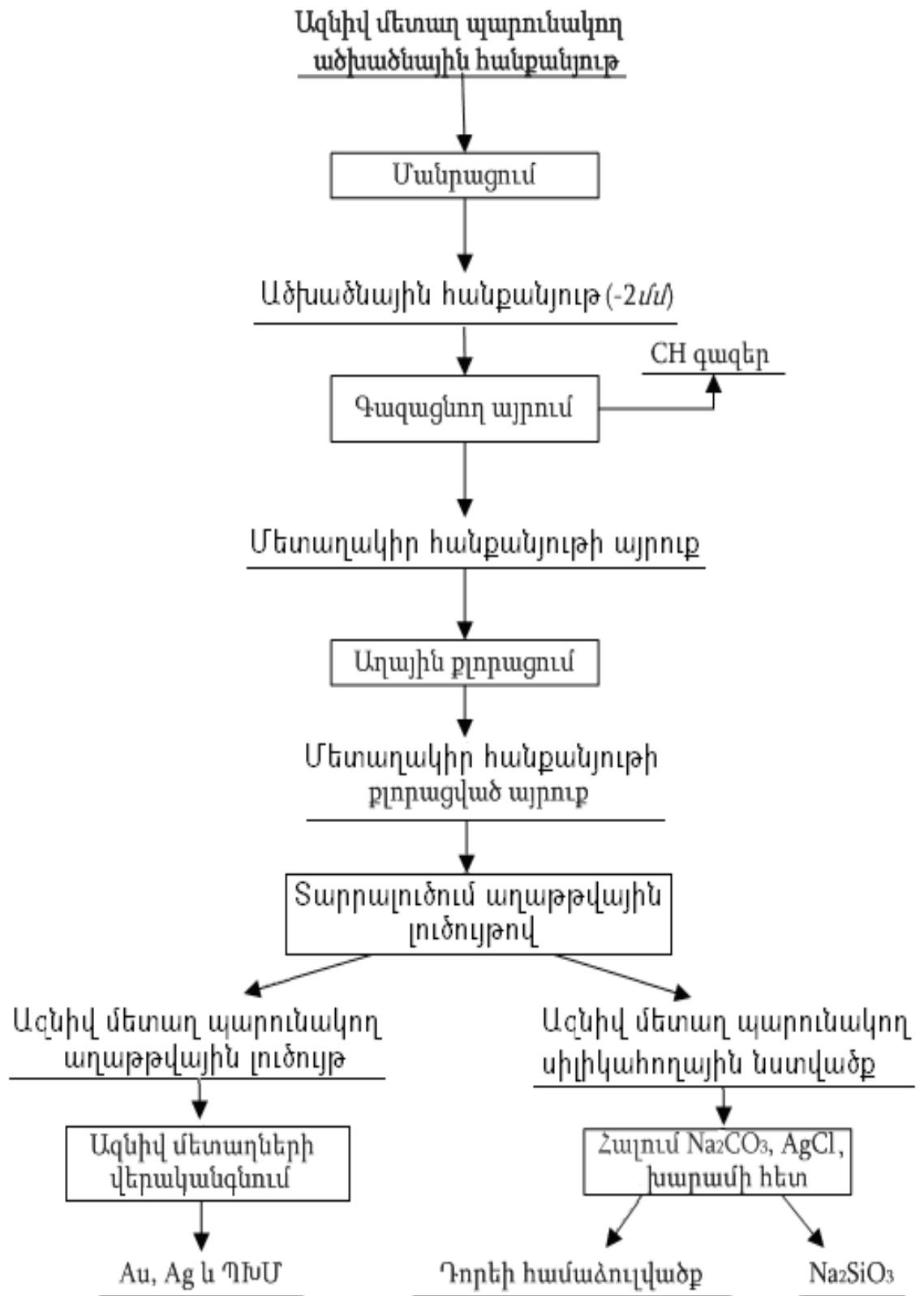
Ազնիվ մետաղների կորզման աղային քլորացման եղանակը ընթանում է համեմատաբար ցածր՝ մինչև 1000°C ջերմաստիճաններում, ոչ բարդ ու թանկարժեք սարքավորումների օգտագործմամբ: Այս գործընթացի առավելությունն է հումքում պարունակվող բոլոր պատիճային մետաղները համատեղ կորզելու ունակությունն է, իսկ թերությունն ոսկու և արծաթի՝ նստվածքների մեջ անցնելու երևույթը: Ազնիվ մետաղներ պարունակող հումքի քլորացումը իրականացվում է տարբեր մետաղների քլորիդների օգտագործմամբ,

որոնք բացի լրացուցիչ ֆինանսական ծախսերից գործընթացում հարուցում են նոր տեխնիկական խնդիրներ:

Հալման հալքանոթային եղանակով գործընթացները բացի ոսկուց և արծաթից ունակ է կորզել հումքում պարունակվող ՊԽՄ-ի մոտ 99%-ը, իսկ բովախառնուրդի հալման ընթացքում մետաղները վերականգնումը հնարավոր է բնական ածխածնով:

Մետաղաթերմային գործընթացների առավել ությունները պայմանավորված են նրա էներգախնայողությամբ և բարձր արտադրողականությամբ, որով էլ պայմանավորված դրանք երկրաբանական և տեխնոգեն նշանակությամբ նյութերի արդյունավետ մշակման համար նոր հնարավորություններ են բացում:

Վերը բերված փաստարկների ամփոփման արդյունքում մշակվել է մետաղակիր ածուխներից ազնիվ մետաղների արդյունահանման սկզբունքային նշանակության տեխնոլոգիա, որի սխեման ներկայացված է նկ. 1.1-ում:



Նկ . 1.1. Ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման պիրոմետալուրգիական մեթոդի սխեման

Նշված սխեմայի առանցքում դրված են ազնիվ մետաղների կորզման աղային քլորացման և հալքանոթային հալման գործընթացը, որի արդյունքում ստացվում են ազնիվ մետաղներով հարուստ արգասիքներից ոսկու, արծաթի, պլատինի և պալադիումի տարրերը հնարավոր է ստանալ հիդրոմետալուրգիական եղանակներով, իսկ պլատինին ուղեկից քիմիական կայուն մետաղները կուտակվում են նստվածքներում: Հարկ է վերջում ավելացնել, որ մշակված տեխնոլոգիան հնարավորություն է ընձեռնում ստանալ ժողովրդական տնտեսությանը և լայնորեն օգտագործվող նատրիումի մետասիլիկատ կամ հեղուկ ապակի, որը իր հերթին կանխում է մշակված տեխնոլոգիայում ավազուկային պրօանքի գոյացումը և շրջակամիջավայրի աղտոտումը:

Եզրակացություններ և հետազոտման խնդիրների դրվածքը

Հետազոտությանն նպատակն է մշակել տեղական մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխներից ազնիվ մետաղների համալիր կորզման ժամանակակից տեխնոլոգիա, որը կբավարարի ածուխների ջերմային արտենցիալի շահավետ օգտահանման պահանջներին և բնապահպանական նորմերին:

Նշված նպատակի իրականացումը սակայն դյուրին խնդիր չէ, որովհետև աշխատանքում ազնիվ մետաղների կորզման մետալուրգիական գործընթացներում օգտագործվում է դժվար մշակվող կամ հարստացող ածխածնային հանքանյութ, որում ոսկու, արծաթի, պլատինի և պալադիումի պարունակությունները ցածր են: Այստեղից հետևում է, որ նշված ազնիվ մետաղներով աղքատ հանքանյութի տեխնիկական և տնտեսական նկատառումներով հիմնավորված օգտագործումը հնարավոր է միայն այդ հումքի նախնական նախապատրաստումից հետո: Համաձայն այդ մոտեցման, նշված հումքի տնտեսապես արդյունավետ մշակումը այստեղ հնարավոր է հումքի մեջ եղած ածխածնային վառելանյութերի, ինչպես նաև ազնիվ, հազվագյուտ և արժեքավոր մետաղների լիարժեք օգտահանման դեպքում:

Գրականության տվյալների վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված, որ ածխածնային հանքանյութերի վերամշակման

հիդրոմետալ ու րգիական եղանակներն արդյունավետ չեն, քանի որ թթուներով տարալ ու ծման ընթացքում ածխածինը հանդես է գալիս որպես մետաղների վերականգնիչ, որի արդյունքում հումքի ազնիվ մետաղները հայտնվում են պոչանքում: Նման բարդությաները նկատվում են նաև հանքանյութերի այրուքների թթվային տարալ ու ծման ժամանակ, ինչը պայմանավորված է ազնիվ մետաղներով աղքատ և վերականգնիչ հատկանիշներով օժտված՝ ածխածնային և երկաթի ու պղնձի սուլիֆիդային միացությունների պարունակությամբ հումք օգտագործելու հետ:

Ցույց է տրված, որ ազնիվ մետաղների կորզման հիդրոմետալ ու րգիական գործընթացներում առկա խնդիրները շրջանցելու համար նպատակահարմար է օգտագործել ածխածնային ելանյութերի՝ հալքանոթային և մետաղաթերմային եղանակներով, հալման պիրոմետալ ու րգիական 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 տարալ ու ծելու միջոցներով:

Փորձարկումներից առաջ՝ ազնիվ մետաղների բացահայտման նպատակով, պետք է կատարվենլ ածխածնային հանքանյութերի նախապատրաստման աշխատանքները, ինչպիսիք են.

- հանքանյութից պինդ վառելանյութ ածուխների առանձնացման՝ ջրով և վառման, գործընթացի հետազոտություն,
- ածխածնային ելանյութում պարունակվող երկաթի քայքայման՝ աղաթթվի և ուծույթով տարալ ու ծման գործընթացի հետազոտություն,
- ածխածնային ելանյութերի օրգանական բաղադրիչի գազայնացման՝ ջերմային մշակման գործընթացների հետազոտություն:

Նշված հետազոտությունները կավարտվեն տարբեր նյութական արժեքների ստացմամբ:

Նշված նպատակին հասնելու համար առաջադրվել են և պետք է լուծվեն հետևյալ խնդիրները.

- ազնիվ մետաղ պարունակող ածխածնային ելանյութերի մշակման մետալուրգիական գործընթացների համեմատական վերլուծությունը և առավել արդյունավետի ընտրում,
- ազնիվ մետաղ պարունակող ածխածնային և սուլֆիդային միներալների ջերմային քայքայման գործընթացի տեսական և թերմոդինամիկական վերլուծությունը 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 խտանյութի հալքանոթային հալման և թթուներով տարրալուծման համակցված գործընթացի հետազոտում և տեխնոլոգիայի մշակում,
- ածխածնային խտանյութերից Au, Ag, Pt և Pd մետաղների կորզման նպատակով խտնյութի 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:

2. ԵԼԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒՄԸ, ՉԱՓԻՉ ՀԱԿԻՉ ՍԱՐՔԱԿՈՐՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ՀԵՏԱՉՈՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ

2.1. ԵԼԱՆՅ ՈԼԹԵՐԻ ՔԻՄԻԱԿԱՆ և ԿԱՆՔԱՔԱՆԱԿԱՆ ԿԱԶՄԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Մետաղակիր ածուխներից ազնիվ մետաղների կորզման գործընթացները հետազոտելու համար որպես ելանյութ ընտրվել և օգտագործվել են Հայաստանի Սյունիքի մարզի Նոր-Արևիկի այրվող թերթաքարային և գորշ ածուխները կամ ածխածնային հանքայնություն: Այս հանքանյութերի և դրանց տարբեր պայմաններում հարստացված խտանյութերի քիմիական կազմը հետազոտվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի (ՀԱՊՀ) «Ընդհանուր քիմիա և քիմիական պրոցեսներ» ամբիոնի ուսումնական լաբորատորիայում, որոնց արդյունքները ներկայացված են աղ. 2.1 և 2.2-ում:

Աղյուսակ 2. 1

Նոր-Արևիկի ածխածնային հանքանյութերի և խտանյութերի քիմիական կազմը (զանգ.%)

Հումքը	C	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO+MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Այլ նյութեր	Ընդամենը
Հանքանյութ	43,3	32,6	8,5	7,8	6,5	0,17	0,08	0,05	1,1	100
Խտանյութ	16,7	40,9	18,6	8,0	13,5	0,20	0,09	0,50	1,5	100

Աղյուսակ 2. 2

Նոր-Արևիկի խտանյութերի քիմիական վերլուծության արդյունքները ըստ տերկաթի և պղնձի միացությունների պարունակության (զանգ.%)

CuS	CuO	Ընդամենը	Fe ₂ S	FeO	Ընդամենը
0,514	0,006	0,520	5,00	8,00	13,00

Աղ, 2.2-ում ներկայացված տվյալները ցույց են տալիս, որ հետազոտությունում որպես հումք օգտագործված ածխածնային ելանյութերում պարունակվող երկաթը և պղինձը հանդես են գալիս ինչպես օքսիդների, այնպես էլ սուլֆիդների տեսքով: Համաձայն այդ վերլուծություններում ստացված հաջորդ տվյալի, գրավիտացման միջոցով հարստացված արտադրական խտանյութերում ծծումբի պարունակությունը կազմում է շուրջ 3%, որի մոտ 78%-ը հանդես է գալիս երկաթի և պղնձի սուլֆիդների, իսկ մնացածը՝ սուլֆատների տեսքով:

Աշխատանք [17]-ում բերված տվյալները վկայում են, որ Նոր-Արևիկի ածխաթերթերում առկա են սև, գունավոր և հազվագյուտ մետաղներ՝ համաձայն 30 տարրերի ռենտգենաապեկտրային եղանակով վերլուծությունների (Au, Ag, Pt մետաղների պարունակությունները հաշվառված չեն) արդյունքների դրանց ընդհանուր քանակը այդ տեղանքի հանածոներում կազմում է 0,185%: Վերջինիս կազմում Ti – ը կազմում է 42,6, Mn – 27, Pb – 11,6, Cu – 5,3, իսկ Ba – 4,6%: Փաստորեն 1% - ից բարձր պարունակություններով մետաղները V, Zn, Ni են, իսկ 1 % - ից ցածրը՝ Mo (0,04...0,2%), Cr, Y, Zr, Co մետաղները: Համաձայն նույն աղբյուրում առկա հերթական տվյալների, որոնք ստացվել են ատոմային ֆոսֆորացման վերլուծական եղանակի օգնությամբ Deno GMBH և ЦНИГРИ մասնագիտացված ձեռնարկություններում, Նոր-Արևիկի ածուխներում Au-ի պարունակությունը կազմում է 0,4...1,6, Ag-ը՝ 1,8...120, Pt-ը՝ 0,02, Pd-ը՝ 0,025, իսկ պլատինային մետաղները միասնաբար՝ 0,1...1,0 գ/տ:

Ըստ [13] աշխատանքի տվյալների Նոր-Արևիկի մետաղակիր ածուխների և դրանց Այգեծորի ոսկու կորզման կոմբինատում գրավիտացման եղանակով հարստացված արտադրական խտանյութում ոսկու, արծաթի, պլատինի, պալադիումի և որոշ արժեքավոր մետաղների պարունակությունները որոշվել են «Լեռնամետալուրգիա ինստիտուտ» ՓԲԸ-ում օգտագործելով այդ մետաղների վերլուծման հարգորոշիչ-գրավիմետրական և ատոմային ֆոսֆորացման եղանակները: Նշված վերլուծությունների արդյունքները ներկայացված են աղ. 2.3-ում:

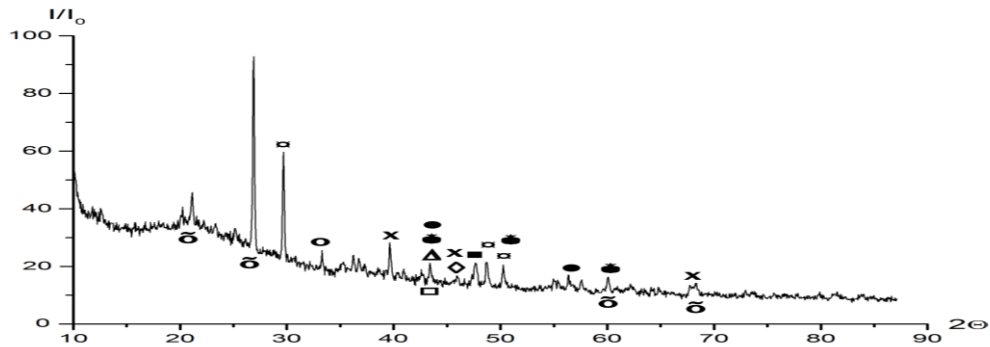
Նոր Արևիկի մետաղակիր ածուխների և արտադրական խտանյութերի ազնիվ և արժեքավոր՝ Mo, Bi, Te մետաղների պարունակությունները (գ/տ)

Հումքը	Au	Ag	Pt	Pd	Mo	Bi	Te	Cu (%)
Հանքանյութ	0,4	1,8	0,02	0,025	-	-	-	-
Խտանյութ	10,0	48	1,2	-	26,7	61,3	4,25	0,5

Նույն վերլուծությունների արդյունքում բացահայտվել է նաև, որ Նոր-Արևիկի ածուխների հարստացման արդյունքում գոյացած պղնձներում ոսկու պարունակությունը կազմում է 0,2, իսկ արծաթինը՝ 1,2 գ/տ: Համաձայն նույն աղբյուրի բնույթով հանքաքանական տվյալների, Նոր-Արևիկի մետաղակիր ածուխներում ոսկին և արծաթը հանդես են գալիս ինչպես ազատ (50%) և սուլֆիդների հետ սերտաճած վիճակներում, այնպես էլ համեմատաբար բարդ կառուցվածքով Au – Ag – Cu և Au - Cu(Ni, Zn) պինդ միացությունների տեսքով: ՊԽՄ-ը այս ածխածնային ելանյութերում հիմնականում ներկայացվում են պոլիկսեն, կամասիտ, կուպրոպատին, ֆերրոպատին վիճակներում, որոնց բնորոշ են երկաթի հետ Pt-Fe-Cu քիմիական բարդ կառուցվածքով իզոմորֆ կապերը:

Աշխատանք [102]-ում բերված տվյալները վկայում են, որ ոսկին, արծաթը և պալադիումն այդ ածուխներում հանդես են գալիս օրգանական (հումինային թթուներում հումիտների տեսքով) և միներալային կառույցներում (Au-ի նստվածքային հիդրոլիտներում): Այնուամենայնիվ, հետազոտություններում փորձարկվել են ջրով լվացմամբ սինթեզված խտանյութեր, որոնք կազմում են ելանյութ հանքանյութի 5-10 զանգ.%-ը: Վերջիններիս և դրանց ստացման համար ելանյութ ածխածնային հանքանյութի քիմիական կազմի տվյալները

բերված են աղ. 2.4-ում, իսկ ռենտգեն կառուցվածքային վերլուծությունների* ռենտգենագիրը նկ. 2.1-ում:



Նկ. 2.1. Ածխածնային հանքանյութից սինթեզված խտանյութի ռենտգենագիրը. δ - SiO_2 ,

α - CuFeS_2 , $\circ$ - FeS_2 , Δ - Fe_2C , $\diamond$ - FeMo , $\blacksquare$ - TiO_2 , $\square$ -C, $\square$ -FeRe, $\bullet$ -Re, $\times$ -Pt(Pd)

Նկ. 2.1-ում բերված ռենտգենագրի վերլուծություննից հետևում է, որ 2θ -ի՝ 33,36 ($\text{DA}^0=2,6858$), 39,664 ($\text{DA}^0=2,4456$), 45,964 ($\text{DA}^0=1,9745$), 47,665 ($\text{DA}^0=1,9080$), 60,068 ($\text{DA}^0=1,5403$) և 67,783 ($\text{DA}^0=1,3825$), արժեքները ըստ նույն հերթականության համապատասխանում են FePt (ASTM 26-1139), Pt,Pd (ASTM 4-802, ASTM 5-681) և FePd (ASTM 2-1440) միացություններին և տարրերին:

Աղյուսակ 2.4

Ածխածնային հանքանյութերի և խտանյութերի քիմիական կազմը (զանգ. %)

Հումքը	C	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	$\text{CaO} + \text{MgO}$	TiO_2	MnO	P_2O_5	Այլ նյութեր	Ընդամենը
Հանքանյութ	43,3	32,6	8,5	7,8	6,5	0,17	0,08	0,05	1,1	100
Սինթեզ խտանյութ	23,7	34,3	18,6	7,00	14,3	0,25	0,13	0,6	1,12	100

* Ռենտգեն կառուցվածքային վերլուծությունները կատարվել են ՀՀ

Գիտությունների ազգային ակադեմիայի Ա.Բ. Նալբանդյանի անվան քիմիական ֆիզիկայի ինստիտուտում և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում:

2.2. Չափիչ-հսկիչ սարքավորումները

2.2.1. Ռենտգենակառուցվածքային վերլուծություն

Վերականգնված մետաղական համաձուլվածքի միատարրությունը և ֆազային բաղադրությունը որոշվել են միկրոռենտգենոսպեկտրալ վերլուծության եղանակով: Ռենտգենաֆազ վերլուծությունը կատարվել է DPH-3 դիֆրակտոմետրի օգնությամբ, որում հիմնականում օգտագործվում է մոնոքրոմատիկ ռենտգենյան ճառագայթներ: Փորձերում օգտագործվել են $\text{CuK}\alpha$ ճառագայթներ և Ni-ի ֆիլտր հետևյալ ռեժիմով. լարումը՝ 25 կՎ, հոսանքի ուժը՝ 10 մԱ, գրանցման արագությունը՝ 420 մմ.ժամ⁻¹:

Ճառագայթման աղբյուրից ռենտգենյան ճառագայթների փունջը դուրս գալով՝ անցնում է որոշակի լայնությամբ ճեղքի միջով, ֆոկուսացվում նմուշի մակերևույթին: Դրանից հետո անդրադարձված փունջն անցնելով նմանատիպ ճեղքերի համակարգի միջով գրանցվում է դետեկտորի կողմից: Ստացված թվային ազդանշաններն ուժեղացվում են, ապա գրանցող սարքի օգնությամբ գրանցվում ազդանշանների ինտեգրալ ինտենսիվության կախվածությունը դիֆրակցիոն անկյան կրկնապատկից: Գրանցված դիֆրակտոգրամների վերծանումն իրականացվում է անդրադարձման պիկերի դիրքերի և աղյուսակային տվյալների համադրությամբ: Այս նպատակի համար օգտագործվել է դիֆրակցիոն տվյալների միջազգային կենտրոնի (International Center for Diffraction Data, ICDD) կողմից թողարկված աղյուսակային էտալոնները:

2.2.2. Մետաղագրական վերլուծություն

Ստացված մետաղական համաձուլվածքների միկրոկառուցվածքային վերլուծության համար օգտագործվել է (SEM) VEGA TS 5130MM, Tescan, Czech Republic, Microanalysis Sistem INCA Energy 300, Oxford Instruments, UK 7 մակնիշի սկանացնող էլեկտրոնային մանրադիտակ և Energi Dispersive X-ray միկրոանալիզատոր (նկ. 2.3):



Նկ. 2.2. Էլ եկտրոնայ ին տեսագրող մանրադիտակ :

2.3. Մետաղակիր ածխածնայ ին Էլ անյ ու թերից ազնիվ մետաղների կորզման հիդրոմետալ ու ռգիական և պիրոմետալ ու ռգիական գործընթացների հետազոտման եղանակները

Մետաղակիր ածխածնայ ին Էլ անյ ու թերից ազնիվ մետաղների կորզման առաջարկվող տեխնոլոգիաներն իրենց մեջ ներառում են ավանդական հիդրոմետալ ու ռգիական և պիրոմետալ ու ռգիական գործընթացների համակցումը :

Արտադրության մեջ գործածվող ցիանիդայ ին լուծույթներով քիմիական տարրալուծման գործողությունները սկզբունքորեն նման են ազնիվ մետաղների ստացման դասական հիդրոմետալ ու ռգիական եղանակներին, իսկ դրանց առանձնահատկությունները պայմանավորված են հումքում մետաղների վերականգնիչների՝ ածխածնի և ծծմբի, առկայությամբ : Այս տեսանկյունից մետաղակիր ածուխները դասվում են առավել դժվար հարստացող հանքանյութերի, իսկ դրանց մշակման հիդրոմետալ ու ռգիական եղանակը՝ ազնիվ մետաղների կորզման դժվար եղանակների շարքին : Այստեղ հիմնական թերությունը պայմանավորված է հումքում առկա մետաղները լուծույթներում կլանող ածխածնայ ին տարրերի օքսիդացման (օքսիդիչ՝ ջերմային կամ քիմիական մշակման եղանակներով) լրացուցիչ ծախսերով . բարձրացնում են ստացվող ազնիվ մետաղների (նշվում են

հիմնականում Au և Ag) ինքնարժեքը: Այդ տարրալուծումներից հետո հումքում պարունակվող ՊԽՄ-ի հիմնական մասը հայտնվում է սիլիկահողի կազմում, ինչը ոչ միայն ավելացնում է տնտեսական վնասների ծավալները, այլև գոյանում են բնապահպանական բնույթի նոր խնդիրներ:

Ազնիվ մետաղների կորզման պիրոմետալուրգիական տեխնոլոգիաները նույնպես զերծ չեն թերություններից՝ դրանցում գործածվում են բարդ կառուցվածքի թանկարժեք՝ հիմնական և օժանդակ, սարքավորումներ: Հայտնի է նաև, որ այս հալման գործընթացներում ածխածինը կարող է կատարել օգտակար՝ ազնիվ մետաղների վերականգնիչի դերը, ինչից բխում է հումքի լրացուցիչ մշակումը շրջանցելու հնարավոր տարբերակը: Հարկ է ավելացնել նաև, որ պիրոմետալուրգիական տեխնոլոգիաները հնարավորություն են ընձեռնում ոչ միայն ածխածնային հանքանյութերում պարունակվող Au և Ag մետաղների բարձրարդյունավետ կորզումը, այլև հումքում՝ քիմիապես կայուն միներալների տեսքով պարունակվող ալատինային մետաղների բացահայտումը: Պլատինային մետաղների համալիր կորզման ունակությամբ հետաքրքրություն են ներկայացնում հանքանյութերի աղային քլորացման տեխնոլոգիաները. հումքը մշակվում է ալկալային մետաղների աղերի հետ հալքանոթային հալումների համեմատ ցածր՝ 300...900°C ջերմաստիճանային միջակայքում: Այս ասպարեզում համեմատաբար նոր ուղղություն է բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի կամ մետաղաթերմիայի եղանակները: Այս գործընթացներում հումքի հալումն իրականացվում է օժանդակ՝ այրվող տարրերի (առավել հաճախ օգտագործվում է ալյումինի, մագնեզիումի) այրումից գոյացող՝ 2500°C և բարձր, ջերմության հաշվին: Արդյունքում գոյանում են մետաղական համաձուլվածքներ, որոնց կազմում են հայտնվում ինչպես ազնիվ, այնպես էլ այլ տեսակների մետաղներ: Այս եղանակի առավելություններն ակնհայտ են՝ չեն կատարվում էլեկտրական ծախսեր, գործողությունն արագ է ընթանում, հնարավոր է աշխատել մեծաքանակ նյութերի հետ միաժամանակ:

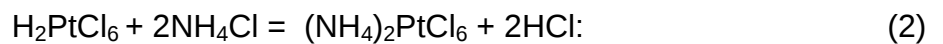
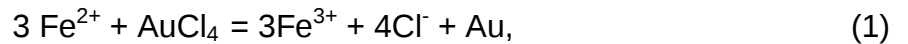
Վերը բերված տեսական տվյալների համադրումները ցույց են տալիս, որ պիրոմետալուրգիական տեխնոլոգիաները հիդրոմետալուրգիականի նկատմամբ օժտված են որոշակի առավելությամբ՝ բարձրարդյունավետությամբ են կորզվում ածխածնային հանքանյութերում պարունակվող Au և Ag, իսկ հումքում՝ քիմիապես կայուն միներալների տեսքով պարունակվող պատկանող մետաղները վերափոխվում են քիմիական թթուներում լուծվող տարրերի, որի արդյունքում լուծույթ անցած ՊԽՄ կազմում են՝ Pt - 99,66%, Pd - 99,77%, Rh - 99,8%, Ir - 99,42%, Ru - 99,73%: Այս հետազոտությունում ածխածնային հանքանյութերի կորզման օպտիմալ պիրոմետալուրգիական եղանակն ավելի նպատակահարմար է կիրառել ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման փորձնական հետազոտությունում: Սակայն, քանի որ ազնիվ մետաղները գտնվում են բարդ միներալների հետասոցված վիճակում, վերջիններիս բացահայտման նպատակով անհրաժեշտ է կիրառել նաև հիդրոմետալուրգիական եղանակը, այսինքն հանքանյութի տարալուծումը թթուներում:

2.4. Հետազոտությունների վերլուծության եղանակները և տեխնիկական միջոցները

Նախքան ազնիվ մետաղների կորզման գործընթացի հետազոտման աշխատանքների կատարումը որոշվել է դրանցում գործածված ածխածնային ելանյութերի քիմիական կազմը՝ օգտագործելով սիլիկահողի քիմիական վերլուծության մեթոդը [103]: Դրան հաջորդել է հումքի հանքաքանակային ուսումնասիրությունը, ինչը իրականացվել է DPOH-2,0 ռենտգենային դիֆրակտոգրաֆի օգնությամբ՝ ռենտգենակառուցվածքային վերլուծությունների ստանդարտ եղանակով [104,105]:

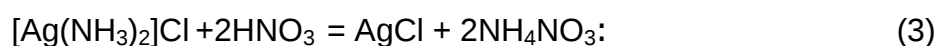
Ազնիվ մետաղների կորզման գործընթացների հետազոտությունների սկզբում օգտագործվել է այդ մետաղների ստացման դասական հիդրոմետալուրգիական եղանակը: Վերջինս կիրառվել է հանքանյութերի և խտանյութերի ոսկի, արծաթ, պլատին և պալադիում ազնիվ մետաղների վերլուծման նպատակով, իսկ դրանց քայքայման համար օգտագործվել է արքայաջուր ($\text{HNO}_3 + 3 \text{HCl}$) [106...108], համաձայն որի լուծույթ տեղափոխված ազնիվ

մետաղների մոտ 99 %-ը վերափոխվում են HAuCl_4 , H_2PtCl_6 , H_2PdCl_6 տեսքով միացությունների, իսկ արծաթը մնում է սիլիկահողային նստվածքի կազմում՝ AgCl -ի տեսքով: Լուծույթից ոսկին վերականգնվում է երկարժեք երկաթի սուլֆատի, պլատինը՝ ամոնիումի քլորիդի օգտագործմամբ, ըստ ստորև բերված ռեակցիաների



Մնացած լուծույթը այնուհետև մշակվում է հեղուկ ամոնիակով, ինչի արդյունքում գոյացած ոչ ազնիվ մետաղների հիդրատներն առանձնացվում են, իսկ ամոնիակային լուծույթի աղաթթվով մշակման արդյունքում ստացվում է պլատինումի դեղին երկամինքլորիդը կամ պլատինումի քլորիդի քլորիդը՝ $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$: Այս միջոցներով ստացված պլատինի և պլատինումի քիմիապես բարդ աղերը, աղաթթվի թույլ լուծույթներով մշակումներից հետո, քայքայվում են մոտ 800°C -ում շիկացման միջոցով: Համաձայն ստացված տվյալների պլատինի և պլատինումի մաքրությունը համապատասխանում են մոտ 99,7% ցուցանիշներին:

Արծաթ քլորիդը տարանջատելու համար սիլիկահողային նստվածքները տարրալվացվում են ամոնիակի տաք լուծույթով, դրանից հետո այդ լուծույթում հայտնված արծաթը վերականգնվել է նոսր HNO_3 -ով, ըստ հետևյալ ռեակցիայի՝



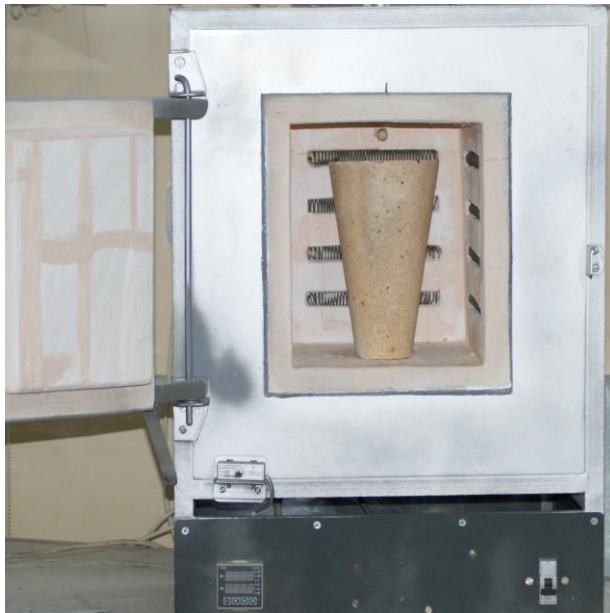
Այս վերլուծության տևողությունը կախված է ելանյութերի քիմիական հատկություններից և ազնիվ մետաղների պարունակություններից: Որպես բացասական երևույթ պետք է նշել, որ թթվով տարրալուծված սիլիկահողային նստվածքներում պահպանվում են 0,5-1,0% պլատինի և նույնքան պլատինումի չլուծված մնացուկներ: Սիլիկահողից վերականգնված արծաթի քլորիդն իր մեջ է ներթափանցում որոշ քանակի պլատինում և այլ պլատինային մետաղներ:

Ածխածնային ելանյութերի թթվային տարրալուծման հետագոտությունները ընթացել են օդափոխվող պահարաններում՝ մինչև մեկ լիտր ծավալների ջերմակայուն ապակյա բաժակների

մեջ: Հոլմքի թթուներով տարրալուծման համար անհրաժեշտ ջերմությունը ստացվել է էլեկտրական ջեռուցիչից, որի ջերմային ռեժիմը կարգավորվել է էլեկտրական հոսանքափոխարկիչնի (PHO 250-20), վոլտմետրի և ամպերմետրերի օգնությամբ, իսկ լուծույթի ջերմաստիճանը չափվել է սնդիկային՝ զգայուն ջերմաչափի օգնությամբ: Ածխածնային ելանյութերը այս գործընթացներում օգտագործվել են նախապես օքսիդացված և լաբորատոր գնդային աղացում մինչև 200 մկմ մանրացված վիճակում: Հոլմքի օքսիդացումը կատարվել է կավե չորսուների մեջ և էլեկտրական մոֆեյլային վառարանների օգնությամբ:

Հոլմքի արքայաջրով տարրալուծումներից հետո, լուծույթ անցած ոսկու և պլատինի պարունակությունները որոշվել են ատոմային-աբսորբցման ստանդարտ վերլուծության միջոցով [109], իսկ պինդ՝ սիլիկահողային նստվածքների ֆազային վիճակները որոշվել են ռենտգենային դիֆրակտոմետրի օգնությամբ:

Պիրոմետալուրգիայի եղանակով հետազոտությունների հալքանոթային հալման տեխնոլոգիաների հիմքում ընկած է ոսկու, արծաթի և պլատինային մետաղների հարգորոշիչ գրավիմետրական ստանդարտ վերլուծությունները [110,111]: Այդ նպատակով ելանյութերի 50 գ այրուքի, 50 գ կապարի օքսիդի (գլյուտ), 80 գ տեխնիկական սոդայի, 25 գ բուրայի և 3 գ ակտիվ ածուխի խառնուրդը հալվում է (1100...1200°C ջերմաստիճաններում, 2 ժամվա ընթացքում) կոնաձև շամոտային տիգելի մեջ: Այս հալման համար օգտագործված WiseTherm տեսակի վառարանը և դրա հնոցում ներդրված հալման կոնաձև անոթը ներկայացված են նկ. 2.3-ում:



Նկ. 2.3. Հոլմքի հալ քանոթային հալման վառարանի տեսքը

Հոլմքի հալ ումից հետո գոյացած ազնիվ մետաղների պարունակությամբ մետաղական կապարի հիմքով կուտակիչը կամ վերկբլեյը ենթարկվում է օքսիդիչ հալման ($920...950^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճաններում, մոտ 20 րոպեի ընթացքում), կամ կուտակիչը գեմենտյա անոթի մեջ: Կուտակիչման ավարտին նշված տարողության ներքին գոգավորությունում գոյանում է գնդատեսք և արծաթափայլ ոսկի-արծաթային համաձուլվածք, որին տեխնիկայում կոչում են Դորեի համաձուլվածք:

Ստացված համաձուլվածքից ոսկին սովորաբար առանձնացվում է այն ազոտական թթվի լուծույթներով տարալուծելու միջոցով: Դրա արդյունքում ստացված ոսկին՝ տաք ջրով լվացումից և շիկացումից ($500...600^{\circ}\text{C}$, մոտ 5 րոպե) հետո կշռվում է զգայուն ելեկտրոնային կշեռքի օգնությամբ: Լուծույթ անցած արծաթը վերականգնվում է աղաթթվով, որի արդյունքում արծաթը վերականգնվում է քլորիդի վիճակում և նստվածքի տեսքով:

Նախորդին սկզբունքորեն նման երկրորդ եղանակում կուտակիչը հալման արդյունքում գոյացող կապարի և արծաթի համաձուլվածքն է, որում ազնիվ, մասնավորապես ՊԽՄ գոյացնում են հերթական համաձուլվածքները: Այս հալումներում մետաղական արծաթի վերականգնման համար առավել հաճախ օգտագործվում է արծաթի քլորիդը: Հալ քանոթային հալ ումից ստացված ազնիվ

մետաղակիր վերկբլեյը կուպելացվում է մոտ 1000°C ջերմաստիճաններում, իսկ դրանից հետո գոյացած ազնիվ մետաղների արծաթի հիմքով համաձուլվածքը, տարալուծվում է ազոտական թթվի նոսր լուծույթով: Այս գործողությունում խլուսի գտումից հետո առանձնացված նստվածքի կազմում են հայտնվում Rh, Ir, Ru, մասամբ նաև Pt և առհասարակ մետաղները, իսկ Ag, Au, Pt և Pd ազնիվ մետաղները անցնում են լուծույթ: Վերջինիս կազմից ազնիվ մետաղները վերականգնելու համար օգտագործվում են տարբեր վերականգնիչ նյութեր:

Կուպելացումներից առաջ լուծույթների կազմից ազնիվ մետաղները վերականգնվում են երկաթով և ցինկով ցեմենտացման միջոցով: Այս ընթացքում էլեկտրաբացասական մետաղը դուրս է մղում առավել էլեկտրադրականին իր աղերի լուծույթներից: Ոչ ազնիվ տարրերն այս գործընթացում օքսիդանում են, իսկ ավելի ազնիվ մետաղների իոններն ընդհակառակը՝ վերականգնվում [112]:

Ածխածնային ելանյութերի հալքանոթային հալման հետազոտություններում օգտագործվել է մինչև 1300°C ջերմությունն ապահովող հնոցային և մոնֆելային վառարաններ, իսկ դրանց արգասիքները կշռվել են զգայուն էլեկտրոնային կշեռքով:

2.5. Մետաղակիր ածխածնային ելանյութերի վերականգնման ալյումինաթերմային գործընթացի հետազոտման մեթոդը, արգասիքները և հատկությունները

Ալյումինաթերմային վերականգնման ԲԻՍ գործընթացը կատարվել է ՀԱՊՀ-ի «Ընդհանուր քիմիա և քիմիական պրոցեսներ» լաբորատորիայում պատրաստված հրակայուն սարքի մեջ, որը բաղկացած է այրման համար ավազով լիցքավորված հարթակից և այրումից գոյացող գազերի հեռացման օդանցքով կախարիչից: Այս ռեակտորի տեսքը ներկայացված է նկ 2.4-ում՝ ընդ որում տարբեր վիճակներում:

Այրումից առաջ սարքի ներքևի մասում փորված ավազի կոնածև փոսիկում տեղադրվում է նախապես կշռված զանգվածային բաժիններով և լավ խառնված բովախառնուրդի փորձանմուշը:

Վերջինիս միջնամասում տեղակայվում է հարուցիչը Fe_3O_4 և C նյութերից կազմված էֆտեկտիկական խառնուրդ այրման հարուցիչը: Ապա դրվում է կախարիչը և իրականացվում այրումը՝ կոնի վերևից իջեցված էլեկտրական հոսանքին միացված վոլֆրամի շիկացած լարի օգնությամբ:



ա)



բ)



գ)

Նկ. 2.4. ԲԻՍ գործընթացի իրականացման լաբորատոր սարքը՝
ա) արտաքին տեսքը բ) այրման ընթացքը, գ) այրումից հետո

Ռեակցիոն խառնուրդի մակերեսային շերտում հարուցվում է քիմիական ռեակցիան և ձևավորվում է այրման ալիքը, որն արագորեն տարածվում է ամբողջ նմուշի երկարությամբ՝ հաստատուն արագությամբ: Այրումը տևում է 10...15 րոպե: Առավելագույն ջերմաստիճանը $T_{\text{այր}} = 2000...2500^\circ\text{C}$:

Այրման իրական ջերմաստիճանը որոշելու համար աշխատանքային գոտում կարճաժամկետ չափումների համար տեղադրվել է 200 մկմ տրամագիծ ունեցողը W-Re թերմոզույգ, որը լարով նախապես հագցվում է նմուշի կողքին:

Այրման արդյունքում ստացված արգասիքները տարբեր չափերի գնդաձև համաձուլվածքներ են, որոնք կենտրոնացված են գոյացած ալյումինասիլիկատային խարամի կենտրոնում: Ստացված արգասիքների մանրացնելուց հետո առանձնացված մետաղների ֆազային կազմը որոշվել է ռենտգենֆազային վերլուծության DRON-3M ռենտգենազրի օգնությամբ: Կատարվել է նաև գնդիկների մետաղագրական և քիմիական վերլուծություն՝ ըստ գրականության նկարագրված եղանակների [83-89]:

Ալյումինաթերմային մշակումներում ազնիվ մետաղների կորզման համար պատրաստված բովախառնուրդը բացի ածխածնային

եւ անյուրթից, որի քիմիական վերլուծության արդյունքները ներկայացված են աղ. 2.1-ում, պարունակել է՝

1. ալյումինումի փոշի՝ 99%- Al, 2. ածխածին, 3. հարուցիչ՝ Ti-ի և C-ի խառնուրդ,
4. քիմիապես մաքուր NaNO_3 և CaO :

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

1. Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով, որպես հումք ընտրվել է Հայաստանի Հանրապետության Նոր-Արևիկի մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխները:

Ուսումնասիրվել է եւ անյութերի 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 պլատինային մետաղները միասին՝ 0,1-1,0 գ/տ:

Ցույց է տրված, որ Նոր-Արևիկի հանքանյութերում ազնիվ մետաղները գտնվում են ալյումինասիլիկատային ֆազում՝ ածխածնային տարրերի հետ սերտաճած երկաթի՝ պիրիտ, խալկոպիրիտ, մագնետիտ և այլ քիմիապես կայուն միներալների, կազմում:

2. 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:
3. 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, ռենտգենաֆազային վերլուծման եղանակները և դրանց նորագույն տեխնիկական միջոցները:

3. ԱՁՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԹԵՐՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ

3.1. Ազնիվ մետաղների պարունակող ածխածնային հանքանյութերի մշակման գործընթացի առանձնահատկությունները

Ազնիվ մետաղների պարունակող ածխածնային հանքանյութերը, մինչ արտադրությունում տարածված քիմիական տարրալուծման եղանակներով մշակումները, ենթարկվում են նախնական մշակման: Այս լրացուցիչ աշխատանքի նպատակն ածխածնային հանքանյութերում պարունակվող քիմիապես կայուն, ինչպես նաև երկաթի և այլ մետաղների սուլֆիդային և օքսիդային միացություններում առկա ազնիվ մետաղների բացահայտումն է:

Ազնիվ մետաղների կորզման տեխնոլոգիան բարդ է հատկապես ածխածնային հանքանյութերի մշակման պարագայում քանի որ.

- դրանցում ազնիվ մետաղները հանդես են գալիս ածխածնային տարրերի և միացությունների հետ,

- ածխածինը և նրա միացությունները (հումինաթթու և այլն) հումքի թթվային տարրալուծման ընթացքում վերականգնում են լուծույթների ազնիվ մետաղները, որի արդյունքում դրանք հայտնվում են սիլիկահողային նստվածքների կազմում [113,114]:

Վերը բերված փաստարկներից հետևում է, որ ածխածնային հանքանյութերի հիդրոմետալուրգիական եղանակով մշակման ընթացքում ազնիվ մետաղների կորուստները կամ դրանց կորզմանը խանգարող գործոնները պայմանավորված են այդ հումքի հանքաքանական կազմով: Նշված անցանկալի երևույթն ըստ էության բավականաչափ ընդհանրական խնդիր է, քանի որ հումքի թթվային տարրալուծման ընթացքում բացի ածխածնային տարրերից, որպես հումքում առկա ազնիվ մետաղների կորուստաբեր վերականգնիչներ են հանդիսանում ինչպես մետաղների սուլֆիդային, այնպես էլ այդ հանքանյութերում առկա որոշ կավային (իլլիտ, կաոլին, մոնտմորիլլենիտ և այլն) միացությունները:

Եթե ածխածնային հանքանյութում գտնվող ազնիվ մետաղները կլանող քիմիական բաղադրիչը նշանակենք P , միներալի օգտակար բաղադրիչը (այսինքն ոսկին, արծաթը, կամ պլատինը) V , իսկ հանքանյութի դատարկ բաղադրիչները G տառերով, ապա նշված մետաղների ընդհանուր կլանումը կարելի է ներկայացնել՝

$P(V_1)+G(V_Z) \rightarrow$ տարրալուծում $\rightarrow P(V_1+V_X) + G(V_{Z-(X+Y)}) + (V_Y)$
բանաձևով:

Բերված արտահայտությունում V_1 -ն ազնիվ մետաղների քանակն է հանքանյութի վնասարար կլանիչ նյութերի հետ, V_Z -ը՝ ազնիվ մետաղների քանակը դատարկ ապառների հետ, V_X -ը՝ տարրալուծման լուծույթից վնասաբեր կլանված ազնիվ մետաղների քանակը, V_Y -ը՝ տարրալուծիչի հետ ազնիվ մետաղների լուծույթում մնացած միացությունները, $V_{Z-(X+Y)}$ -ը՝ ազնիվ մետաղների քանակը, որոնք տարրալուծումներից հետո մնում են դատարկ ապառներում:

Այսպիսով, հանքանյութի կլանիչ քիմիական նյութերին միացած ազնիվ մետաղների քանակը տարրալուծումներից հետո հավասար է քիմիական նյութերի կողմից կլանված V_1 և

տարրալ ու ծիչի լ ու ծ ու յ թի կողմից վնասաբեր կլ անված V_x ազնիվ մետաղների գումարին: Հոլմքի տարրալ ու ծ ու մ ն եր ից հետո դատարկ ապառներում մնացած ազնիվ մետաղների $V_{Z-(X+Y)}$ քանակը հավասար է ազնիվ մետաղների ել ակետային V_z քանակից հանած տարրալ ու ծ իչի կողմից լ ու ծ ված $(V_x + V_y)$ քանակ ու թյ ամբ ազնիվ մետաղները:

Վերը շարադրած անցանկալի երևույթի շրջանցումը փաստորեն հնարավոր է հիդրոմետալ ու ր գիական եղանակներով մշակվող հոլմքի ածխածնային բաղադրիչը առաջնահերթ հեռացնել ու (չեզոքացման) դեպքում, իսկ այդ նպատակի համար նախընտրած գործընթացը պետք է կարողանա քայքայել նաև հոլմքի ազնիվ մետաղների կորզմանը խոչընդոտող քիմիապես բարդ միներալներին:

Վերջին խնդիրները լ ու ծ ել ու նպատակով արտադրությամբ ու ն ու մ կիրառվում են՝ ածխածնային հանքանյութերի ֆլոտացման, մեկուսացման, այրմամբ և քիմիական եղանակներով օքսիդացման, թթվային տարրալ ու ծ ման և այլ տեխնիկական մոտեցումներ: Բերված շարքում առավել արդյունավետ են այդ հոլմքի օքսիդիչ այրման և քլորացման եղանակները, որոնց արդյունքում հնարավոր է լինում կորզել հոլմքում առկա ոսկու և արծաթի մոտ 95%-ը:

3.2. Ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացում փոխազդեցությամբ ու ն ներքին թերմոդինամիկական վերլուծությամբ եղանակը

Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերում բացի ազնիվ մետաղներից պարունակվում են նաև սիլիցիումի, երկաթի, պղնձի ալյումինումի, կալցիումի, մագնեզիումի, նատրիումի օքսիդներ, որոնք բարձրաջերմաստիճանային թրծման գործընթացում ն ու յ նպես կարող են մասնակցել ինչպես վերականգնման, այնպես էլ սիլիկատագոյացման (խարամագոյացման) գործընթացներին: Հետևաբար, վերականգնման և սիլիկատագոյացման գործընթացներում կարող են տեղի ունենալ բազմաթիվ զուգահեռ և հաջորդական ռեակցիաներ: Այս կամ այն ռեակցիայի ինքնաբերաբար ընթանալ ու առավել հավանականությամբ ու ն ը գնահատել ու համար կատարվել է նախնական թերմոդինամիկական վերլուծությամբ:

Ռեակցիաների ինքնաբեր ընթանալու չափանիշը՝ հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում, Գիբսի էներգիայի փոփոխության (ΔG_T^0) նվազումն է:

Ռեակցիաների ΔG_T^0 -ի արժեքների փոփոխության համեմատումը հնարավորություն է տալիս որոշել մի ռեակցիայի ընթանալու առավելությունը մյուսի նկատմամբ:

ΔG_T^0 -ի արժեքը կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևով՝

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0$$

Լրիվ տեսքով այս հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ ձևով՝

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT - T\Delta S_{298}^0 - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT$$

կամ՝

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - aT \lg T + bT^2 + cT^{-1} + dT:$$

Այստեղ ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 , C_p , ինչպես նաև a , b , c , d արժեքները յուրաքանչյուր կոնկրետ նյութի համար տրվում է թերմոդինամիկական տեղեկատվություն: Սակայն, հաշվարկների ծանրաբեռնումը բարդ բանաձևերով, ինչպես նշում է Կուբաշևսկին [115], դեռևս չի խոսում հաշվարկի ճշգրտությունը մասին, քանի որ ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 , C_p -ի փորձնական որոշման սխալն ընկած է այդ բանաձևերի ճշտության սահմաններում:

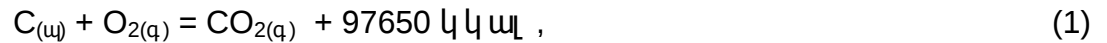
Հաշվարկները կատարվել են $\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0$ մոտավոր բանաձևով, 500...3000K ջերմաստիճանային տիրույթում՝ հաշվի առնելով Φ ազային փոխարկումները էնթալպիայի և էնտրոպիայի արժեքներում: Համեմատություններն ավելի ակնառու դարձնելու համար հաշվարկները կատարված են 1 մոլ -ատոմ թթվածնի համար:

Հաշվարկներում օգտագործված թերմոդինամիկական հաստատունները հրատարակված են [116,117] տեղեկատվություն:

3.3. Ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացի թերմոդինամիկական հիմնավորումը

Հետազոտության առաջին մասը վերաբերում է պինդ ածխածին բաղադրիչի այրման և գազայնացման միջոցով հումքից հեռացմանը

ու քիմիապես կայուն միներալների օքսիդացման և քայքայման ռեակցիաներին: Այդ նպատակով ածխածնային հանքանյութերը օդի և ջրային գոլորշիների առկայությամբ ենթարկվել են ջերմային մշակման, որը կատարվել է 598...1298 K ջերմաստիճաններում: Ջերմամշակման ընթացքում ընթացող ռեակցիաների Գիբսի էներգիայի փոփոխության արժեքների կախումը ջերմաստիճանից ներկայացված են ստորև՝



$$\Delta G^{\circ}_{T(1)} = -393,5 - 0,003 \cdot T \text{ կՋ/մոլ},$$

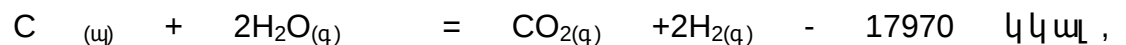


$$\Delta G^{\circ}_{T(2)} = -393,5 - 0,003 \cdot T \text{ կՋ/մոլ},$$



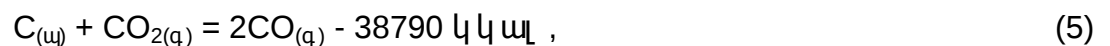
(3)

$$\Delta G^{\circ}_{T(3)} = 131,3 - 0,134 \cdot T \text{ կՋ/մոլ},$$



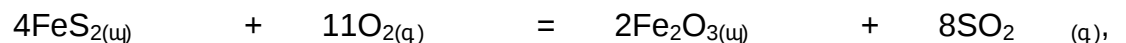
(4)

$$\Delta G^{\circ}_{T(4)} = 90,1 - 0,092 \cdot T \text{ կՋ/մոլ},$$

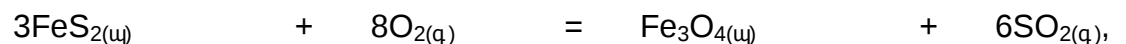


$$\Delta G^{\circ}_{T(5)} = 172,5 - 0,17 \cdot T \text{ կՋ/մոլ}:$$

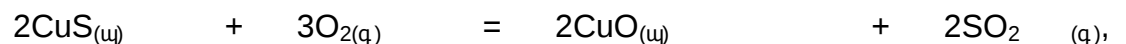
Չաշվարկվել են նաև ածխածնային հանքանյութում պարունակվող պիրիտ, կովելին և խալկոզին սուլֆիդային միներալների օքսիդացման ռեակցիաների Գիբսի էներգիայի փոփոխության արժեքների կախումը ջերմաստիճանից՝



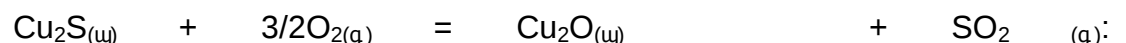
(6)



(7)



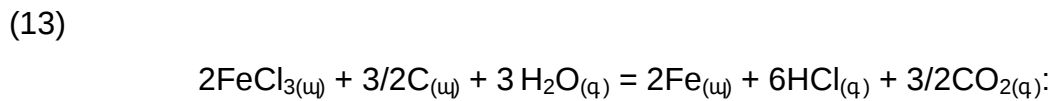
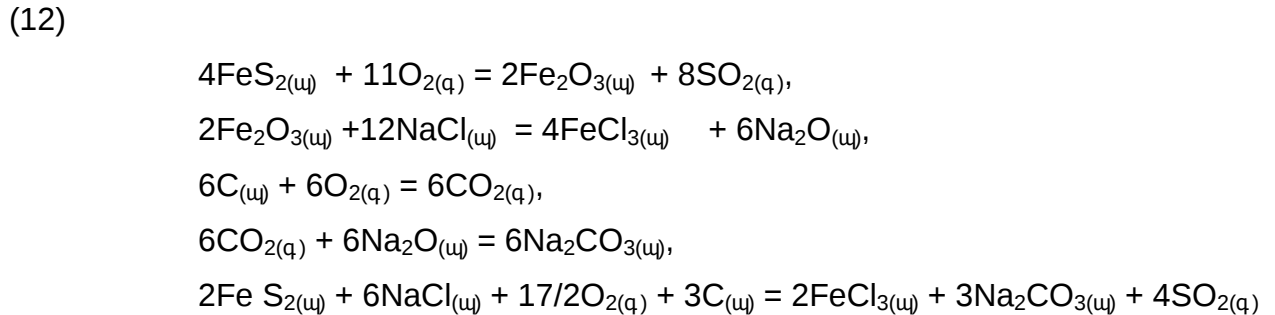
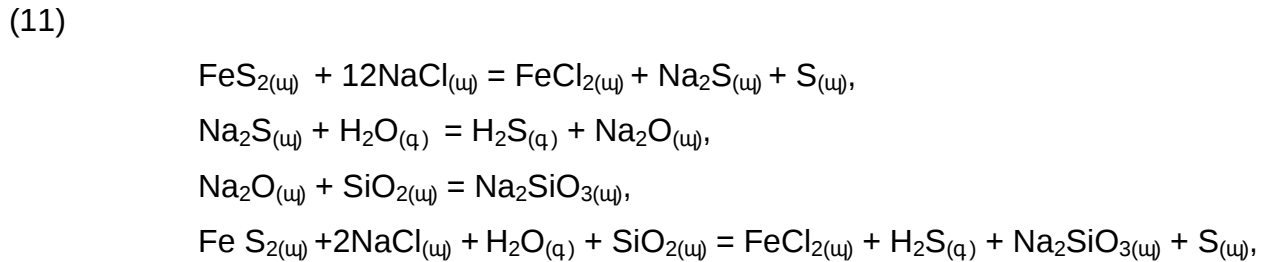
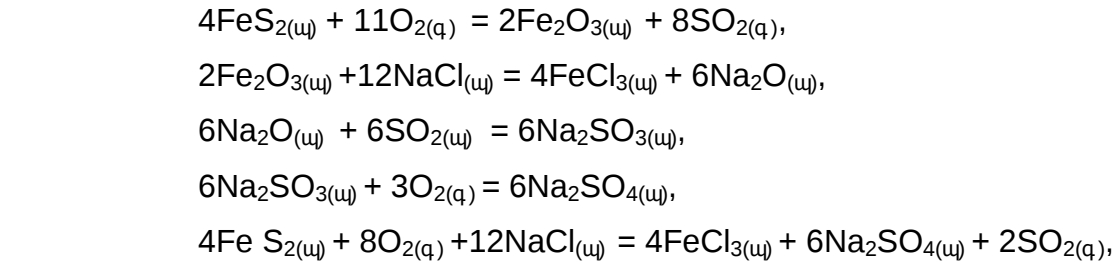
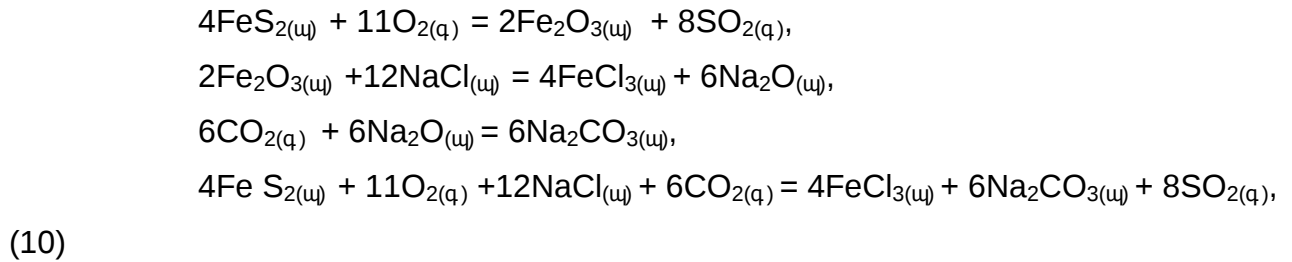
(8)



(9)

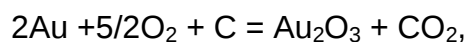
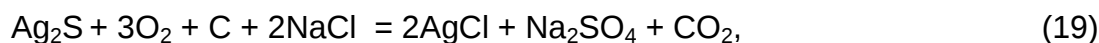
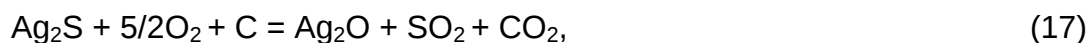
Պիրիտի մասնակցությամբ ռեակցիաները նախորդներից բարդ են, քանի որ հումքի ջերմային մշակմանը՝ օդից և ջրային

գույնը չի փոխվում, մասնակցում է նաև կերակրի աղը: Նշված պայմաններում ընթացող հնարավոր ռեակցիաները և դրանց գումարային տեսքը ներկայացված են ստորև՝

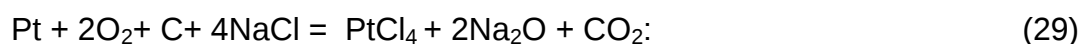
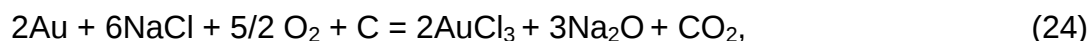


Հաշվարկներում ընդգրկվել են նաև ածխածնային հանքանյութերում առկա Au, Ag և Pt ազնիվ մետաղներին առնչվող փոխազդեցությունները, քանի որ դրանք կարող են կատարվել 1...14 ռեակցիաներից հետո միայն: Այդ հնարավոր ռեակցիաները ներկայացված են ստորև՝





(22)



Բերված ռեակցիաների վերաբերյալ հաշվարկների արդյունքները ներկայացված են աղ. 3.1 - ում:

Աղյուսակ 3.1

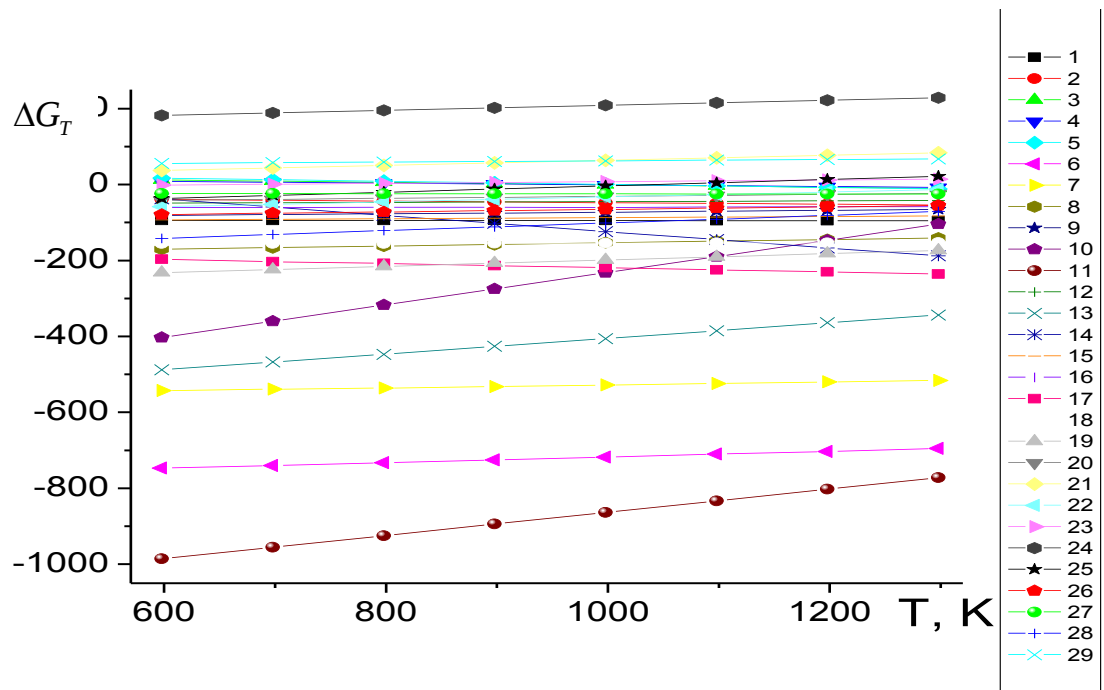
Ածխածնային ելանյութերի ջերմային մշակման՝ 1...29 ռեակցիաների էնթալպիայի և էնտրոպիայի արժեքներն ու Գիբսի էներգիայի հավասարումները

Ռեակցիայի համար	$\Delta G_T = A - BT$ կՋ/մոլ (593...1293 K)	
1	-393,5	0,003
2	-110,5	0,089
3	131,3	0,134
4	90,1	0,092
5	172,5	0,17
6	-3310	- 0,31
7	-2367	- 0,16
8	-812	- 0,17
9	-390,7	-0,087
10	-2748	-1,78
Աղյուսակ 3.1-ի շարունակություն		
11	-4888	-1,28
12	227,7	0
13	-2554,6	-0,86

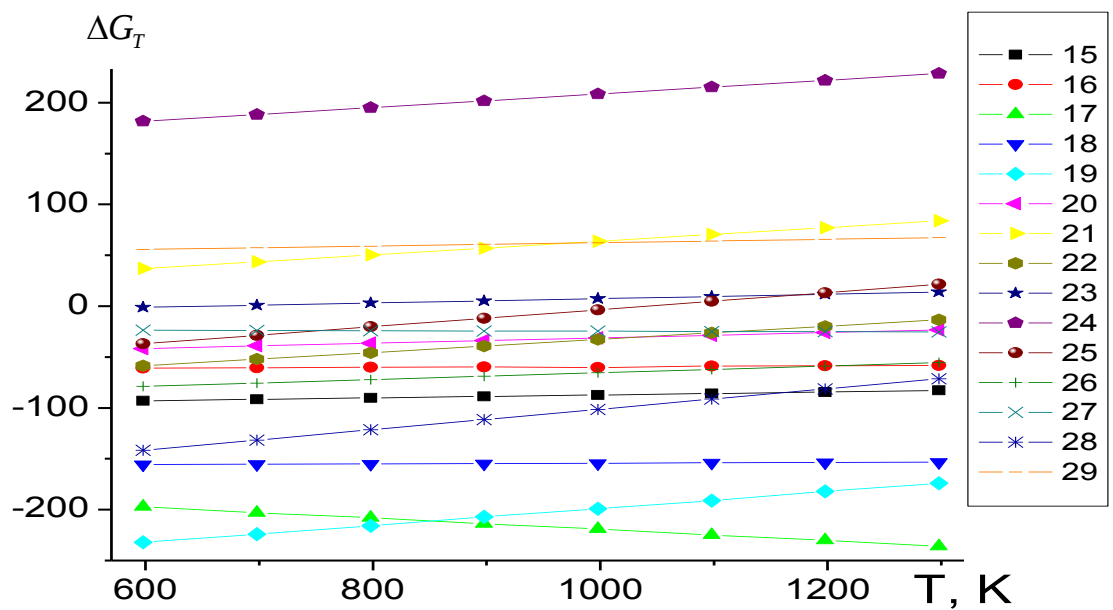
14	380,2 -	-0,9
15	- 424	- 0,06
16	-264,2	- 0,016
17	-689	0,23
18	-658	0,013
19	1182,2	- 0,35
20	-240,3	- 0,11
21	-13	-0,28
22	-406,5	-0,27
23	-59,1	-0,09
24	592,1	-0,28
25	-364,3	- 0,35
26	-413,7	-0,14
27	-93	0,01
28	-843,3	-0,42
29	191,6	-0,07

Ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման ժամանակ 1...29 ռեակցիաների Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը կախված ջերմաստիճանից բերված են նկ. 3. 1- ում, իսկ ազնիվ մետաղների օքսիդացման և քլորացման ռեակցիաների Գիբսի էներգիաների փոփոխությունները ներկայացվել են նաև առանձին գրաֆիկներով (նկ. 3.2):

Ինչպես երևում է 1 և 2 ռեակցիաներց, ջերմաստիճանը բարձրացնելիս ածխածնի այրման (CO -ի և CO_2 -ի առաջացման) հավանականությունը նվազում է: Հակառակ երևույթն է նկատվում բնույթով ջերմակլանիչ 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:



Նկ . 3.1. Ածխածնայ ին հանքանյ ու թերի ջերմայ ին մշակման 1...29 ռեակցիաների Գիբսի էներգիայ ի (ΔG_T) կախվածությունը ջերմաստիճանից (T)



Նկ .3.2. Ջերմայ ին մշակման ընթացքում ածխածնայ ին հանքանյ ու թերում պարունակվող Au, Ag և Pt մետաղների հնարավոր փոխակերպումների՝ 15...29 ռեակցիաների, Գիբսի էներգիայ ի (ΔG_T) կախվածությունը ջերմաստիճանից (T)

Նկար 3.1 - ից երևում է, որ թերմոդինամիկորեն առավել հավանական են պիրիտի օքսիդացման՝ առանց NaCl-ի ռեակցիաները (6, 7) և $\text{NaCl} + \text{C}$ - ի առկայությամբ՝ 11 և 13 ռեակցիաները, հավանական է նաև պիրիտ + $\text{NaCl} + \text{CO}_2$ ռեակցիաների թերմոդինամիկական հավանականությունը: Կարելի է ենթադրել, որ NaCl-ի առկայությամբ մեծացնում է բոլոր օքսիդացման ռեակցիաների թերմոդինամիկական հավանականությունները:

Ինչ վերաբերում է ազնիվ մետաղների սուլֆիդների օքսիդացման ռեակցիաների թերմոդինամիկական հավանականությանը, ապա նկ. 3.2 - ից երևում է որ ավելի հավանական են արծաթի սուլֆիդի օքսիդացման ռեակցիաները՝ ինչպես NaCl – ի (ռեակցիաներ 15, 17), այնպես էլ $\text{NaCl} + \text{C}$ խառնուրդի առկայությամբ ընթացողները (ռեակցիաներ 18, 19, 28), որոնք ունեն Գիբսի էներգիայի համեմատաբար բացասական արժեքներ:

Ընդհանուր առմամբ, հավասար պայմաններում թերմոդինամիկորեն պակաս հավանական են ոսկու և մասամբ պլատինի օքսիդացման ռեակցիաները (21 - 24 և 29): Մնացած ռեակցիաների Գիբսի էներգիաների արժեքները նույնպես բավական բացասական են և հնարավոր է, որ կընթանան նաև այդ ռեակցիաները:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

- Ցույց է տրված, որ մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի հիդրոմետալուրգիական եղանակով մշակման ընթացքում ազնիվ մետաղների կորուստները կամ դրանց կորզմանը խանգարող գործոնները պայմանավորված են հումքի հանքաքանակի կազմով, հատկապես մետաղների սուլֆիդային միներալների և ածխածնային ու կավային միացությունների առկայությամբ:
- 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 առաջացում:

4. ԱՃԻԱՃՆԱՅԻՆ ԵՆ ԱՆՅՈՒԹԵՐԻՑ ԱՉՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԻ ՅԵՏԱՉՈՏՈՒՄԸ

4.1. Ազնիվ մետաղ պարունակող ածխածնային հանքանյութերի նախապարաստման գործընթացների հետազոտումը

Ածխածնային հանքանյութերը դասվում են ամենադժվար հարստացող հանքանյութերի շարքին, քանի որ դրանցում ազնիվ մետաղները գտնվում են ածխածնային տարրերի և միացությունների, ինչպես նաև երկաթի՝ պիրիտի, խալկոպիրիտի, մագնետիտի, ծծմբային և օքսիդային քիմիապես կայուն միներալների հետ սերտաճած վիճակում: Բացի դրանից բնույթով մետաղների վերականգնիչ ածխածինը քիմիական թթուներով տարրալուծման գործընթացներում նպաստում է հոլմքում պարունակվող ազնիվ մետաղների կորուստներին: արդյունքում ազնիվ մետաղները հայտնվում են սիլիկատների հիմքով նստվածքի կազմում: Վերջինս ըստ էության բավականաչափ ընդհանրական խնդիր է, քանի որ թթվային տարրալուծման ընթացքում բացի ածխածնից, որպես ազնիվ մետաղների վերականգնիչներ, կարող են հանդես գալ նաև մետաղների սուլֆիդային, երկաթային և որոշ կալային միներալները:

Այդ խնդիրները լուծելու նպատակով, նախքան հանքանյութերում պարունակվող ազնիվ մետաղների պիրոմետալուրգիական եղանակով կորզումը, նշված հոլմքը ենթարկվել է տարբեր եղանակներով նախնական մշակման: Այս նկատառումով հետազոտությունում նպատակահարմար է գտնվել օգտագործել արտադրությունում տարածված գրավիտացման եղանակին նման՝ ածխածնային հանքանյութի ջրով լվացման եղանակը: Վերջինիս նպատակը ծանր մետաղների խտանյութերի ստացումն է, որին զուգահեռ այս հետազոտության ընթացքում փորձ է արվել ստանալ տեխնիկական նշանակության արժեքավոր

ածուխներ: Փաստորեն մետաղական խտանյուղի ստացման հիմնական նպատակի իրականացումը՝ ըստ այս մոտեցման կապում է հանքանյութի ածխածնային բաղադրամասի ջերմային պրոտեկտիվ լիարժեք օգտագործման հետ, որի հնարավորությունները հետազոտելու համար աշխատանքում օգտագործվել են հանքանյութերի գազայնացման և այդ հումքից ստացված խտանյութերի օքսիդիչ այրման գործընթացները:

Վերը նշված գործողություններից հետո ստացված մետաղներով հարուստ արգասիքների այրուքները վերջում տարրալուծվել են աղաթթվի լուծույթով, որի նպատակը ազնիվ մետաղների վերականգնիչ հանդիսացող երկաթի՝ որպես առանձին օգտաբեր արգասիք, առանձնացումն է:

4.1.1. Ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային հանքանյութերի ջրով լվացման գործընթացի հետազոտումը

Ջրով լվացման գործընթացի հետազոտությունում որպես հումք օգտագործվել են 50...500 մկմ հատիկային չափերով ածխածնային հանքանյութ: Վերջիններիս 100 գ քանակի փորձամուշների վրա՝ 1,0 լիտր տարողությամբ ապակյա անոթի մեջ, ավելացվել է մաքուր ջուր: Փորձերի արդյունքում պարզվել է, որ լավագույն արդյունքներ են ստացվում, երբ հանքանյութի և ջրի քանակային հարաբերությունը համապատասխանում է 1:5: Այդ պայմաններում հումքի թեթև՝ ածխածնային բաղադրամասը բարձրանում է ջրի մակերևույթ, իսկ ծանր մետաղները նստում են անոթի հատակին: Նախնական փորձարկումներից ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ մինչև 100 մկմ հատկայնությամբ հանքանյութի ջրով լվացման արդյունքում ստացվող ածխածնային բաղադրամասը կազմում է հումքի զանգվածի մինչև 80%-ը: Վերջին տվյալից հետևում է նաև, որ ջրի մակերևույթ բարձրացված ածխածնային զանգվածում չեն բացառվում ազնիվ՝ մասնավորապես ոսկու պարունակությամբ մասնիկները: Նշված անցանկալի երևույթներից խուսափելու նպատակով հետագա փորձերում ածխածնային հանքանյութի ջրով խառնումը ակտիվացվել է՝ այդ նպատակի համար տարրալուծումը կատարվել է էլեկտրական շարժի օգնությամբ (5-10

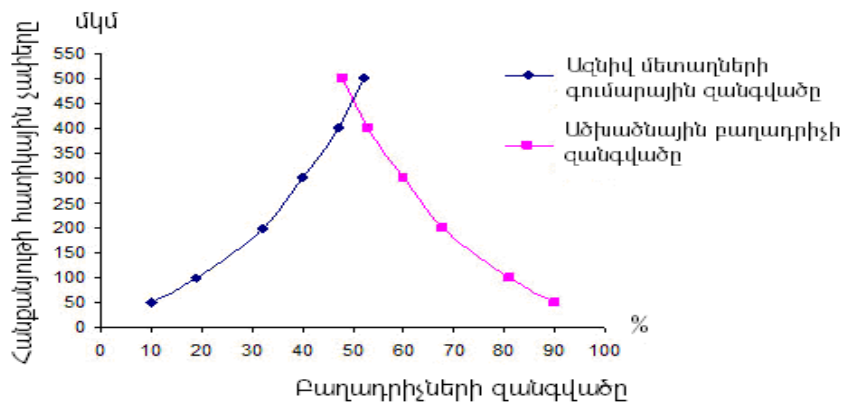
րոպե, 50...100 պտ./րոպ. արագությունը): Այդ գործնական հետազոտություններից ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ նշված միջոցի գործածումից հետո հանքանյութում պարունակվող մասնիկների տարանջատումը կարգավորվում է, քանի որ դրանց դասկարգումը ընթանում է ըստ տեսակարար կշռի: Փորձերի ավարտին անոթի հատակում կուտակված ծանր մետաղները առանձնացվել են հեղուկը այլ տարողության մեջ տեղափոխելու արդյունքում: Փորձերի տվյալները բերված են աղ. 4.1-ում:

Աղյուսակ 4.1

Ածխածնային հանքանյութերի ջրով լվացման փորձերի տվյալները

Փ.Փ. ը/հ	Ածխածնային հանքանյութ		Մետաղական արգասիք, գ	Ածխածնային զանգված, գ
	քանակը, գ	չափերը, մկմ		
1	100	- 500	52	48
2		-400	47	53
3		-300	40	60
4		-200	32	68
5		-100	19	81
6		-50	10	90

Աղ. 4.1-ի տվյալները համապատասխանում են հանքանյութ: ջուր = 1:5 հարաբերությանը, իսկ հումքի ջրով խառնումը կրկնվել է երկու անգամ, որին հաջորդել է խյուսի 10-ական րոպե տևողությամբ «հանգիստ»-ը: Դժվար չէ նկատել, որ ածխածնային հանքանյութերի ջրային լվացման գործողությունների արդյունքները կախված են տարբեր ցուցանիշներից, որոնցում առավել կարևորը հանքանյութի հատիկաչափական կազմն է: Վերջինիս առնչությամբ փորձերի արդյունքների գրաֆիկական տեսքը ներկայացված է նկ. 4.1-ում:



Նկ.4.1. Ջրային և վաղման արգասիքների զանգվածային փոփոխությունները կախված հանքանյութի հատիկային չափերից

Այս փորձերի արդյունքներն ավելի խորը վերլուծելու նպատակով որոշվել են ածխածնային հանքանյութերում և վերջինիս վաղու մներից ստացված մետաղական զանգվածներում, ինչպես նաև գրավիտացիոն եղանակով ստացված արտադրական խտանյութերում Au-ի և Ag-ի պարունակությունները: Դրահամարայ ստեղծագործվել է ոսկու և արծաթի վերլուծման հարգորոշի՝ գրավիմետրական եղանակը, որից առաջ՝ փորձանմուշներից ած. թիւը հեռացվել է օքսիդիչ այրման ($600...700^{\circ}\text{C}$) միջոցով: Վերջինիս արդյունքում ստացված խտանյութերի, ինչպես նաև ածխածնային հանքանյութի և արտադրական խտանյութի միջև 200 մկմ չափերով այրուքները միահալվել են ($1000...1150^{\circ}\text{C}$, 1,5 ժամ) հալանյութերի (տեխնիկական սոդա, բորակսի), ազնիվ մետաղների կուտակիչի (կապարի օքսիդ) և վերականգնիչ ածխածնի հետ: Հալամից հետո ստացված վերկբլեյից մետաղական կապարը հեռացվել է մոֆելային վառարանի օգնությամբ՝ օքսիդիչ հալման կամ կուպելացման միջոցով (ցեմենտային տիգելի մեջ՝ $920...960^{\circ}\text{C}$, 30...40 րոպե տևողությամբ), որից հետո ստացված Դորեի համաձուլվածքից ոսկին և արծաթը առանձնացվել են ազոտական թթվի նոսր լուծույթով տարրալուծման միջոցով: Այդ վերլուծության արդյունքները ներկայացված են աղ. 4.2-ում:

Աղյուսակ 4.2
Ածխածնային հանքանյութում և դրանց խտանյութերում առկա ոսկու և արծաթի պարունակությունները

Փ.Փ.	Ելանյութերի	Կշիռը	Դորեի համա	Au	Ag
------	-------------	-------	------------	----	----

ը/հ	անվանումը	գ	ձ ու լ լ վ ա ծ ք , մգ	%	գ/տ	%	գ/տ
1	Հանքանյութ	100	0,215	16,28	0,35	83,72	1,8
2	Սինթետիկանյութ – 1/2		0,422	17,06	0,72	82,94	3,5
3	Սինթետիկանյութ 1/2,5		0,540	16,67	0,90	83,33	4,5
4	Սինթետիկանյութ – 1/5	50	0,513	16,18	1,67	83,82	8,8
5	Սինթետիկանյութ – 1/10		1,035	16,91	3,50	83,09	17,3
6	Արտադ. խտանյութ 1/30		2,845	16,70	9,50	83,30	47,5

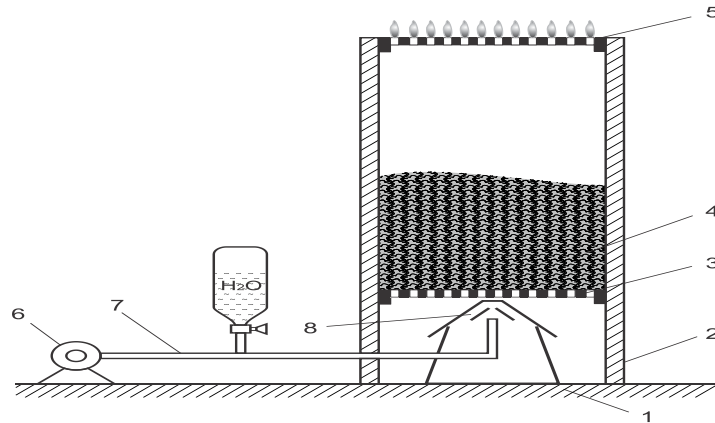
Աղ. 4.2-ում բերված ելանյութերի անվանումներին հաջորդող թվերը ցույց են տալիս թե այդ խտանյութը հանքանյութի զանգվածի որ մասն է կազմում:

4.1.2. Ազնիվ մետաղների պարունակող ածխածնային հանքանյութերի գազայնացման գործընթացի հետազոտումը

Ծանր մետաղների առանձնացման նպատակով հետազոտվել է հանքանյութ ելանյութում մոտ 40 զանգ.% կազմող պինդ ածուխների գազայնացման գործընթացը: Այստեղ՝ շնորհիվ ածխածնի և օքսիդիչների թթվածնի ու ջրային գոլորշիների միջև ընթացող փոխազդեցությունների հոլմքի այրվող բաղադրամասը վերափոխվում է վառելանյութի (գազերի), իսկ որպես գազաեներատոր օգտագործված սարքի այրման տարածքում գոյանում են շուրջ 1100°C և ավելի բարձր ջերմաստիճաններ: Երկրորդ խնդիրը կապվում է ստացված ջերմային էներգիան հոլմքում առկա մետաղների հալման համար օգտագործելու հետ:

Հայտնի է նաև, որ տաքացված ածուխների և ջրային գոլորշիների միջև ընթացող ռեակցիաները բնույթով ջերմակլանիչ են, այդ պատճառով փորձում ջրային գոլորշիների և օդի մղումը փոխազդեցության տարածք պարբերաբար հաջորդում են միմյանց: Գազայնացման համար օգտագործված ածուխը բեռնվել է

հնոցատեսք սարքի՝ գազագեներատորի մեջ, իսկ օդի և ջրի մղումը իրականացվել է սարքի ներքևի մասից: Գազագեներատորի տեսքը բերված է նկ. 4.2-ում:



Նկ. 4.2.
Գազագեներատոր

ի կտրվածքը. 1-հարթակ, 2-գլանաձև մետաղական իրան, 3-մետաղյա ճեղքավոր ներդիր, 4-աժիի կտորտանք, 5-մետաղական ծակոտկեն փական, 6-օդամուղ պոմպ, 7-օդի և ջրի մղման խողովակ, 8-պաշտպանիչ գոնդ:

Փորձերում օգտագործվել են 15-30 մմ չափերի ածուխներ, որոնց ընդհանուր քանակը կազմել է մոտ 8 կգ: Փորձնական սարքը բեռնավորելուց հետո ածուխների նախնական տաքացումը իրականացվել է գազ-թթվածնային այրիչի օգնությամբ: Հետևող բոցավառումից որոշ ժամանակ անց ածուխների այրումը կանոնավորվում է՝ գազագեներատորի վերին ծակոտիներում նկատվող բոցը ստանում է համաչափ և երկնագույն տեսք: Շուրջ երկու ժամ շարունակվող այրումից հետո գոյանում է մոտ 4,8 կգ խարամ, որոնք կուտակվում են սարքի ներքևի մասում:

Մետալուրգիական ուսումնասիրությամբ ուսնելուց հետո առաջնայինը գազայնացման խարամներում թանկարժեք մետաղների առկայության բացահայտումն է: Այս նպատակը հետապնդող փորձերում օգտագործվել են աղային քլորացման և հալքանոթային հալման միջոցները: Նշված եղանակներով կատարված փորձերի վերաբերյալ տվյալները ներկայացված են աղ. 4.3-ում:

Աղյուսակ 4.3

Ածուխների գազայնացման մոխրի մետալուրգիական նպատակով մշակման հիմնական տվյալները

Մոխիր, գ	Մոխրի մշակման եղանակները	Հալման ռեժիմը, °C / րոպե	Սիլիկահողային մնացուկներ, գ
10	Հալում NaCl-ի և այլ աղերի հետ	(500-600) / 50	7,5
15		(500-600) / 60	12,2
10	Հալում տեխնիկական սոդայով	(850-900) / 50	9,4
20		(850-900) / 60	19
40		(850-950) / 45	43

Առաջին փորձի սկզբում խարամը ենթարկվել է օքսիդիչ այրման (600 °C, 3 ժ), դրանից հետո ստացված մինչև 200 մկմ չափերի արգասիքը տարրալուծվել է աղաթթվի ջրային (1:1) և տաք լուծույթով: Այս գործողությունները նպատակ են հետապնդել հեռացնել խարամում պարունակվող թերայրուկ ածուխները, երկաթը և այլն ոչ արժեքավոր մետաղական տարրերը: Նշված վերամշակումների վերջում ստացված 8գ արգասիքը (500°C, 1 ժ լրացուցիչ շիկացումից հետո) և երկրորդ փորձի ելանյութը հալվել են 40-ական գրամ NaCl, KCl և ZnCl աղերի խառնուրդի (համապատասխանաբար 25,15 և 10 գ) հետ: Դրանց արդյունքում գոյացած հալույթները այնուհետև տարրալուծվել են աղաթթվի 100 մլ ծավալով տաք ջրային լուծույթում (պարունակում է 20 մլ. խիտ աղաթթու): Այս փորձերում մետաղների առկայությունը հետազոտելու համար օգտագործվել է առաջին փորձի խնուսի զտումից գոյացած սիլիկահողային նստվածքը և աղաթթվային լուծույթը: Նախ անհրաժեշտ է ընդգծել, որ նշված փորձի 7,65 գ մնացուկում զգալի մաս են կազմում մագնիսի շուրջը ձևավորված դաշտի հետ փոխազդող մասնիկները: Այս նույն արգասիքի մանրադիտակային զննումները ցույց են տալիս, որ դրանցում առկա են նաև ոսկուն և արծաթին բնորոշ տեսքով մասնիկներ: ՊԽՄ առկայությունը ուսումնասիրելու համար օգտագործվող աղաթթվային լուծույթը սկզբում ցեմենտացվել է (60-800°C, 1ժ) ցինկով, որից հետո գոյացած ցինկ-քլորային լուծույթի հետագա զտումից առանձնացված պինդ նստվածքը տարրալուծվել է խիտ և տաք աղաթթվով: Վերջինիս արդյունքում գոյացած արգասիքի ծավալը կրճատվել է տասնյակ անգամներ, իսկ հերթական

շիկացումից ($500-600^{\circ}\text{C}$, 1ժ) հետո մնացած թանկարժեք մետաղներ պարունակող արգասիքի կշիռը կազմել է 10 մգ: Մանրադիտակային զննումները ցույց են տալիս որ վերջում նշված արգասիքի 90-95%-ը սիլիկահողի մասնիկներն են, որոնցում առկա ՊԽՄ բնորոշ սև և արծաթափայլ մասնիկները զգայուն են մագնիսական դաշտի նկատմամբ:

Մոխիրը հերթական փորձերում միահալվել է բովախառնուրդի զանգվածի 60...70%-ը կազմող տեխնիկական սոդայի հետջերմակայուն տարողությունների մեջ: Փորձեր 3 և 4-ում գոյացած հալույթները տարալուծվել են ($70...80^{\circ}\text{C}$, 1 ժ) աղաթթվի թույլ լուծույթներով: Գոյացած խյուսը այնուհետև զտվել է, որի հետևանքում սիլիկահողային նստվածքը առանձնանում է լուծույթից: Այնուհետև շարունակվել է վերջում նշված լուծույթի վերամշակումը՝ տաք վիճակում նրա վրա ավելացվել է աղաթթու մինչև լուծույթների P_H - ի արժեքների 1...3 միջակայքին համապատասխանումը: Նկարագրված գործողությունների արդյունքում ապակյա բաժակի հատակին առաջանում է սպիտակ գույնի նստվածք, որը սիլիկաթթվի մածիկն է: Վերջինս առանձնացվում է փորձերում գոյացած հեղուկային զանգվածի հեռացման միջոցով, որից հետո նշված նյութի՝ ճենապակյա թասի մեջ չորացումը կատարվել է սենյակային պայմաններում: Չննումները ցույց են տալիս, որ ստացված սիլիկատաթթվի կազմում առկա են կարմիր գույնի երկաթի օքսիդի և քվարցի խառնուրդներ: Թանկարժեք մետաղների առկայությունն ուսումնասիրելու համար օգտագործվել է երրորդ փորձի խյուսի զտումից առանձնացված աղաթթվային լուծույթը: Վերջինիս ցեմենտացման արդյունքում վերականգնված նստվածքի կշիռը շիկացումից ($550-600^{\circ}\text{C}$, 1 ժ) հետո 0,2 գ է: Այս արգասիքում առկա թանկարժեք մետաղները բացահայտելու համար այն մշակվել է սկզբում՝ խիտ աղաթթվի, իսկ հետո նաև ազոտական թթվի տաք լուծույթներով: Գոյացած թթվակայուն նստվածքից ոչ մետաղական տարրերը վերջում հեռացվել են ջրով լվացման միջոցով: Նշված միջոցների կիրառումից հետո ստացվել է քանակով՝ 8 մգ թանկարժեք մետաղների խտանյութ, որի մանրադիտակային զննումները վկայում են դրանցում առկա՝ սև

գույնի և մետաղական արծաթի փայլով մասնիկների մասին: Նշված քիմիապես կայուն մասնիկները զգայուն են մագնիսական դաշտի նկատմամբ, որից հետևում է, որ դրանցում ազնիվ մետաղները հիմնականում գտնվում են երկաթի հետշաղկապված վիճակում:

Վերջին փորձից գոյացած 124 գ հալույթի մինչև 100 մկմ հատիկային չափերով մանրագնդված՝ ի տարբերություն 3 և 4 փորձերի, տարալվացվել է ջրով (70°C , 2...3 ժ), իսկ գոյացած լուծույթը վերականգնվել է աղաթթվով՝ մինչև լուծույթի pH-ի արժեքի 7-ի համապատասխանումը: Արդյունքում տարանջատված սիլիկաթթուն, սենյակային պայմաններում չորացումներից հետո, կազմել է մոտ 5 գ: Այս նույն գործողության հետևանքում առանձնացվել է 48 գ պինդ նստվածք՝ մոնֆելային վառարանի օգնությամբ շիկացումից ($500\ldots 600^{\circ}\text{C}$, 30 րոպե) հետո կազմել է 43 գ: Վերջին նյութի հիմնական բաղադրիչը, ըստ մանրադիտակային զննումների արդյունքների սիլիկահողն է, սակայն ակնհայտ է նաև, որ այն պարունակում է բազմաթիվ թանկարժեք և այլ մետաղներ:

Փորձերի արդյունքների ամփոփումը ցույց են տալիս, որ որպես ելանյութ օգտագործված ածխածնային հանքանյութը նախ և առաջ ենթակա է գազայնացման, ինչն այստեղ իրականացվել է դրանց՝ օդի և ջրային գոլորշիների միջավայրում՝ $1000\ldots 1200^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային միջակայքում այրման միջոցով:

Համաձայն փորձարկված գործընթացի արդյունքների ածխածնային հանքանյութերի գազայնացման ընթացքում այդ ելանյութերում առկա թանկարժեք մետաղները տեղափոխվում են գոյացած խառամների կազմը: Հերթական հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ թանկարժեք մետաղների հետագա կորզումը հնարավոր է վերջում նշված միջանկյալ արգասիքներից տարբեր եղանակներով վերամշակման միջոցով: Այս հետազոտությունները վկայում են նաև, որ փորձերում ստացված միջանկյալ տեխնոլոգիական արգասիքները պարունակվում են մագնիսական դաշտի նկատմամբ զգայուն և քիմիապես կայուն բազմաթիվ տարրեր:

Բերված տվյալներից հնարավոր է եզրակացնել, որ այս փորձերում ստացված արգասիքներում ՊԽՄ-ը հանդես են գալիս երկաթի հետմիացությունների տեսքով:

4.1.3. Ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային հանքանյութերի ջերմային մշակման գործընթացի հետազոտումը

Ելանյութ հանքանյութերի և դրանց ծանր մետաղների հիմքով արգասիքներից ածխածինը հեռացնելու նպատակով իրականացվել են ջերմային մշակման եղանակով գործընթացների հետազոտումներ: Այս եղանակը հանդիսանում է ածխածնային նյութերում առկա ածխածնի օգտահամար՝ ինչպես նաև ազնիվ մետաղներով հարստացման արտադրական եղանակ [107], համաձայն որի ածխածնային հանքանյութերից ածխածնի հեռացումը հնարավոր է այդ հումքը մինչև 1000°C ջերմաստիճանների պայմաններում մշակումներով: Ակնհայտ է սակայն, որ այդ բարձր ջերմաստիճանները կարող են վնասակար լինել, քանի որ ելանյութ հանքանյութերում առկա են բարձր ջերմաստիճաններում գոլորշիացող մետաղներ: Ելնելով դրանից, ջերմային մշակման գործընթացի հետազոտությամբ ունենալով կատարվել են մինչև 600...700°C ջերմաստիճանային տիրույթում: Նշված ջերմաստիճաններում այրման արդյունավետությամբ՝ ըստ արտանետվող ածխածնային գազերի քանակության բարձրացնելու նպատակով, փորձերում նպատակահիմար է գտնվել գործածել մինչև 1 մմ հատիկայնությամբ ածխածնային հումք: Վերջինիս այրումը կատարվել է Էլեկտրական վառարանում 125x80x20 մմ չափերի կավե չորսուների մեջ: Հարկ է նշել նաև, որ վառարանի ներսում այրումն ընթացել է օդի թույլ հոսքի պայմաններում, ինչը իրականացվել է փոքր հզորությամբ օդամղիչի օգնությամբ: Հումքի մինչև 400°C ջերմաստիճաններում մշակելու ընթացքում գոյանում են տիաճ հոտով ածխածնաջրածնային գազեր, իսկ մոտ 500°C-ի պայմաններում սկիզբ է առնում կապույտ բոցով այրումը: Ըստ էության այդ այրումը կարող է ընթանալ վառարանի Էլեկտրական էներգիայով սնուցումը շարունակելու և այրման տարածքում շուրջ 500°C և ավելի բարձր ջերմաստիճաններ ապահովելու պարագայում: Փորձերի արդյունքները ցույց են տալիս, որ ածխածնային հումքի այրման տևողությամբ բացի ջերմաստիճանից կախված է նաև հումքի տեսակից, այրման տարածքում օդի քանակից և այլ պայմաններից: Ածխածնային հումքի ջերմային մշակման վերաբերյալ հիմնական տվյալները բերված են աղ. 4.4-ում:

Ածխածնային հանքանյութի, այն չրովելվացումից ստացված մետաղական արգասիքների և արտադրական խտանյութերի ջերմային մշակման գործընթացի արդյունքները

Փ.Փ. ը/հ	Հումքի բնութագրերը			Ջերմաստիճանը, °C	Այրումը, գ
	անվանումը	չափերը, մկմ	քանակը, գ		
1	Ածխածնային հանքանյութ	- 500	100	650	48
2	Սինթեզ խտանյութ – 1/2	-400			63
3	Սինթեզ խտանյութ – 1/2,5	-300			65
4	Սինթեզ խտանյութ – 1/5	-200			69
5	Սինթեզ խտանյութ – 1/10	-100			74
6	Արտադր. խտանյութ - 1/30	-1000			72

Աղ. 4. 4-ում բերված տվյալները ցույց են տալիս, որ ջերմային մշակման (տևողությունը մոտ 1,5 ժամ) փորձերում, որոնց ընթացքում որպես հումք օգտագործվել են տարբեր տեսակի և հատկայնության ելանյութեր, նույն զանգվածներով փորձամուշների այրման ջերմաստիճանը և տևողությունը պահպանվել են հաստատուն: Համաձայն այդ փորձերի արդյունքների 400...500 մկմ հատկայնությամբ ածխածնային հանքանյութերի այրման 1 և 2 փորձերում գոյացած ածխածնային գազերի արտանետումները համապատասխանաբար կազմում են մոտ 52 և 37%, իսկ դրանց հաջորդող 3, 4 և 5 փորձերում նույն ցուցանիշը նվազում է մինչև 26%: Փաստորեն 5-րդ փորձում՝ համեմատած փորձ 1-ի արդյունքների հետ, գազային արտանետումները պակասել են կրկնակի անգամ: Արտադրական տեսակի խտանյութի այրման գազային արգասիքները մոտ 28% է, ինչը փորձ 5-ի համանուն ցուցանիշից ավելի է 2%-ով:

4.1.4. Ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային ել անյութերի թթուներով տարալուծման գործընթացի հետազոտումը

Նախորդ բաժիններում ստացված մետաղական արգասիքների այրուքներում պարունակվող ազնիվ մետաղները գտնվում են երկաթի միացությունների հետ շաղկապված վիճակում: Հարկ է նշել, որ երկաթի միացություններն ածխածնային հանքանյութերում կազմում են մոտ 8,5%, իսկ արտադրական խտանյութերում 18,6%: Բացի երկաթից նշված ածխածնային ել անյութերում զգալի քանակ են կազմում Al_2O_3 , TiO_2 , MnO քիմիապես կայուն միացությունները: Այստեղից հետևում է, որ ածխածնային ել անյութերի այրուքներում երկաթի օքսիդային միացությունների պարունակությունները կազմում են 15-25%: Նշված բաղադրությամբ արգասիքների թթուներով տարալուծումը նպատակահարմար չէ, քանի որ լուծույթի ազնիվ մետաղների զգալի մասը երկաթով վերականգնման արդյունքում կորչում են չլուծվող սիլիկահողային մնացուկների մեջ [62]:

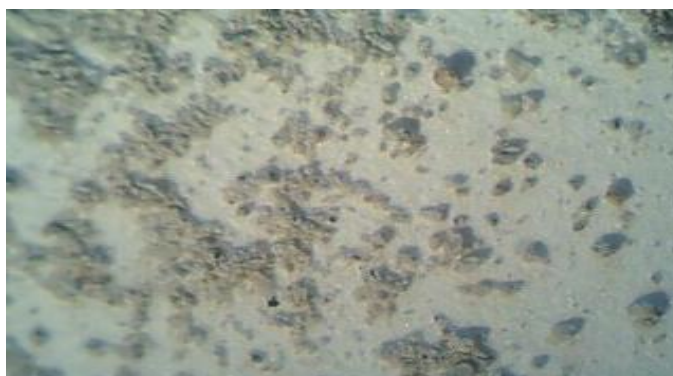
Երկաթի առանձնացման նպատակով այրուքների տարալուծումները կատարվել են աղաթթվի խիտ լուծույթով՝ ընդ որում 50 մկմ-ից ցածր չափերով ածխածնային հավելանյութի ներկայությամբ: Փորձերում օգտագործված մինչև 100 մկմ հատկային չափերի 50 - ական գզանգվածի փորձանմուշների աղաթթվով մշակումը ($70...80^\circ\text{C}$, 2,0 ժամ) կատարվել է ջերմակայուն ապակյա բաժակի մեջ՝ ջերմաստիճանը կարգավորվող էլեկտրական սալ օջախի օգնությամբ: Դրանց արդյունքում ստացված՝ ազնիվ մետաղներ պարունակող նստվածքի տվյալները բերված են աղ. 4.5-ում: Ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ հանքանյութը խիտ աղաթթվով տարալուծելու արդյունքում լուծույթ անցնող մետաղների (Fe, Mg, Na, K, Ca) օքսիդների ընդհանուր քանակը կազմում է 16%, իսկ սինթեզված - 1/10 և արտադրական - 1/30 խտանյութերի դեպքում այդ ցուցանիշները կազմում են մոտ 35%:

Աղյուսակ 4. 5

**Հանքանյութի ջրով լվացված այրուքների աղաթթվով
տարրալուծման փորձերի տվյալները**

Ելանյութի տեսակը	Տարրալուծման պայմանները	Տարրալուծված այրուք, գ
Հանքանյութ	HCl (70...80°C, 2,0 ժամ, պինդ:հեղուկ = 1:6)	42
Սինթետիկ խտանյութ – 1/2		39
Սինթետիկ խտանյութ – 1/2,5		38
Սինթետիկ խտանյութ – 1/5		36
Սինթետիկ խտանյութ – 1/10		32
Արտադրական խտանյութ – 1/30		33

Աղաթթվով տարրալուծված այրուքի և դրանց ելանյութերի բնութագրերի համեմատություները ցույց են տալիս, որ նշված գործողությունները հնարավորություն են ընձեռնում լուծել երկաթի հեռացման խնդիրը և նպաստում է հումքում առկա ազնիվ մետաղների բացահայտմանը: Այս առնչությամբ նկ. 4.3 - ում բերված է սինթետիկ խտանյութ-1/2 փորձանմուշի աղաթթվով տարրալուծված այրուքի մակրոկառուցվածքը, ըստ որի SiO₂-ի սպիտակ հատիկների միջակայքերում առկա են ազատ Au-ի և Ag-ի մասնիկներ:



Նկ. 4.3. Սինթետիկ խտանյութ - 1/2-ի աղաթթվով տարրալուծված այրուքի մակրոկառուցվածքը (x 50)

Այսպիսով ածխածնային հանքանյութերի ջրով լվացման փորձերում ստացվում են ազնիվ մետաղների պարունակությամբ տարբեր խտանյութեր, որոնք կազմում են փորձերում օգտագործված հումքի զանգվածի 1/2...1/10 մասը, իսկ առանձնացված ածխածնային զանգվածը՝ 50...90%-ը: Վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ ջրով լվացումից հետո ստացված մետաղական արգասիքներում Au-ի և Ag-ի պարունակության գրաֆիկներն ուղղագծային տեսքի են և նշված ազնիվ մետաղների պարունակությունները փորձերում

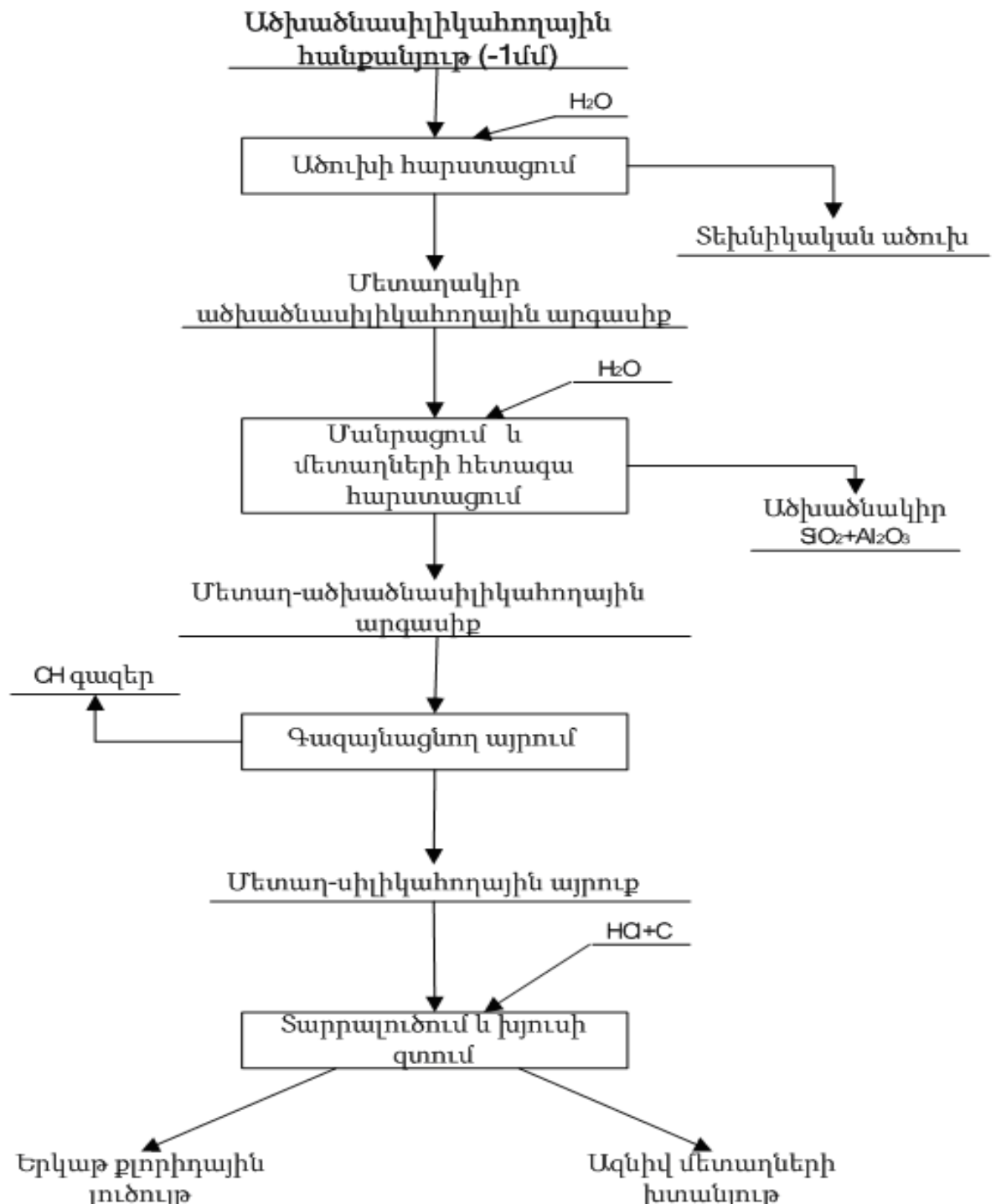
աճում են հանքանյութերի քանակի կրճատմանը համապատասխան օրինաչափությամբ:

Նույն փորձանմուշներում 400...500 մկմ չափերի հանքանյութի լվացումից ստացված մետաղական արգասիքները կազմում են հանքանյութի մոտ 50%-ը, իսկ համեմատաբար ցածր հատիկայնության հանքանյութերի լվացման արդյունքում ստացված ոսկի պարունակող արգասիքների քանակը նվազում է՝ մինչև 50 մկմ հատիկայնության ելանյութի դեպքում այն կազմում է հումքի մոտ 10%-ը: Հակառակ օրինաչափություն է նկատվում այդ գործընթացում ստացվող ածխածնային զանգվածի տվյալներում, քանի որ դրանց քանակը չրով լվացմամբ հարստացման արդյունքում աճում են մինչև 90%:

Ջերմային մշակման գործընթացների արդյունքները քննարկելիս, որպես հիմք ընդունվել է բնական վիճակի ածխածնային հանքանյութի օգտագործմամբ փորձի արդյունքները: Դրանք ցույց են տալիս, որ շուրջ 650 °C-ում այրման արդյունքում հանքանյութում առկա կարծր ածխածինը հիմնականում հեռանում է, որից հետո գոյացած սպիտակ սիլիկահողի հիմքով այրուքի կազմում զգալի քանակ է կազմում կարմիր երագով հեմատիտը: Այդ նույն փաստարկը հաստատում է \$ազային վերլուծությունների տվյալներով, համաձայն որի ըստ այրուքներում՝ SiO₂-ից (Quarz ASTM 5-490, coesite ASTM 14-654, tridumite ASTM 14-260) հետո հերթական բաղադրիչը երկաթի՝ Fe₂O₃ (ASTM 24-72), Fe₃O₄ (ASTM 26-1136) և FeO (ASTM 6-0615) տեսակների օքսիդներն են: Բերված տվյալները վերջնական չեն, քանի որ այդ արգասիքներում Al₂O₃, TiO₂, MnO միացությունների պարունակությունները անխուսափելի են:

Այրման փորձերի ընթացքում հանքանյութերի զանգվածը պակասում է մոտ 48%-ով, իսկ խտանյութերինը՝ 25-30%-ով, որից հետևում է, որ սինթեզված 1/2 տեսակի խտանյութում Au-ի և Ag-ի պարունակությունները կազմում են համապատասխանաբար 1,44 և 7,0 գ/տ, իսկ 1/10 – ում՝ 4,4 և 21,6 գ/տ և այլն: Փորձ 5 - ի աղաթթվով մշակված արգասիքում կամ ազնիվ մետաղների արտադրական խտանյութերում՝ ըստ հաշվարկի՝ Au-ի պարունակությունն աճում է մինչև 10,0, իսկ Ag-ինը՝ 50,0 գ/տ:

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային հանքանյութերի նախապատրաստման սկզբունքային նշանակության տեխնոլոգիա, որի սխեման ներկայացված է նկ. 4.4-ում:



Նկ. 4.4. Ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային հանքանյութերի նախապատրաստման տեխնոլոգիական սխեմա

4.2. Ազնիվ մետաղների կորզման հալ քանոթային հալ ման գործընթացի հետազոտումը

Ազնիվ մետաղների կորզման հալ քանոթային հալ ման եղանակը՝ հիդրոմետալուրգիականի հետ համեմատած, օժտված է որոշ առավել ություններով, համաձայն որի բացի ոսկուց և արծաթից այն ունակ է կորզել նաև ածխածնային ելանյութերում առկա ՊԽՄ: Բացի դրանից, Նշված պիրոմետալուրգիական եղանակում ածխածնի մինչև 5 զանգ.% պարունակությունները վնասաբեր չեն, քանի որ բովախառնուղի հալ ման ընթացքում կատարում են մետաղների վերականգնիչի դերը:

Ածխածնային հանքանյութերում և դրանց հարստացված արգասիքների հալ ման գործընթացներում՝ որպես ազնիվ մետաղների կուտակիչներ փորձարկվել են մետաղական կապարը, պղինձը և դրանց արծաթի, ոսկու և այլ մետաղների պարունակությամբ համաձուլվածքները:

Նույն նպատակով կատարված հերթական հետազոտությունում փորձարկվել է բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի (ԲԻՍ) եղանակը՝ ալյումինաթերմիան, որում բացի պղինձից որպես ազնիվ մետաղների կուտակիչներ գործածվել են երկաթը և ալյումինը:

4.2.1. Ազնիվ մետաղների կորզման և կապարի կուտակիչով հալ ման գործընթացի հետազոտումը

Որպես ելանյութ օգտագործվել են մինչև 10 մմ չափերի ածխածնային հանքանյութերը, իսկ երկրորդ մասում՝ գրավիտացման եղանակով հարստացված և մինչև 1 մմ չափերի ազնիվ մետաղների արտադրական խտանյութերը: Աշխատանքի սկզբում ելանյութ ածխածնային հանքանյութի 200 գ զանգվածը ենթարկվել է ջերմային մշակման (550...600°C, 2,0 ժամ), որի նպատակը դրանցում առկա ածխածնի հեռացումն է: Նշված գործողությունը կատարվել է էլեկտրական վառարանի օգնությամբ և մթնոլորտային օդի առկայության պայմաններում: Ստացված թերայրուկից ածխածինը ամբողջությամբ հեռացվել է առաջին այրումից ստացված մինչև 300 մկմ չափերի արգասիքը նույն ջերմային պայմաններում մշակմամբ: Նշված

ջերմային մշակումներից հետո ստացված շուրջ 80-ական գ զանգվածով այրուքները հալվել են 1000...1150°C ջերմաստիճաններում՝ 80 գ տեխնիկական սոդաի, 40 գ բորակսի, 60 գ կապարի օքսիդի կամ գլյուտի և 3...5 գ ածխածնային վերականգնիչի հետ միասին: Նշված բաղադրությամբ բովախառնուրդների հալման գործընթացների արդյունքում հումքում առկա ազնիվ մետաղները հալաքվում են կապարի հիմքով կուտակիչի մեջ, որը կոչվում է վերկբլեյ: Փորձերում օգտագործված հումքի և հալման ռեժիմների տվյալները գետեղված են աղ. 4.6-ում:

Աղյուսակ

4.6 Հանքանյութի այրուքի կապարային կուտակիչով հալման փորձերի տվյալները

Այրուք, գ	Հալում		Կապարային վերկբլեյ, գ
	ջերմաստիճանը, °C	Ժամանակը, Ժ	
77	980...1060	1,0	50
78	1000	1,2	49
80	960...1050	1,5	59
81	1000...1050	1,0	56
79	1050...1150	0,75	57

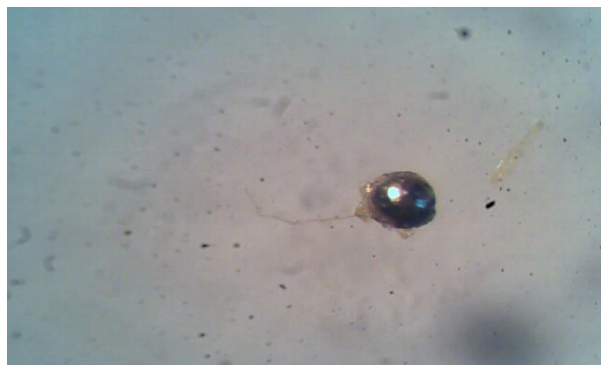
Ազնիվ մետաղները կորզելու նպատակով փորձերում գործածվել է վերկբլեյի ցեմենտյատիգելի (կապել) մեջ օքսիդիչ հալման (920...980°C) կամ կուպելացման եղանակը: Այս գործընթացում կապարը հիմնականում ներծծվում է կապելի մեջ, իսկ մնացած մասը հեռանում է գազերի տեսքով: Արդյունքում անոթի հատակին գոյանում է ոսկու և արծաթի պարունակությամբ հորեի համաձուլվածք: Վերջինս տարրալուծվել է ազոտական թթվի նոսր լուծույթով՝ ինչի արդյունքում այդ համաձուլվածքում առկա Au-ը և Pt-ը մնում են պինդ նստվածքի կազմում, իսկ Ag-ը՝ մասամբ նաև Pd-ը անցնում են լուծույթի մեջ: Նշված թթվով տարրալուծումներից հետո գոյացած մետաղական արգասիքները վերջում շիկացվում են (մոտ 30 րոպե և շուրջ 500°C-ում), ինչի նպատակը Au-ի բնորոշ դեղին փայլի վերականգնումն է: Մետաղական արծաթը ստանալու համար Ag պարունակող ազոտական թթվի լուծույթի աղաթթվով մշակումից հետո վերականգնված AgCl-ը միահալվել է (մոտ 1000 °C) տեխնիկական սոդայի հետ: Նկարագրված փորձերի ռեժիմների և արդյունքների

վերաբերյալ տվյալները բերված են աղ. 4.7-ում, իսկ այդ փորձերում ստացված Դորեի համաձուլվածքի և ոսկու մակրոկառուցվածքները նկ.4.5-ում և 4.6-ում:

Աղյուսակ 4.7

Հանքանյութի այրուքի հալման կապարային վերկբլեյի կուպելացված համաձուլվածքի թթվով տարալուծումից ստացված ազնիվ մետաղների պարունակությունը

Փորձի №-ը	Վերկբլեյ, գ	Կուպելացում		Դորեի համաձուլվածք, մգ	Au		Ag	
		ջերմաստիճանը, °C	Ժամանակը, Ժ		մգ	գ/տ	մգ	գ/տ
1	50	920...950	2,8	0,52	0,08	0,40	0,44	2,2
2	49	920...970	2,5	0,30	0,05	0,25	0,25	1,25
3	59	920...970	2,7	0,40	0,07	0,35	0,33	1,65
4	56	920...980	2,5	0,50	0,08	0,40	0,42	2,10
5	57	920...960	2,5	0,35	0,05	0,30	0,30	1,45



Նկ. 4.5. 0,5 մգ

զանգվածով Դորեի համաձուլվածքի մակրոկառուցվածք (x 25)



Նկ. 4.6. 0,08 մգ զանգվածով ոսկու ձուլվածքի մակրոկառուցվածքը (x 50)

Գրավիտացման միջոցով հարստացված արտադրական խտանյուղի այրուքի հալման ռեժիմների և դրանցում ստացված կապարային վերկբլեյի տվյալները բերված են աղ. 4.8-ում, իսկ վերկբլեյի հերթական մշակումների արդյունքում ստացված ազնիվ մետաղների տվյալները աղ. 4.9-ում:

Աղյուսակ 4.8

Կապարային վերկբլեյի կշիռը կախված խտանյուղի այրուքի քանակից և հալ քանոթային հալման ջերմաստիճանային պայմաններից

Փորձի №-ը	խտանյուղ, գ	խտանյուղի այրուք, գ	Հալման ռեժիմները		Վերկբլեյ, գ
			ջերմաստիճանը, °C	Ժամանակը, Ժ	
1	50	35	960...1000	1,9	37
2		36	930...1080	2,0	42
3		36	920...1080	1,8	33
4		37	1000...1180	2,0	41
5		34	1000...1100	2,0	40
6	100	72	1050...1080	1,2	34
7				1,3	35

Աղյուսակ 4.9

խտանյուղի այրուքի հալումից գոյացած կապարային վերկբլեյների կուպելացման փորձերի ռեժիմը և ստացված ազնիվ մետաղների պարունակությունները

Փորձի №-ը	Վերկբլեյ, գ	Կուպելացում		Դորեի համաձուլվածք, մգ	Au		Ag	
		ջերմաստիճանը, °C	Ժամանակը, Ժ		մգ	գ/տ	մգ	գ/տ
1	37	920...1000	1,5	2,80	0,31	6,20	2,49	49,8
2	42	920...980	1,6	4,40	0,50	10,0	3,90	78,0
3	33	920...1000	1,5	1,70	0,42	8,4	1,28	25,6
4	41	920...1040	2,0	3,10	0,71	14,2	2,39	47,8
5	40	1000...1030	1,7	2,40	0,59	10,8	1,81	36,2
6	34	950...1050	1,0	3,07	0,47	9,4	2,60	52,0
7	35	950...1050	1,0	2,37	0,37	7,5	2,00	40,0

4.2.2. Ածխածնային խտանյուղի հալման գործընթացի հետազոտությունը կապարի և պղնձի հիմքով կուտակիչների առկայության դեպքում

Ածխածնային խտանյութերից ազնիվ մետաղները կորզելու նպատակով հալման գործընթացներում որպես կուտակիչներ փորձարկվել են կապարի արծաթային համաձուլվածքը, քիմիապես մաքուր պղինձը և Քաջարանի հարստացուցիչ կոմբինատի պղնձի բազմամետաղային խտանյութը, որում պարունակվող ոսկին կազմում է 2,0-2,5, իսկ արծաթը մոտ 50 գ/տ: Նշված մոտեցման նպատակը նախորդ հետազոտությունում ստացված ազնիվ մետաղների կորզման արդյունավետության բարձրացումն է լրացուցիչ ՊԽՄ ստանալու ճանապարհով: Այդ փորձերում ածխածնային խտանյութի միջև 200 մկմ չափերի մանրազանգվածը (որում առկա 15...20 % ածխածինը հեռացված է) հալվել է շամոտյատիգելների մեջ՝ կարբոնոնդային տաքացուցիչով վառարանում: Հումքի հալքանոթային հալման ռեժիմների և օգտագործված նյութերի տվյալները ներկայացված են աղ. 4.10-ում:

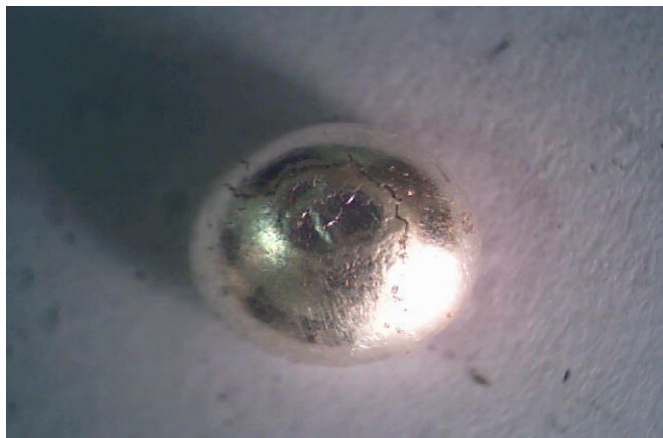
Աղյուսակ 4.10

Արծաթ - կապարային և պղնձի հիմքով կուտակիչների օգտագործմամբ ածխածնային խտանյութերի հալքանոթային հալման ռեժիմները և արգասիքները

Փ.Փ. ը / հ	Խտանյութ, գ	Ֆլյուսի կազմը, գ	Հալում		Վերկրել յ, գ
			ջերմաստիճանը, °C	ժամանակը, Ժ	
1	50	Գլյուտ - 50, սոդա - 50, բորակ - 25, AgCl - 0,75	1000...1100	1,8	40
2					
3					19,6
4		CuCl ₂ ·2H ₂ O - 50, սոդա 50, բորակ - 25, NaCl - 30	1000...1130	1,9	19,0
5					19,3
6					19,1
7	70	Cu-ի խտանյութի այրուք - 30, սոդա - 50, բորակ - 20, NaCl - 30	1000...1200	2,0	18,7
8					19,0
9					17,5

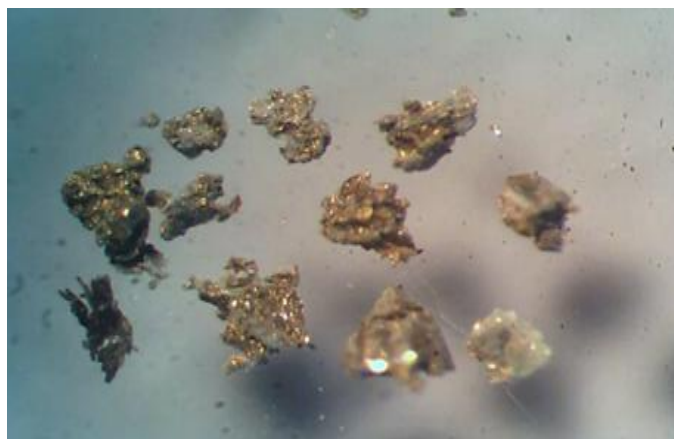
Աղ. 4-10-ում բերված տվյալների լրացման նպատակով հարկ է ալելացնել, որ պղնձի հիմքով 30-ական գրամ կուտակիչը՝ 7...9 փորձերում, գործածվել է այրուքի տեսքով՝ ինչը ստացվել է վերոհիշյալ և մոտ 38 գ զանգվածով պղնձի խտանյութը 700...750°C ջերմաստիճաններում թրծելու արդյունքում:

Փորձեր 1 և 2-ում արծաթի պարունակությամբ կապարային վերկբլեյները կուպելացվել են $920\ldots 960^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճաններում: Փորձ 1-ում գոյացել է 0,5 գ զանգվածով արծաթի հիմքով համաձուլվածք, որի մակրոկառուցվածքի տեսքը բերված է նկ. 4.7-ում: Ոսկու, արծաթի և պլատինի առանձնացման նպատակով այդ համաձուլվածքը տարրալուծվել է ազոտական թթվի թորած ջրով նոսրացված լուծույթով: Նշված մշակումներից հետո համաձուլվածքում պարունակվող Ag-ը՝ ամբողջությամբ, իսկ Pd-ը մասամբ անցնում են լուծույթի մեջ, իսկ Au-ը և ՊՄ-ի հիմնական մասը մնում են պինդ նստվածքներում:



Նկ. 4. 7. Յուրմբի հալումից գոյացած կապարային վերկբլեյի կուպելացված արծաթի հիմքով ազնիվ մետաղների համաձուլվածքի մակրոկառուցվածքը ($\times 200$)

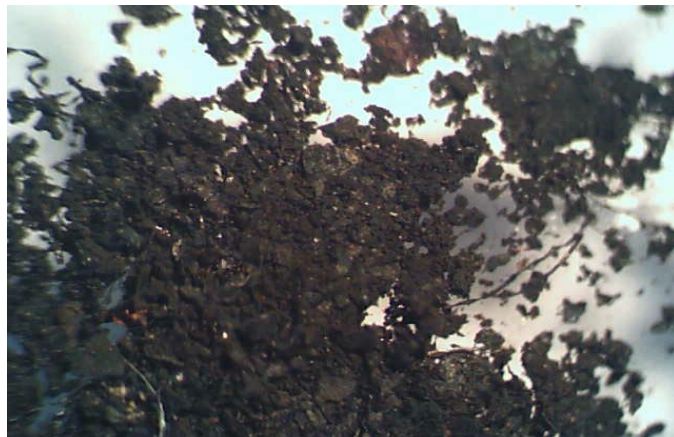
Թթվով մշակման արդյունքում ստացվում են ՊՄ պարունակությամբ ոսկու հիմքով ազնիվ մետաղ կամ համաձուլվածք (այսուհետ՝ Au-PtMe), որի մակրոկառուցվածքը ներկայացված է նկ. 4.8-ում



Նկ. 4.8. Ազնիվ մետաղների համաձուլվածքի թթվով քայքայումից
գոյացած 0,55 մգ ոսկի-ալատինային համաձուլվածքի
մակրոկառուցվածքը (x100)

Ցածրարժեք մետաղների և պղնձի հեռացման համար՝ 3...9 փորձերում ստացված պղնձի հիմքով վերկբլեյները տարրալուծվել են սկզբում՝ ազոտական թթվի թորած ջրային՝ 1:4 լուծույթներով, հետո՝ աղաթթվի ջրով 1:1 հարաբերությամբ նոսրացված լուծույթով, իսկ վերջում՝ ծծմբական թթվի 10%-ոց տաք լուծույթներով: Այդ թթուներով մշակված պինդ նստվածքները հետագա՝ 60...100°C ջերմաստիճաններում չորացնելիս հալվում են, իսկ հալույթի մասնակի գալորշիացման հետևանքում գոյացել են տիպիկ գազեր: Այնուհանդերձ դրանց արդյունքում ստացվում են գորշ երանգով նստվածքներ, որոնցում փայփլուն ազնիվ մետաղները նկատվում է անզեն աչքով: Նկ. 4.9-ում բերված է փորձ 3-ում ստացված պղնձի հիմքով կուտակիչի թթուներով մշակված նստվածքը:

Համաձայն [111] վերլուծական տեղեկատուի տվյալի նշված թթուներով մշակված նստվածքների հիմնական բաղադրիչը պետք է հանդիսանան ազնիվ մետաղները, որոնց կազմում իհարկե չեն բացառվում որոշ խումբ հազվագյուտ և արժեքավոր մետաղների առկայությունը:



Նկ. 4.9. Հումքի հալումից գոյացած պղնձ-ալսկուտակիչի թթվով
տարրալուծված նստվածքի մակրոկառուցվածքը (x 25)

Ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով թթուներով տարրալուծված և զանգվածով մոտ 100 մգ նստվածքները (համապատասխանում է 2000 գ/տ պարունակություններին)

կուպելացվել են մետաղական կապարով (920...980°C): Նկարագրված փորձերի տվյալները ներկայացված են աղ. 4. 11-ում: Համաձայն այս աղյուսակի 3-6 փորձերի տվյալների կուպելացումից գոյացած ազնիվ մետաղների համաձուլվածքների (մոտ 0,5 մգ) թթվով մշակված արգասիքներում Au-ը և Ag-ը կազմում են 0,2 և 0,3 մգ, որոնք համապատասխանում են 4,0 և 6,0 գ/տ պարունակություններին: Հակառակ վերջում նշածների 7 և 8 փորձերում ստացված պղնձի վերկբլեյների թթվով տարալուծումները և դրանց արգասիքների կուպելացումները կատարվել են համատեղ, որից հետո գոյացած համաձուլվածքի թթվով մշակման արդյունքում բացահայտված Au-ի հիմքով ազնիվ մետաղի մակրոկառուցվածքը բերված է նկ. 4.10-ում:

Աղյուսակ 4. 11

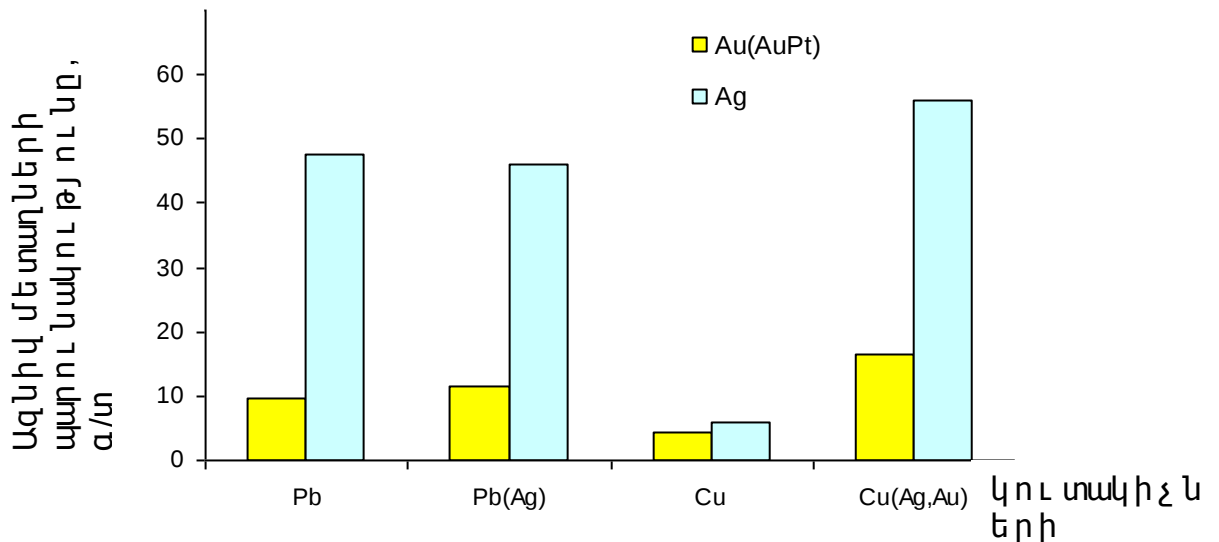
Խտանյութի հալումից գոյացած արծաթ-կապարային և պղնձի հիմքով կուտակիչների թթվով մշակման և կուպելացման միջոցներով ստացված ազնիվ մետաղները

Փ.Փ. ը / հ	Վերկ - բլեյ , գ	Վերկբլեյի թթվով մշակ - ված արգասիք, մգ	Կուպելացման արգասիք, մգ	Au կամ Au-PtMe համաձուլ - վածք, մգ - գ/տ	Ag, մգ - գ/տ
1	40	--	500	0,55 - 11,0	2,3 - 46,0
2	38	--	495	0,53 - 10,6	2,2 - 44,0
3	19,6	104	0,50	0,20 - 4,0	0,30 - 6,0
4	19,0	102	0,49	0,20 - 4,0	0,29 - 5,8
5	19,3	106	0,53	0,22 - 4,4	0,31 - 6,2
6	19,1	98	0,51	0,21 - 4,2	0,30 - 6,0
7	18,7	218	17,9	2,6 - 18,5	15,3 - 109
8	19,0				
9	17,5	108	8,5	1,2 - 16,8	7,3 - 103



Նկ. 4.10. Պղնձյա վերկբլեյների թթուներով մշակված և կուլտելացված համաձուլվածքի թթվով տարրալուծված ոսկու հիմքով ազնիվ մետաղի մակրոկառուցվածքը ($\times 100$)

Փորձերում ստացված Ag-ի, Au-ի (կամ AuPtMe) պարունակությունները ներկայացված են Նկ. 4.11-ում:



Նկ. 4.11. Խտանյուրերի հալման գործընթացում ստացված Ag-ի, Au-ի (կամ AuPtMe) պարունակությունները կախված օգտագործված կուլտելիչներից

4.2.3. Հալ քանոթային հալմամբ ազնիվ մետաղների կորզման տեխնոլոգիական սխեմայի մշակումը

Ստացված տվյալների վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ ազնիվ մետաղների կորզման՝ կապարի կուլտելիչով հալման և դրանց վերկբլեյի կուլտելացման ուղին նպատակահարմար է գործածել ածխածնային հումքում առկա ոսկին և արծաթը կորզելու նպատակով (կորզված ոսկին կազմում է հումքի պարունակության 98%-ը):

Հումքի արծաթի հալելումով հալման 1 և 2 փորձերում (աղ. 4.11) կորզված (կտորտանքների տեսքով) ոսկու պարունակությունը այստեղ բարձրացել է մինչև 11,0 գ/տ: Ստացված և տեսական բնույթի տվյալների համադրումներից հետևում է, որ 1 և 2 փորձերում ստացված Au-ի հիմքով պինդ արգասիքը պարունակում է ՊԽՄ, որին համապատասխանում է պարունակության մոտ 1,5 գ/տ ցուցանիշը:

Դրանցում ալնիայ տ են նաև ազնիվ՝ ամենայն հավանականությամբ ՊեՄ-ի կորուստները, քանի որ կուպելացման՝ արծաթի հիմքով ազնիվ մետաղական համաձուլվածքի (500 մգ) նոսր ազոտական թթվով մշակման արգասիքների (Au-PtMe և Ag՝ համապատասխանաբար 0,55 և 2,3 մգ) ընդհանուր զանգվածը զիջում է նշված ելանյութին՝ ավելի քան 100 անգամ: Քննարկված փորձերի արդյունքների ամփոփումից հետևում է որ ածխածնային ելանյութերի կապարով, կապար-արծաթային համաձուլվածքներով և ֆլյուսներով հալումները նպատակահարմար է կատարել 1000...1150°C-ում (1,5...2,0 ժամ), իսկ ստացված կապարի հիմքով վերկբլեյների կուպելացումները՝ 920...980°C-ում (շուրջ 40 րոպե):

Ազնիվ մետաղների կորուստներին առնչվող խնդիրն առավել բարդ դրսևորում է ստանում քիմիապես մաքուր պղնձի կուտակիչի ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) գործածմամբ: Հումքի հալումը, ստացված պղնձի հիմքով վերկբլեյի թթվով տարալուծումը և թթվով մշակված նստվածքների կապարով կուպելացումը հնարավորություն են տալիս կորզված ոսկու քանակությունը հասցնել հումքի պարունակության մոտ 40%, իսկ Ag-ը՝ մինչև 15%-ը: Փաստորեն քննարկված 1...6 փորձերում՝ ազնիվ մետաղների կորուստները նկատվում են ինչպես կուտակիչների (անկախ մետաղի տեսակից) ազոտական թթվի լուծույթներով մշակման ժամանակ, այնպես էլ դրանց արգասիքների ջերմային մշակումների ընթացքում:

Վերջում քննարկվել են աղ. 4.11 - ում բերված 7, 8 միացյալ և 9 փորձերի արդյունքները, որոնցում ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով հալ քանոթային հալումներում օգտագործված է ոսկու և արծաթի խառնուրդներ (Au-2,0...2,5 գ/տ, Ag-մոտ 50 գ/տ) պարունակող պղնձի հիմքով բազմամետաղային կուտակիչ: Վերջում նշված տեսակի կուտակիչի ոսկու և արծաթի հաշվառումը ցույց է տալիս, որ այդ փորձերում կորզված ոսկու հիմքով ազնիվ մետաղական համաձուլվածքը կազմում է 2,3 մգ (16,5 գ/տ), իսկ Ag-ը՝ 9,3 մգ (56,0 գ/տ): Փորձերում ստացված ազնիվ մետաղների քանակային և որակային բնութագրերի՝ նաև ազնիվ մետաղների վերլուծական ոլորտների վերաբերյալ տվյալների համադրումից հետևում է, որ ինչպես 1 և 2, այնպես էլ 7+8 և 9-ը փորձերում ստացված Au-ի հիմքով

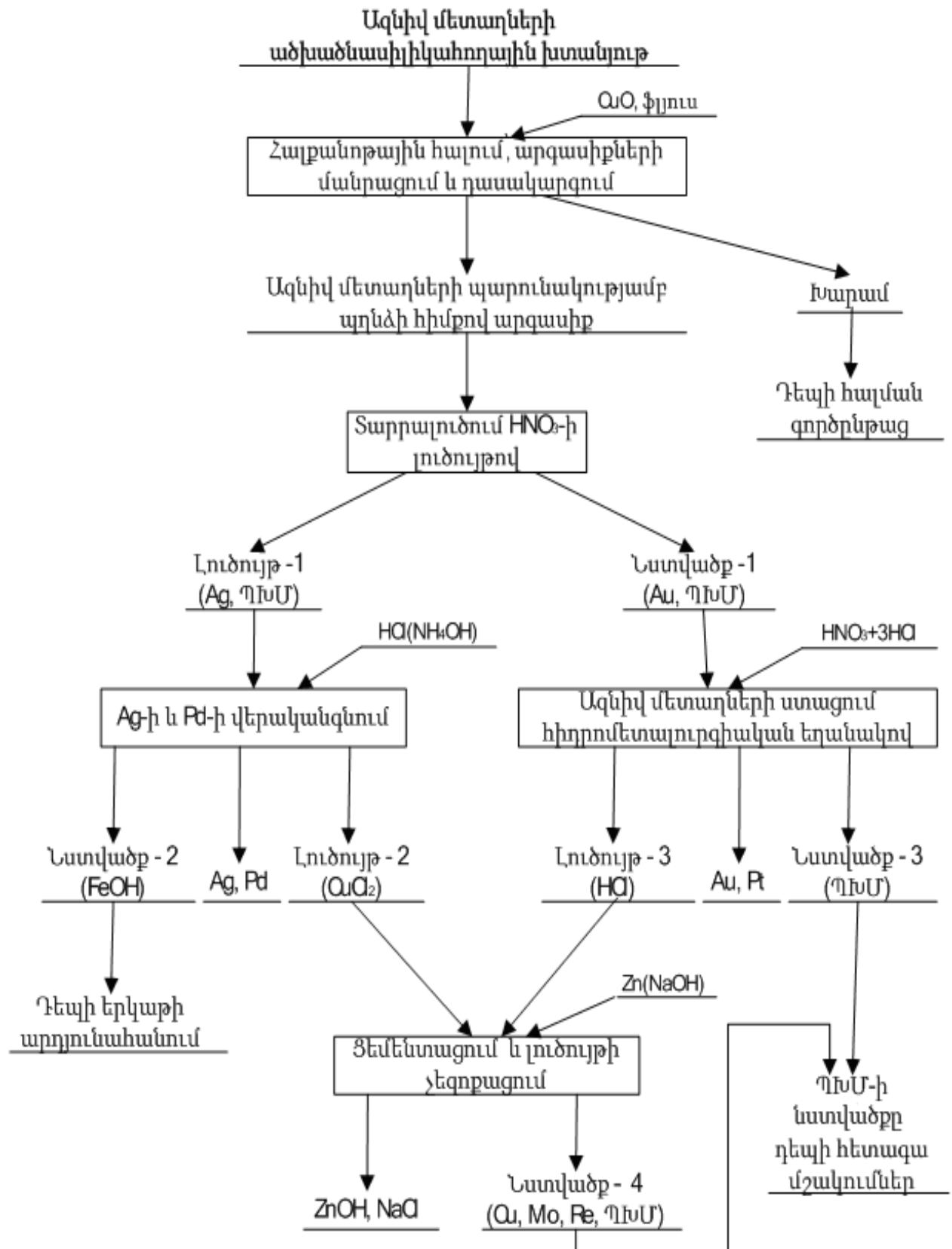
համաձուլվածքում առկա են ՊԽՄ: Վերջում նշված մետաղների շարքում առավել իրատեսականը պլատինի առկայությունն է, քանի որ ազոտական թթվով մշակումների արդյունքում Pd-ը հիմնականում անցնում է լուծույթի մեջ: Դժվար է պնդել նաև, որ այդ ոսկու հիմքով արգասիքում պլատինը միատարր է, քանի որ դրանում հնարավոր են Rh-ի (չեն բացառվում նաև Ir-ի) առկայությունը:

Փորձերի արդյունքների ամփոփումից հետևում է որ ածխածնային ելանյութերի ոսկու և արծաթի պարունակող բազմամետաղային պղնձի կուտակիչով և ֆլյուսներով հալումները (փորձեր 7...9) նպատակահարմար է կատարել 1150...1200°C-ում (շուրջ 2,0 ժամ), իսկ հալումից գոյացած պղնձի հիմքով համաձուլվածքների կուպելացումները՝ 920...980°C ջերմային միջակայքերում: Պղնձի բազմամետաղային կուտակիչով հալման փորձերի՝ թթվով մշակված վերկբլեյի կապարով կուպելացումից գոյացած արծաթի հիմքով ազնիվ մետաղի քանակը գերազանցում է 3...6 փորձերի նույն տվյալներին մոտ 17 անգամ: Արդարացվում են նաև կուպելացման արգասիքների ազոտական թթվով մշակման ցածր ռեժիմները՝ 50...60°C, քանի որ թթվով մշակված արգասիքի կապարով կուպելացումից հետո այս փորձաշարում ստացվող Au-PtMe և Ag-ի քանակային ցուցանիշները ամենաբարձրն են՝ ածխածնային խտանյութերից կորզված ոսկին կազմում է մոտ 10,0 գ/տ, արծաթը՝ 50,0 գ/տ, իսկ ՊԽՄ 1,5...5,0 գ/տ:

Համաձայն հետազոտության արդյունքների, Հայաստանի Նոր-Արևիկի մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխներից ազնիվ մետաղները հնարավոր է կորզել հաջորդաբար իրականացնելով հետևյալ գործընթացները. մետաղակիր ածխածնային խտանյութի այրում, ստացված խտանյութի այրուքի հալում պղնձի՝ ոսկու, արծաթի և այլ մետաղական հալելումներ պարունակող, կուտակիչով և ֆլյուսների առկայությամբ և գոյացած վերկբլեյի կուպելացում: Ակնհայտ է նաև, որ հալ քանոթային հալումներից հետո գոյացած մետաղական արգասիքների կուպելացումը բերում է նույն արգասիքների շեշտակի կորուստներին, որոնցում չեն բացառվում պլատինային և հազվագյուտ մետաղների առկայությունը: Այս բացասական երևույթի շրջանցումը ըստ

Է ու թյան հնարավոր է պղնձի կուտակիչ ու մաքրող ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով կապարով կուպելաց ու մները փոխարինել քիմիական մշակումներով: Համաձայն փորձերի տվյալների, նշված թթվային տարրալուծումների համար նպատակահարմար է օգտագործել ազոտական և ծծմբական թթվի լուծույթներ, քանի որ դրանք հնարավորություն են տալիս պղնձը տանել լուծույթ, որից հետո ստացվող ոսկին և պլատինը մնում են պինդ նստվածքներում:

Ածխածնասիլիկատային խտանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման հալման եղանակով գործընթացի տեխնոլոգիական սխեման բերված է նկ. 4.12-ում:



Նկ. 4.12. Ածխածնասիլիկահողային խտանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման հալքանոթային հալման և հիդրոմետալուրգիական եղանակներով մշակման համակցված տեխնոլոգիական սխեմա

4.3. Մետաղակիր ածխածնային ելանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման մետաղաթերմային գործընթացի հետազոտումը

4.3.1. Բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզ գործընթացի բնութագրերը

Մետաղների և համաձուլվածքների ալյուրմինաթերմային վերականգնումը բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզ է (ԲԻՍ), որն ընթանում է շնորհիվ ելանյութերի կամ ալելի տարրերի (կամ միացությունների) և վերականգնչ ալյուրմինումի միջև ընթացող ջերմանջատիչ քիմիական ռեակցիայի՝ ուղղորդված այրման ռեժիմում [81...91]: Որևէ միացությունն ԲԻՍ եղանակով սինթեզելու նպատակով անհրաժեշտ է, որ գործընթացը լինի բավարար ջերմանջատիչ, իսկ վերջնական դիսոցիացիան այրման ջերմաստիճաններում՝ փոքր: ԲԻՍ ռեժիմում ստացվում են տարբեր դասի բարձրորակ միացություններ, համաձուլվածքներ. նույնիսկ մաքուր մետաղներ: Համաձուլվածքների և մետաղների ստացման այլ եղանակների հետ համեմատած ԲԻՍ գործընթացները բնութագրվում են մի շարք անժխտելի առավելություններով, մասնավորապես.

- նյութերի սինթեզի համար անհրաժեշտ չեն էներգետիկական ծախսերով (միայն գործընթացի հարուցման համար),
- գործընթացի մեծ արագություն՝ հետևաբար բարձր արտադրողականություն,
- անհրաժեշտ միկրոկառուցվածքով և ֆազային բաղադրությամբ նպատակային արգասիքի ստացման հնարավորություն,
- համաձուլվածքների միափուլ սինթեզի հնարավորություն,
- պարզ և ոչ թանկարժեք սարքավորումների օգտագործում,

Բացի այս առավելությունները, ԲԻՍ եղանակը բնութագրվում է անթափոն և եկող ոգիապես անվնաս արտադրություն կազմակերպելու հնարավորությամբ: Շատ դեպքերում նպատակային արգասիքները ստացվում են ալելի բարձր մաքրությամբ, քան ելային ռեագենտներն են՝ պայմանավորված սինթեզի համեմատաբար բարձր ջերմաստիճաններով ($1000-3000^{\circ}\text{C}$), որի շնորհիվ անցանկալի շատ խառնուկներ ցնդում, քայքայվում և հեռանում են արգասիքից:

Բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզ գործընթացի ժամանակ հումքում առկա ազնիվ մետաղների օքսիդների, սուլֆիդների կամ այլ միացությունների ու վերականգնիչի (AI) միջև ընթանում են ջերմանջատիչ քիմիական ռեակցիաներ: Շնորհիվ այդ ջերմության վերականգնման գործընթացը կարելի է տանել անվառարան, կամ առանց արտաքինից էներգիայի ծախսի, որը և տեխնոլոգիայի կարևորագույն առավելությունն է: Գործընթացն ընթանում է ելանյութերի բարակ շերտում: Տեղային բարձր ջերմաստիճանային իմպուլս հարուցելուց հետո ռեակցիան տարածվում է ամբողջ համակարգով, շնորհիվ ջերմահաղորդականության, սինթեզված տաք մետաղական զանգվածից դեպի չտաքացած բովախառնուրդը: Շնորհիվ անջատված ջերմության (2500-3000K) բովախառնուրդը կարծես „եռում” է, այդ պայմաններում առաջանում են մետաղական և խարամային ֆազեր, որոնք սառելուց հետո հեշտությամբ անջատվում են միմյանցից: Այնումիևս բարձր վերականգնիչ հատկությունները, հեշտ սպասարկելի լինելը համեմատած Ca-ի և Mg-ի հետ, այս գործընթացը դարձնում է անմրցակից, ավանդական եղանակների հետ համեմատած: Այդպիսի վերականգնման գործընթացների իրագործումն ավանդական վառարանային եղանակներով բարդ է, էներգատար, աշխատատար, պահանջում է բարդ սարքավորումներ, և ընթանում է ժամերով: Մինչդեռ, ԲԻՍ գործընթացով համաձուլվածքների ստացումը պահանջում է վայրկյաններ: Ստացվող համաձուլվածքը մաքուր է, քանի որ անցանկալի գազային խառնուկները «այրվում են» և ցնդում: ԲԻՍ գործընթացը բնորոշվում է մեծ արագություններով (0,5...20 սմ/վ): Այրման մեծ արագություններն ապահովում են գործընթացի մեծ արտադրողականությունը: ԲԻՍ գործընթացի տարածման արագությունը կախված է շատ գործոններից, այդ թվում նաև ելանյութերի հատկային չափերից: Որքան մանրահատիկ են ելանյութերը, այնքան մանրահատիկ է ստացված համաձուլվածքը: Շնորհիվ մանրահատիկության մեծացման, իրականացվում է ցածրաջերմաստիճան ԲԻՍ գործընթաց և հետևաբար, նոր նյութի բյուրեղներն առաջանում են ցածր ջերմաստիճաններում և մեծ քանակներով: Դա թույլ է տալիս ստանալ ավելի մանրահատիկ

կառուցվածքով համաձուլվածք, քանի որ դանդաղում է բյուրեղների սերտաճը (ազլոմերացումը):

Աշխատանքում օգտագործված ԲԻՍ գործընթացները ըստ էության ազնիվ և հազվագյուտ մետաղների ստացման համեմատաբար նոր ուղղությունն է, որը, համաձայն տեսական աղբյուրների տվյալների, հնարավոր է գործածել նաև նույն մետաղները վերլուծելու նպատակով:

4.3.2. Բարձրաջերմաստիճանային ինքնաառավող սինթեզ գործընթացը որպես ազնիվ մետաղների և համաձուլվածքների ստացման եղանակ

Սև և գունավոր մետաղների մշակման մետաղաթերմային վերականգնման եղանակը սկզբունքորեն նման է նախորդ բաժնում հետազոտված մետաղակիր ածխային հանքանյութերում և խտանյութերում առկա ազնիվ մետաղների կորզման հալման հալքանոթային գործընթացներին: Ի տարբերություն հալման հալքանոթային եղանակի, մետաղաթերմային գործընթացներում անհրաժեշտ ջերմությունը գոյանում է ածխածնային հանքանյութերում պարունակվող երկաթի, պղնձի, ազնիվ մետաղների օքսիդների և Al-ի մանրազանգվածների այրման շնորհիվ: Հետազոտվող՝ ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացում բացի հիմնական ռեակցիայից ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe} + Q$), ընթանում են նաև մի շարք այլ քիմիական փոխադեցություններ, որոնք նույնպես ջերմանջատիչ են: Ածխածնային հանքանյութերում և խտանյութում պարունակվում է նաև ածխածին, որը նույնպես կարող է այրվել, անջատելով ջերմություն: Իհարկե ածխածնի այրումը չի կարող սկսվել ինքնուրույն, քանի որ այն ջերմակլանիչ ռեակցիա է, բայց ալյումինաթերմային ռեակցիայի ընթացքում ածխածինը նույնպես մասնակցում է վերականգնման գործընթացին: Այսպիսով, այս գործընթացը նույնպես ընթանում է ինքնաբերաբար և զարգանում են բարձր ջերմաստիճաններ, որոնց արդյունքում վերականգնվում են մետաղներն ազատ վիճակում, կամ համաձուլվածքի ձևով, իսկ ազնիվ մետաղները անցնում են գոյացած մետաղների կամ

համաձուլվածքների կազմի մեջ: Ինչպես և հալման գործընթացում, ազնիվ մետաղների ստացման արդյունավետությամբ բարձրացնելու նպատակով բովախառնուրդ են մտցվում տարբեր մետաղական կուտակիչներ և ֆլյուսացնող նյութեր:

Որոշակի բաղադրություններով կազմված բովախառնուրդը բացի ածխածնային հանքանյութից և խտանյութից, պարունակել է նաև այլ բաղադրիչներ: Մասնավորապես՝ բովախառնուրդի թերմիկությամբ մեծացնելու նպատակով ավելացվել է NaNO_3 , իսկ խարամագոյացման համար՝ CaO :

Նկ. 4.13-ում ցույց է տրված ածխածնային խտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացը բովախառնուրդի այրման պահին:



Նկ. 4.13. Ածխածնային խտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացը բովախառնուրդի այրման պահին

Այդ պայմաններում վերականգնված ֆազն առաջացնում է մետաղական գնդիկներ, որոնք կենտրոնանում են բովախառնուրդի հատակում, իսկ ածխածնային խտանյութում պարունակվող այլ օքսիդները (MgO , CaO) և K_2O -ն ստացված Al_2O_3 -ի և SiO_2 -ի հետ առաջացրել են դժվարալուծ սիլիկատներ և ալյումինասիլիկատներ խարամի ձևով, որոնք սառելուց հետո հեշտությամբ պրկվում են մետաղի գնդիկներից: Փորձերից հետո ստացված մետաղական զանգվածն ազնիվ մետաղների հետ միասին կշռվելուց հետո ենթարկվում են ինչպես քիմիական, այնպես էլ

ռենտգենաֆազային և էլեկտրոնային սկանացնող մանրադիտակային վերլուծության: Նման ձևով հետազոտության են ենթարկվել, նաև սիլիկատային զանգվածները:

4.3.3 Երկաթի և պղնձի կուտակիչներով ալյումինաթերմային գործընթացի հետազոտությունը

Ազնիվ մետաղների կորզման հումքը վերը նշված ջրային լվացումների միջոցով և լաբորատոր պայմաններում տարբեր աստիճաններով հարստացված ածխածնային խտանյութերն են: Նշված լաբորատոր խտանյութերը փորձարկումներից առաջ ենթարկվել են միներալոգիական, ռենտգենաֆազային և քիմիական վերլուծության: Համաձայն այդ վերլուծության արդյունքների, խտանյութը կազմում է ելանյութ հանքանյութի մոտ 10 զանգվածային %-ը: Ըստ որում, C-ը կազմում է 25...28 %, իսկ SiO₂-ը մոտ 35%: Ռենտգենակառուցվածքային վերլուծությունը վկայում է, որ այդ խտանյութերում առկա են նաև FeS₂, CuFeS₂, Fe₂C, SiC, TiO₂, FeMo, FeRe մետաղական միացություններ և Re: Նույն խտանյութում Au-ի և Ag-ի միջին պարունակությունները համապատասխանաբար կազմում են 2,0 և 10,0 գ/տ: Բերված տվյալների շարքում ՊԽՄ-ին առնչվող ցուցանիշները բացակայում են, քանի որ ելանյութերում առկա Re Pt, Pd, Rh, Ir մետաղների, և դրանց FePt, FePd FeRe-ը միացությունների առկայությունները ռենտգենագրերում նման են իրար և հետևաբար դժվար են տարբերվում միմյանցից: Այդ պատճառով ՊԽՄ բացահայտմանը անհրաժեշտ տեղեկություններն ակնկալվում է ստանալ ածխածնային հանքանյութերի ալյումինաթերմային արգասիքների ռենտգենակառուցվածքային վերլուծությունների արդյունքում:

Հումքում առկա ազնիվ մետաղների արդյունավետ կորզման նպատակով ալյումինաթերմային գործընթացներում օգտագործվող բովախառնուրդի մեջ բացի NaNO₃-ից և CaO -ից ավելացվել են նաև Fe₂O₃, CuO, CuS տեսակի ազնիվ մետաղների կուտակիչներ: Փորձերում օգտագործված դյուրավառ ալյումինի հատիկային չափերը ցածր են 300 մկմ-ից, իսկ բովախառնուրդի բոցավառման նպատակով

օգտագործվող հարուցիչն իրենից ներկայացնում է տիտանի և ածխածնի միսջև 100 մկմ չափերով մանրագնդվածների խառնուրդ:

Ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով կատարվել են երեք տասնյակից ավելի ալյումինաթերմային փորձեր, որոնցից առավել հաջողվածների տվյալները ներկայացված են աղ. 4.12-ում: Այս աղյուսակի տվյալներին, որպես լրացում հարկ է ավելացնել փորձ 3-ի վերաբերյալ տեղեկությունները: Համեմատած մյուս փորձերի այստեղ ալյումինաթերմային համար որպես հումք օգտագործվել է բնական վիճակի հանքանյութ, իսկ ըստ երկրորդ առանձնահատկության հալման բովախառնուրդում բացակայում են պղնձի և երկաթի հիմքով ազնիվ մետաղների կուտակիչները: Մնացած փորձերի ելանյութերը հանքանյութի ջրով լվացմամբ հարստացված արգասիքներն են, որոնց զանգվածները համեմատած հանքանյութի ցածր են 2,5...5,0 անգամ:

Աղյուսակ 4.12

Ալյումինաթերմային վերականգնման փորձերում օգտագործված հումքի, օժանդակ նյութերի և արգասիքների տվյալները

Փորձ , №	Ելանյութ հանք- թ,գ	Հարուստ հանք-թ, գ	Օժանդակ նյութեր, գ	Me-ական ելք, գ /%	Խարամ, գ
1	25	5	Fe ₂ O ₃ – 10,0, NaNO ₃ – 2,5, CaO – 2,0, Al - 6,0	3,0 / 50	20
2	25	5	CuO – 6,0, NaNO ₃ – 2,5, CaO – 2,0, Al - 6,0	Այրումը՝ 19,6 գ	
3	10	-	Al – 3,0, NaNO ₃ – 2,5, CaO – 2,0	1,5 / 50,5	13,4
4	12,5	5	CuO – 10,0, CaO – 2,0, NaNO ₃ – 2,5, Al – 8,0	5,0 / 62,5	16,3
5	12,5	5	Cu-ի խտ. – 10, NaNO ₃ -2,5, CaO – 2,0, Al - 8,0	4,1 / 51,2	24,5
6	15	6	CuO – 6,0, NaNO ₃ – 2,5, CaO – 2,0, Al - 10,0	4,7 / 97,9	18,6

7	12,5	5	Fe ₂ O ₃ – 10,0, NaNO ₃ – 2,5, CaO – 2,0, Al – 7,0, MgO – 2,0	4,2 / 60,0	17,9
---	------	---	---	------------	------

Աղ. 4.12-ի փորձերում գոյացած մետաղական և խառամային արգասիքներում պարունակվող ազնիվ մետաղների բացահայտման նպատակով օգտագործվել են 0.1...0.5 գ զանգվածով փորձանմուշներ, որոնք քայքայվել են աղաթթվի, ազոտական և ծծմբական թթվի տաք լուծույթներով շուրջ մեկ ժամվա ընթացքում: Նշված փորձերում օգտագործված նյութերի տվյալները և արդյունքները բերված են համապատասխանաբար աղ. 4.13 և 4.14-ում:

Աղյուսակ 4.13

Փորձերի արգասիքների և տարրալուծման համար գործածված քիմիական թթուների տվյալները

Փ. Փ. ը/հ	Ելանյութերը		Քիմիական թթուների տեսակը և կոնցենտրացիան
	տեսակը	զանգվածը, գ	
1	Մետաղ	3,0	HCl
	Խառամ	5,0	HCl
2	Այրուք	10,0	HNO ₃ հետո HCl
3	Մետաղ	0,5	HCl – ի 1:1 լուծույթ
4	Մետաղ	1,0	H ₂ SO ₄ – ի 1:1 լուծույթ
5	Մետաղ	1,0	HNO ₃ – ի 1:1 լուծույթ
6	Մետաղ	1,5	HCl – ի 1:1 լուծույթ
		1,0	HNO ₃ – ի 1:1 լուծույթ
7	Մետաղ	1,0	HCl – ի 1:1 լուծույթ
		1,0	H ₂ SO ₄ – ի 1:1 լուծույթ

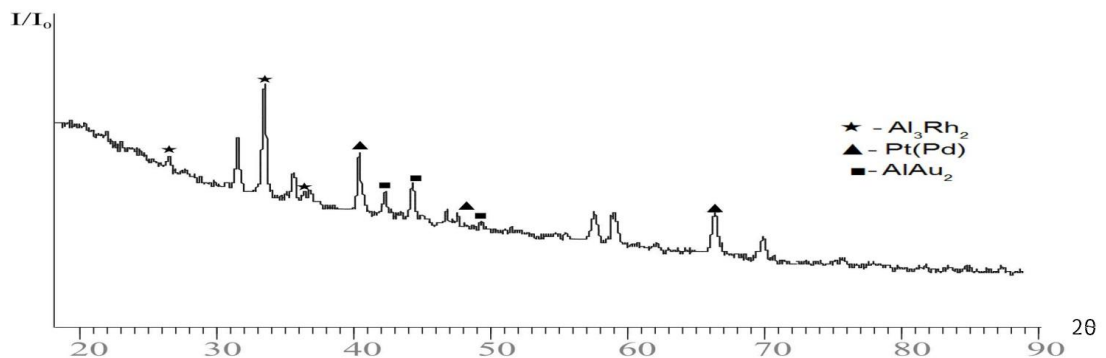
Աղյուսակ 4.14

Ալյումինաթերմային վերականգնման արգասիքների թթուներով տարրալուծման արդյունքները

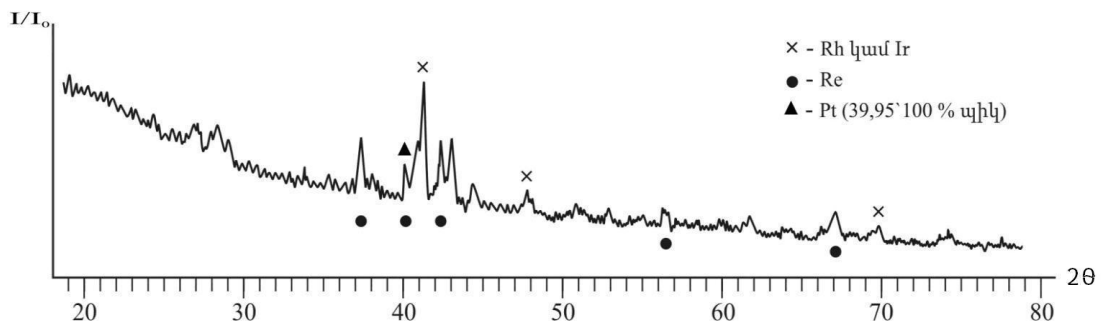
Փորձ .	Թթվային տարրալուծումներում օգտագործված ելանյութերը	Թթվով մշակված կամ ազնիվ մետաղ պարունակող արգասիք
--------	--	--

№	տեսակը	զանգվածը, գ	զանգվածը, գ	կգ/տ
1	Մետաղ	3,0	0,15	6,0
	Խարամ	5,0	0,4	64,0
2	Այրուք	10,0	0,4	32,0
3	Մետաղ	0,5	0,23	60,0
4	Մետաղ	1,0	0,25	75,0
5	Մետաղ	1,0	0,16	47,0
6	Մետաղ	1,5	0,85	170,0
		1,0	0,13	34,5
7	Մետաղ	1,0	0,6	190,0
		1,0	0,5	176,0

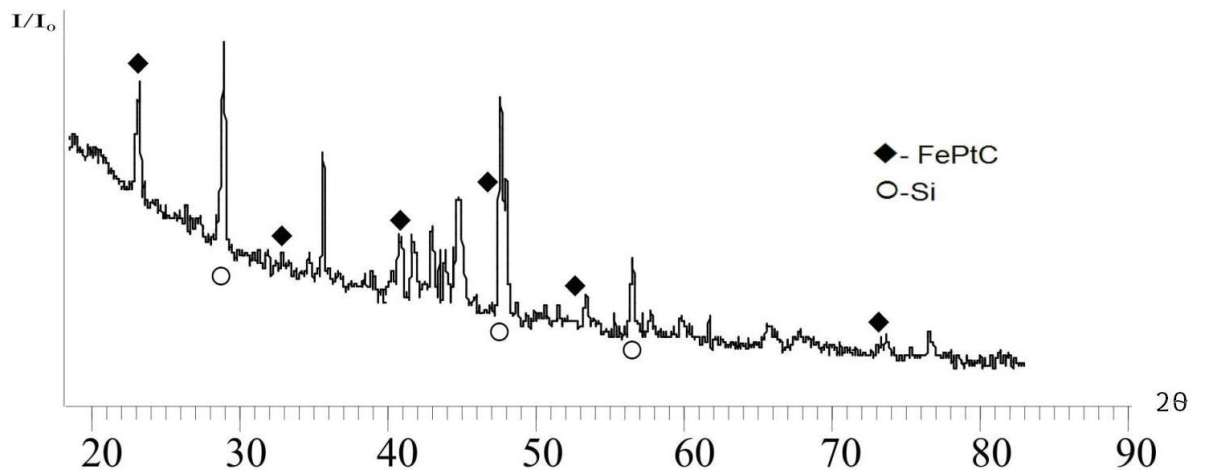
Այնուամենայնիվ վերականգնման փորձերից ստացված արգասիքները ենթարկվել են ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության: Այդ վերլուծություններում ստացված ռենտգենագրերը բերված են նկ. 4.14 - 4.19-ում:



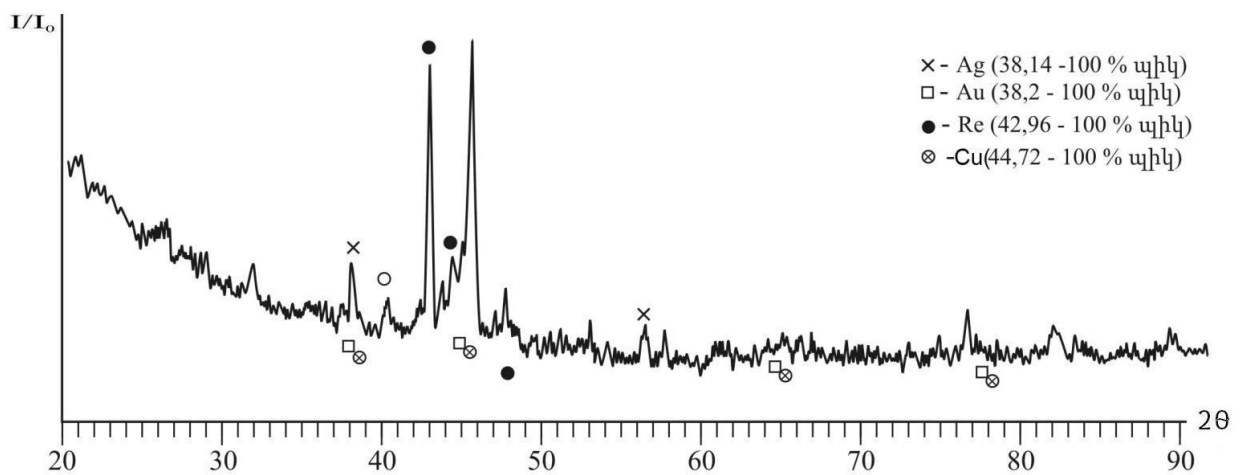
Նկ. 4.14. Ազնիվ մետաղների պարունակող արգասիք՝ ★- Al_3Rh_2 (33,31-100%), ▲ - Pt(Pd) (40,17-100%), ■ - AlAu_2 (36,83-100%), AlAu_2 (41,64-100%)



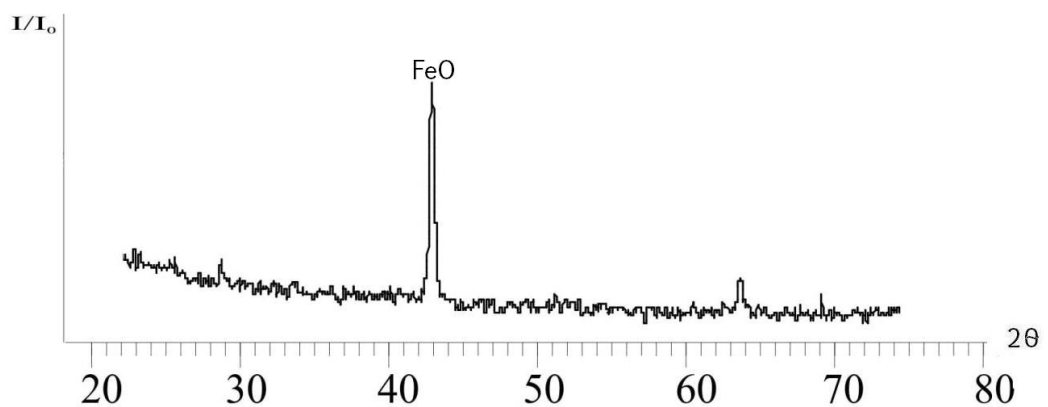
Նկ. 4.15. Ազնիվ մետաղ պարունակող արգասիք՝ × – Rh (41,00-100%) կամ Ir (40,62-100%), ▲ - Pt (39,95-100%), ● - Re (42,82-100%)



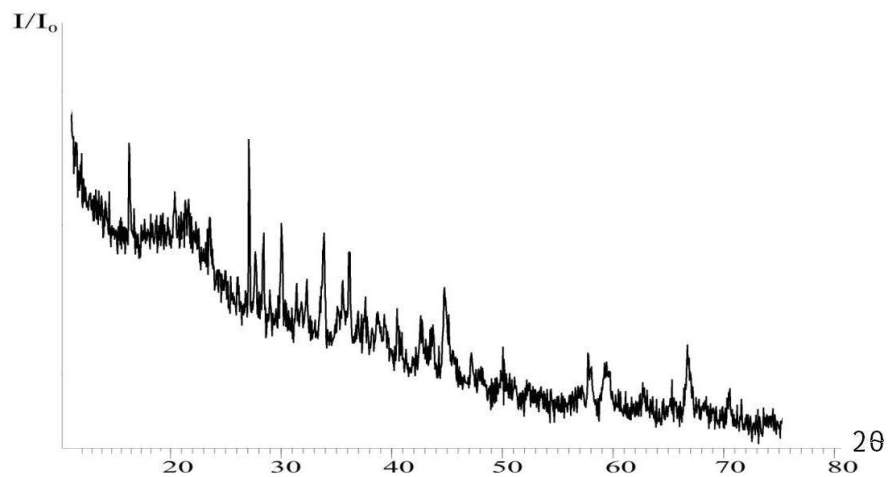
Նկ . 4.16. Ազնիվ մետաղ պարունակող արգասիք՝ Si- օ (28,54-100%), FePtC -
♦ (22,95, 40,78, 46,78, 68,60 և 73,18-100%)



Նկ . 4.17 Ազնիվ մետաղ պարունակող արգասիք՝ ● - Re (37,28, 40,14, 42,78-100%),
□-Au, x – Ag, ⊗ - Cu



Նկ . 4.18. Աղաթթվի լուծույթով մշակված մետաղական արգասիք՝ FeO -
(41,96 - 100%)



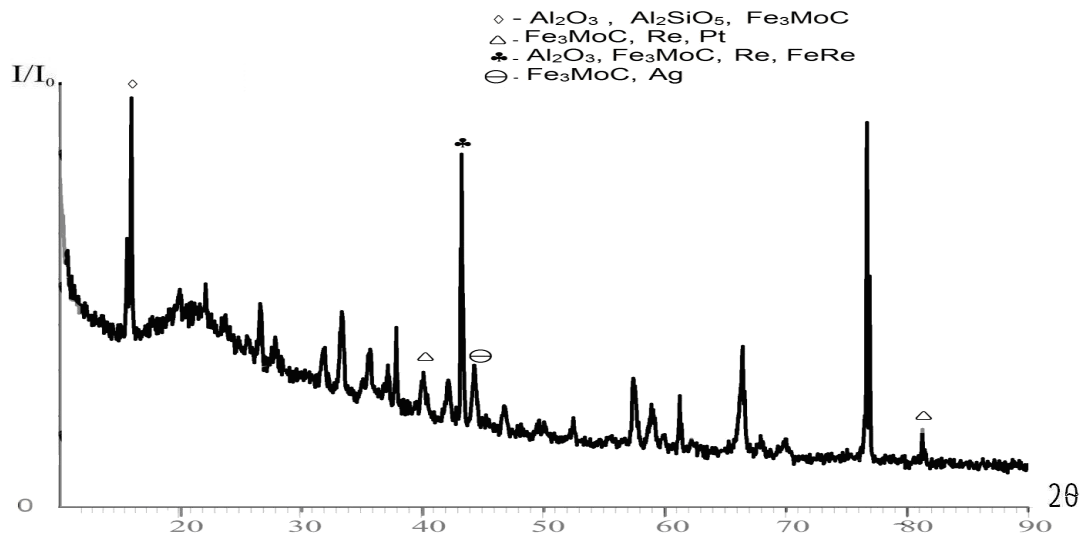
Նկ. 4.19. Խառամայի նարգասիք ($\text{Al}_2\text{SiO}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Al_2O_3 , SiC , Fe_3C , C)

Բերված ռենտգենագրերի և մանրադիտակային շնչումների տվյալների քննարկումներից կարելի է եզրակացնել, որ փորձ №1-ի խառամում Pt-ի առկայությունը բացառված չէ։ Այս հարցի վերջնական լուծման նպատակով ՌՖՎ - ում օգտագործվել է 5 գ խառամի ջրով լվացմամբ և խիտ աղաթթվով տարրալուծմամբ մետաղների պարունակությունը խտացված 0,4 գ արգասիքը (նկ. 4. 20)։



Նկ. 4.20. Աղաթթվով տարրալուծմամբ՝ ազնիվ մետաղների պարունակող խառամի մակրոկառուցվածքը ($\times 100$)

Վերջին նկարում ներկայացված արգասիքի ռենտգենագիրը բերված է Նկ. 4.21-ում։



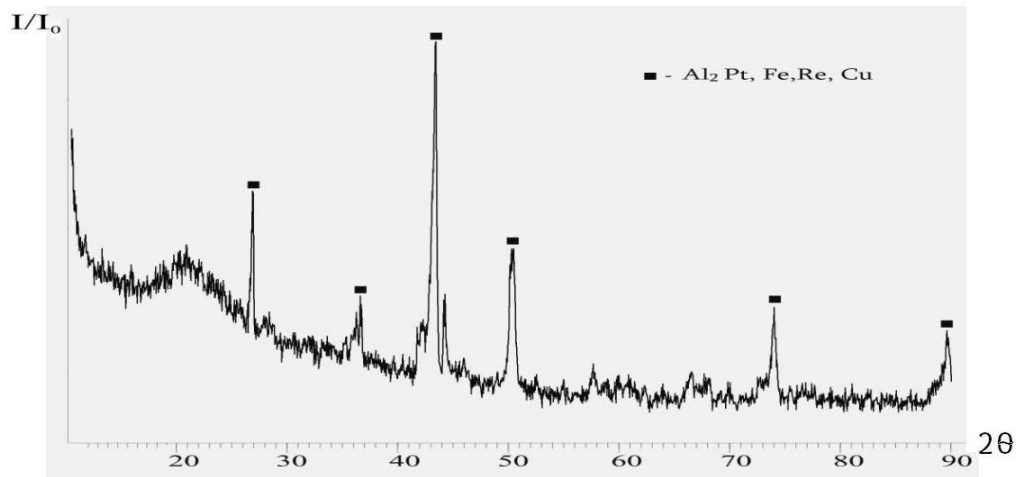
Նկ. 4. 21. Ջրով լվացված և աղաթթվով տարրալուծված խարամ (Δ - Fe_3MoC , Re , Pt , $\clubsuit$ - Al_2O_3 , Fe_3MoC , Re , FeRe – 100%, $\ominus$ - Fe_3MoC , Ag և այլն)

Ինչպես նկատում ենք փորձ №1-ի հարստացված խարամում Ag -ը, Pt -ը, Re և Mo մետաղները հանդես են գալիս սիլիկատի և կորունդի հետմիասին:

Այնուամենայնիվ Fe_3MoC գործընթացը ոչ բուն ընթանալու հետևանքում փորձ №2-ում գոյացել է 19,6 գ մանրագնդավածի տեսքով այրուք, որում առկա են մետաղական արծաթի փայլով բազմաթիվ մասնիկներ: Այրուքի 10 գ փորձանմուշում պարունակվող մետաղները խտացվել են ինչպես նախորդ փորձում՝ արդյունքում ստացված արգասիքի կշիռը 0,4 գ է: Վերջինիս տեսքը պատկերված է Նկ. 4.22-ում, իսկ ռենտգենագիրը Նկ. 4.23-ում:



Նկ. 4.22. 0,4 գ գնդավածով հարստացված այրուքի մակրոկառուցվածքը
($\times 100$)



Նկ . 4.23. Հարստացված ալրոնք ■ (Al_2Pt , Fe, Re, Cu՝ 20...43,249-100%, Al_2Pt , Al_2Au ՝ 20...26,02-20 % , Al_2Au , Cu՝ 20...50,4-37,0%, FeRe՝ 20...35-36,499, 15,6 %)

Մետաղաթերմային վերականգնման փորձերում ստացված մետաղական ելքերի՝ թթուներով տարրալուծման արդյունքում բացահայտված ազնիվ մետաղների տարրերի կամ միացությունների տվյալները բերված են աղ. 4.15-ում:

Աղյուսակ 4.15

Ածխածնային խտանյութերի ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացում կորզված ազնիվ մետաղները կամ դրանց միացությունները

Փ.Փ. ը/հ	Ֆազերի կառուցվածքը	Գրականություն կամ ASTM
1	Pt, Pd, AlAu_2 , Al_3Rh_2 , FePd	4 - 802, 5 - 681, 26 - 1006, 22 - 13, 2 - 1440
2	AlAu_2 , Au, Pt, Rh, FePt	26 - 1006, 4 - 784, 4 - 802, 5 - 685, 26 - 1139
3	Pt, Rh կամ Ir	4 - 802, 5 - 685, 6 - 598
4	Pt, Pd, FePtC	4 - 802, 5 - 681, 26 - 793
5	Ag, Au	4 - 783, 4 - 784, 2-1440
6	FePtC(FePt, FePd)	26 - 793, 26 - 1139
7	-	-

Աղ. 4.15-ից հետևում է, որ ածխածնային հանքանյութերը պարունակում են տարբեր ազնիվ մետաղներ և դրանց՝ օրինակ Au, Ag,

Pt մետաղների պարունակություններին վերաբերող տվյալները որոշակիացման պահանջ ունեն: Այդ նպատակով հետազառնությունասիրություններում որպես էլանյութեր գործածվել են № 2, № 4, № 5 և № 6 փորձերի համապատասխանաբար՝ 10, 4, 3 և 2 գ մետաղական արգասիքները: Երկրորդ փորձում գոյացած այրուքի՝ 10 գ փորձանմուշի քիմիական եղանակով վերլուծությունից ստացված AgCl – ը կազմում է 0,16 մգ, որում մետաղական Ag – ը կազմում է 0,12 մգ: Հաշվարկից ստացված տվյալի համաձայն էլանյութ հանքանյութից հինգ անգամ հարուստ արգասիքներից կորզված Ag-ի պարունակությունը կազմում է 9,4 գ/տ, իսկ նույն լուծույթի ամոնիումի հիդրօքսիդով մշակման և աղաթթվով վերականգնման արդյունքում գոյացած պալլադիումինը նկատվում է դեղին գույնի հետքերի տեսքով: 12,5 գ ածխածնային հումքից ստացված № 5 փորձի 3 գ մետաղական արգասիքում Au-ը կազմում է 0,01 մգ (0,90 գ/տ), իսկ Ag-ը 0,12 մգ (9,6 գ/տ) (հալումները կատարվել են ինդուկցիոն վառարանում՝ 1150 °C, մոտ 1 ժ):

ՊԽՄ պարունակությունների մասին կողմնորոշիչ տվյալներ ստանալու նպատակով վերջին ռուսումնասիրությունում էլանյութը № 4 և № 6 փորձերի մետաղական մասի՝ ազոտական թթվի նոսր լուծույթով միասնաբար մշակումից ստացված 1,42 գ պինդ նստվածքն է: Վերջինս հալվել է (մոտ 1170 °C-ում, 1 ժ ընթացքում) գլյուտի, տեխնիկական սոդայի, բուրայի և 20 մգ AgCl-ի հետ, որից հետո գոյացած վերկբլեյը այնուհետև կուպելացվել է շուրջ 950 °C-ում: Արդյունքում գոյացել է արծաթի հիմքով ազնիվ մետաղ, ինչի հետագա տարրալուծման նպատակով օգտագործվել է HNO₃ – ի 1:1 հարաբերության լուծույթ: Դրանից հետո արծաթը անցնում է լուծույթի մեջ, իսկ մնացած՝ 0,13 մգ նստվածքին համապատասխանում է Au+ՊԽՄ-ի 3,3 գ/տ պարունակությունները: Մոտավոր հաշվարկը ցույց է տալիս, որ վերջում նշված արգասիքում առկա ՊԽՄ միացյալ պարունակությունը կազմում է մոտ 1,50 գ/տ: Հաշվարկների արդյունքների ամփոփումից հետևում է, որ ածխածնային հանքանյութերի՝ մետաղների պարունակությամբ 5-10 անգամ հարուստ արգասիքների (կազմում է էլանյութ հանքանյութի 10-20

կշռ. %-ը) ալյումինաթերմայի և դրանից գոյացած մետաղի թթուներով տարրալուծման միջոցով կորզված ազնիվ մետաղների միջին քանակություները կազմում են՝ Ag...9,5, Au... 1,9, իսկ ՊԽՄ-ը՝ 1,5 գ/տ:

4.3.4. Ալյումինաթերմային եղանակով ազնիվ մետաղների կորզման տեխնոլոգիական սխեմայի մշակումը

Ածխածնային հանքանյութերում առկա ազնիվ մետաղների կորզման ալյումինաթերմային եղանակի փորձարկումների արդյունքում ստացվել են դրական արդյունքներ: Հարկ է նշել, որ այս եղանակի դեպքում վերականգնված մետաղական ֆազ են անցնում ոչ միայն Au-ը, Ag-ը, այլ նաև ալատինի խմբի և հազվագյուտ այլ մետաղներ: Ըստ որում վերջիններս հավաքվում են երկաթի մեջ, առաջացնելով համալցված (Pt, Fe կամ պղիքսեն) միացություներ, որոնց տարբերակումն ըստ ՌՖՎ արդյունքների երբեմն անհնար է լինում, քանի որ Pt-ի և Pd-ի երկաթային միացություներն ըստ ֆազային տվյալների նման են ռենիումի համապատասխան միացություներին, Pt, Pd և Rh տարրերն իրենց հերթին քիչ են տարբերվում դժվարահալ ալատինային մետաղների պինդ լուծույթներից և այլն: Այստեղից կարելի է եզրակացնել, որ Հայաստանի ածխածնային հանքանյութերը պարունակում են տարբեր ՊԽՄ, որոնք հանդես են գալիս երկաթի հետ սերտաճած վիճակում: Հիմք ընդունելով այն փաստը, որ ածխածնային հանքանյութերում առկա են նաև հազվագյուտ Re և Mo մետաղներ, հնարավոր է ենթադրել, որ նշված ելանյութերում ՊԽՄ-ը հանդես են գալիս Fe (ՊԽՄ+Mo+Re) բարդ միացության տեսքով:

Ըստ աղ. 4-12-ում բերված տվյալների ածխածնային հանքանյութերի ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացում առավել արդյունավետը № 4, № 5, № 6 և № 7 փորձերն են: Նշված փորձերում որպես հումք օգտագործված անգվածով 12,5...15,0 գ հանքանյութում պարունակվող մետաղների վերականգնման ԲԻՍ գործընթացի համար պահանջվող Al-ի և Mg-ի քանակը կազմում է մոտ 9,0 գ, ինչը համապատասխանում է բովախառնուրդի 61%-ին: Պատճառը վերականգնիչների միմասը որպես կուտակիչի օգտագործելն է: Դա երևում է №2 և №6 փորձերի

տվյալներից, որոնցում օգտագործված մետաղական կուտակիչները կազմում են հանքանյութ ելանյութի 24...40% - ը, այսինքն այս դեպքում ԲԻՍ գործընթացում օգտագործվող Al-ի քանակը կրճատվում է 30% - ով: Եթե հաշվի առնենք, որ հումքում առկա է վերականգնիչ ածխածին, Al-ի քանակը կկրճատվի ևս 5...10% - ով: Արդյունքում ստացվում է, որ ազնիվ մետաղների կուտակիչների առկայությամբ (կազմում է ելանյութ հանքանյութի 20...25% - ը) ալյումինաթերմային գործընթացներում օգտագործվող մետաղական վերականգնիչների օպտիմալ արժեքը կազմում է ելանյութ հանքանյութի 35...40 % - ը (որը և համընկնում է արտադրական տվյալների հետ):

Ածխածնային հանքանյութերի ալյումինաթերմային վերականգնման փորձերում կիրառվել են նաև Fe_2O_3 , CuO և CuS տեսակների ազնիվ մետաղների կուտակիչներ: Բացառությամբ CuS կազմում №3 փորձը, որտեղ չեն օգտագործվել նշված կուտակիչները: №3 փորձի արդյունքները բավականաչափ հետաքրքիր են՝ քանի որ այստեղ գոյացած մետաղի աղաթթվային տարրալուծումների արդյունքում բացահայտել են նաև Pt, Rh, Re մետաղները: Կարելի է ենթադրել, որ այս փորձում գոյանում է ազնիվ մետաղների Fe-Al տեսակի կուտակիչ համաձուլվածք, ինչը հեշտությամբ էլուծվում աղաթթվում:

№1 և №7 փորձերում՝ հարստացված ածխածնային հանքանյութերի ալյումինաթերմային վերականգնման արդյունքում նույնպես գոյանում են երկաթի հիմքով համաձուլվածքներ, որոնցում կուտակված ազնիվ մետաղները բացահայտվել են աղաթթվով տարրալուծելիս: Վերջինիս արդյունքները միանշանակ չեն՝ եթե փորձ №1-ում ազնիվ մետաղները բացահայտվում են FePt , FeRe , Rh_2Al_3 , AlAu_2 միացությունների ձևով, ապա փորձ №7-ում գոյացած երկաթի հիմքով արգասիքներում ազնիվ մետաղներ չեն հայտնաբերվում:

Մնացած՝ № 2, № 4, № 6 և №5 փորձերում գոյացած պղնձի հիմքով մետաղների աղաթթվով տարրալուծումները ևս քիչ արդյունավետ են, ինչից ելնելով նույն նպատակի համար հետագայում օգտագործվել

են համեմատաբար արդյունավետ՝ ազոտական թթվի լուծույթներ: Այս դեպքում № 4 և № 6 փորձերի արդյունքներում ալատինը բացահայտվում է երկաթի՝ FePt, FePtC միացությունների տեսքով, իսկ № 2 և №5 փորձերի արգասիքներում՝ բացի ալատինի տարրերից և դրանց միացություններից առկա են նաև ոսկին և արծաթը:

Դժվար չէ նկատել, որ ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացներից գոյացած մետաղական զանգվածում ազնիվ մետաղների բացահայտման թթվային տարրալուծումները միանշանակ արդյունքների չեն հանգեցնում: Դեռ ավելին՝ փորձերում գոյացած մետաղական և խարամային արգասիքներում առկա ազնիվ մետաղների բացահայտումը հնարավոր է լինում իրականացնել այդ արգասիքները տարբեր քիմիական թթուներով երկարատև՝ երբեմն նաև կրկնակի անգամներ մշակումների արդյունքում: Դրանց պատճառները ըստ էության բազմազան են և հիմնականում կապված են ազնիվ մետաղ պարունակող միացությունների քիմիական հատկությունների վրա: Ցածր արդյունավետությամբ են օժտված երկաթի կուտակիչ օգտագործող փորձերի արդյունքները:

Ալյումինաթերմային գործընթացների արդյունավետությունը ավելանում է պղնձի (փորձ №6) և ալյումինի (փորձ №3) հիմքով կուտակիչներ օգտագործելիս՝ դրանցում գոյացած պղնձի և ալյումինի երկաթային համաձուլվածքների մշակման՝ մասնավորապես ազոտական թթվով տարրալուծումներն ավելի հեշտ են ընթանում:

Փորձերի արդյունքների ամփոփումներից հետևում է, որ ածխածնային հանքանյութերում առկա ազնիվ մետաղների կորզման լավագույն միջոցը ալյումինաթերմային գործընթացներում պղնձի կուտակիչի օգտագործումն է, քանի որ այն բերում է կորզվող մետաղների քանակի ավելացմանը: Նշված փորձերի արդյունքների ամփոփումը ցույց է տալիս, որ 1 տ հանքանյութից հարստացված՝ 200 կգ արգասիքի (կազմում է ելանյութ հանքանյութի 20 զանգ.%-ը) ազոտական թթվի լուծույթով կորզված մետաղի զանգվածը կազմում է մոտ 40 կգ, որտեղ Au-ը կազմում 1,9 գ/տ, իսկ ՊԽՄ-ի ընդհանուր

պարունակությունը (Pt,Rh) 1,7 գ/տ է: Լուծույթ անցած Ag-ի պարունակությունը 9,5 գ/տ է:

Համաձայն ստացվող տվյալների նշված գործընթացներում գոյանում են պղինձ երկաթային համառուլվածքներ, որոնց կազմում առկա ազնիվ մետաղների արդյունավետ կորզումը հնարավոր է աղաթթվային և ազոտաթթվային տարալուծումները համադրելու ճանապարհով:

Համաձայն հետազոտության տվյալների հումքում առկա ածխածինը նպաստում է բովախառնուրդի ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացին որպես լրացուցիչ ջերմություն: Տարրական ածխածինը, ինչպես նաև վերջինիս այրումից գոյացող գազերը մասնակցում են նաև հումքում առկա մետաղական և այլ օքսիդների վերականգնմանը, ինչի արդյունքում հնարավորություն է ստեղծվում կրճատել մետաղաթերմային գործընթացում օգտագործվող մետաղական վերականգնիչների ծախսը: Հարկ է ավելացնել նաև, որ շնորհիվ ածխածնի առկայության, ալյումինաթերմային գործընթացների արդյունքում գոյացած խարամներում առաջանում են զանազան մետաղական կարբիդային միացություններ, որոնք կարող են կիրառություն գտնել ինչպես ջերմակայուն և հաղորդիչ կերամիկական, այնպես էլ պրագիվ նյութերի պատրաստման գործում:

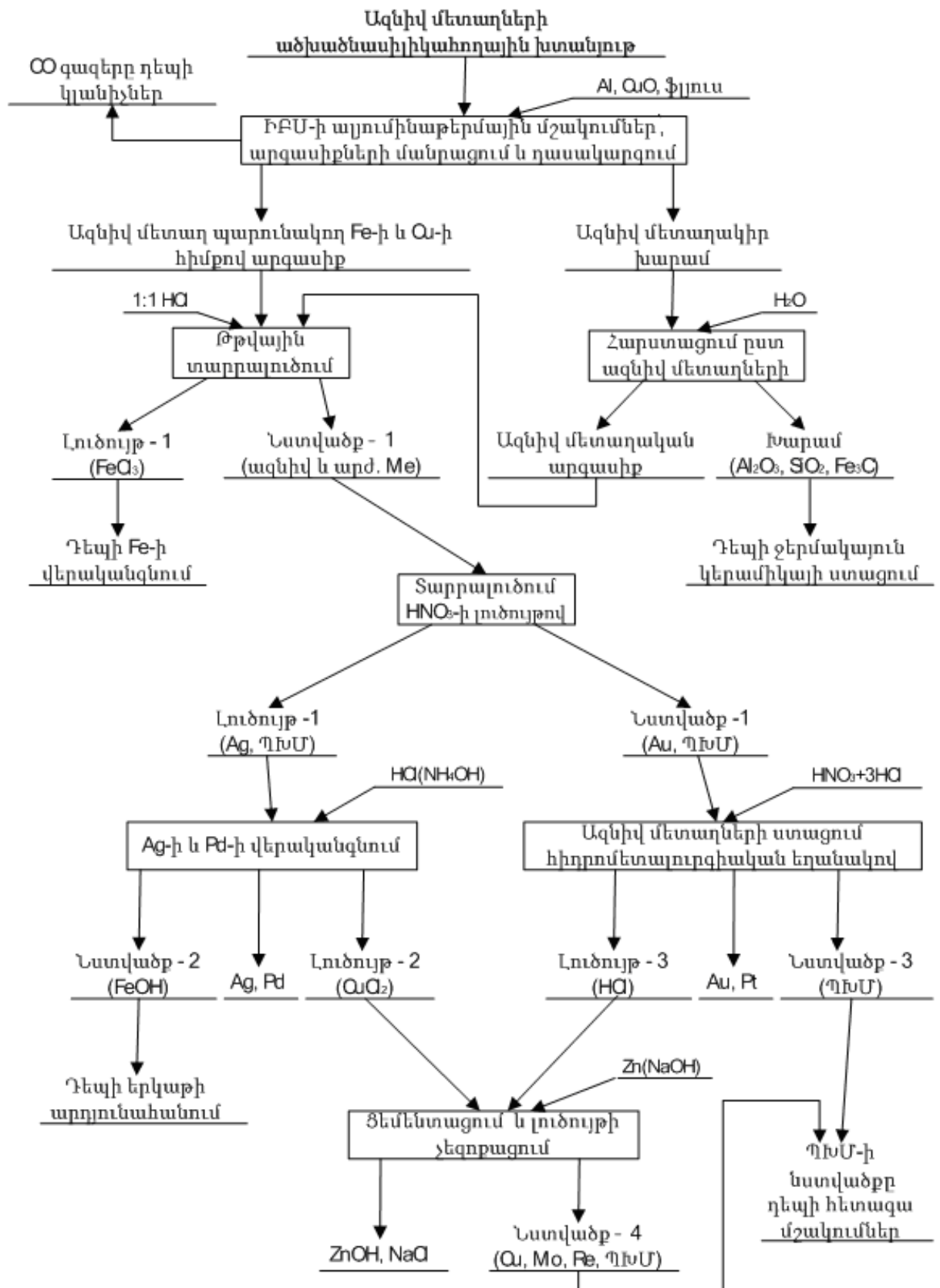
Այս փորձերի արդյունքում ստացվող խարամներում զգալի քանակ է կազմում տարրական ածխածինը, ինչից հետևում է բովախառնուրդի կազմում այդ նյութի քանակը պակասացնելու անհրաժեշտությունը: Համաձայն նախնական հաշվարկների ալյումինաթերմային գործընթացներում գործվող հումքում ածխածինը պետք է կազմի շուրջ 10 զանգվ.%:

Այսպիսով, մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի և խտանյութերի մշակման ալյումինաթերմային եղանակը հանդիսանում է ազնիվ և ալատիսի խմբի մետաղների կորզման ամենաարդյունավետ միջոցը: Այդ եղանակի փորձարկումները ցուց են տալիս որ հարստացված ածխածնային հանքանյութերի առկա Au, Ag և Pt,Pd մետաղների հիմնական մասը հավաքվում է ալյումինաթերմային գործընթացների արդյունքում գոյացած

մետաղական արգասիքների կազմի մեջ: Ազոտական թթվի լուծույթներով տարալուծումներից հետո մետաղական արգասիքներում առկա Au, Pt և վերջինիս ուղեկից Rh մնում են պինդ նստվածքներում, իսկ Ag-ը և Pd-ի հիմնական մասը տեղափոխվում են լուծույթ: Համաձայն ստացված տվյալների, փորձերում գոյացած մետաղներում առկա են նաև Re և Mo տեսակների հազվագյուտ մետաղներ, ինչը տնտեսական նկատառումներով ակնհայտ դրական երևույթ է: Այնուամենայնիվ վերականգնման փորձերի արգասիքներում չեն բացառվում նաև այլ արժեքավոր մետաղների առկայությունը՝ որի ապացույցը թթվով տարալուծված արգասիքի ռենգենագրերում չբացահայտված պիկերի առկայությունն է:

Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերի և խտանյութերի մշակման ալյումինաթերմային եղանակն ունի նաև թերուծյուն՝ բարձր ջերմաստիճանների արդյունքում կարող են լինել կորուստներ, կապված որոշ մետաղների հեշտ գոլորշիացման հետ:

Հիմնվելով փորձերում ստացված տվյալների վրա մշակվել է ազնիվ մետաղներ պարունակող ածխածնային ելանյութերի մշակման համակցված ալյումինաթերմափորձմետալուրգիական տեխնոլոգիա, որի սխեման ներկայացված է նկ.4.24 - ում:



Նկ. 4.24. Ածխածնասիլիկահողային խտանյութերի ազնիվ մետաղների կորզման ալյումինաթերմահիդրոմետալուրգիական եղանակով մշակման տեխնոլոգիական սխեման

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

1. 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:
2. Մշակվել է ածխածնային ելանյութերում առկա ազնիվ մետաղների կորզման պիրոմետալուրգիական եղանակ, համաձայն որի սկզբում կիրառվել է կապարի կուտակիչով և \$L\$ յուսներով 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 այն ի հնարավորություն է ընձեռնում կորզել նշված ազնիվ մետաղների հումքի պարունակությունների մոտ 97%-ը:
3. 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/տալ ատինային մետաղներ:

4. Մշակվել է հալքանոթային հալման տեխնոլոգիա պղնձի հիմքով բազմամետաղային կուտակիչի օգտագործմամբ, համաձայն որի գոյացած մետաղական միացություններից ազնիվ մետաղները կորզվել են թթուներով տարալուծելու 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:
5. Մշակվել է լաբորատոր պայմաններում սինթեզված ածխածնային խտանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման ալյուրմինաթերմային եղանակ՝ ԲԻՍ գործընթաց, որն ընթանում է 2000...2500°C ջերմաստիճանային միջակայքում՝ ազնիվ մետաղների Fe₂O₃, CuO, CuS կուտակիչների և NaNO₃ ու CaO ֆլյուսների առկայությամբ: Ցույց է տրվել, որ հալման արգասիքներում առկա ազնիվ մետաղները կորզելու համար պետք է կատարել թթուներով տարալուծման գործընթաց: Բացահայտվել է, որ այս եղանակով կորզվում են ոչ միայն ազնիվ մետաղները, 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:

5. ԱՃԻԱՃՆԱՅԻՆ ԻՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻՑ ԱՉՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՏԵԽՆԻԿԱՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱԿՈՐՈՒՄԸ

5.1. Արտադրական ծավալների հիմնավորումը և պիրոմետալ ու ռգիական գործընթացին անհրաժեշտ հալ ման վառարանի ընտրությունը

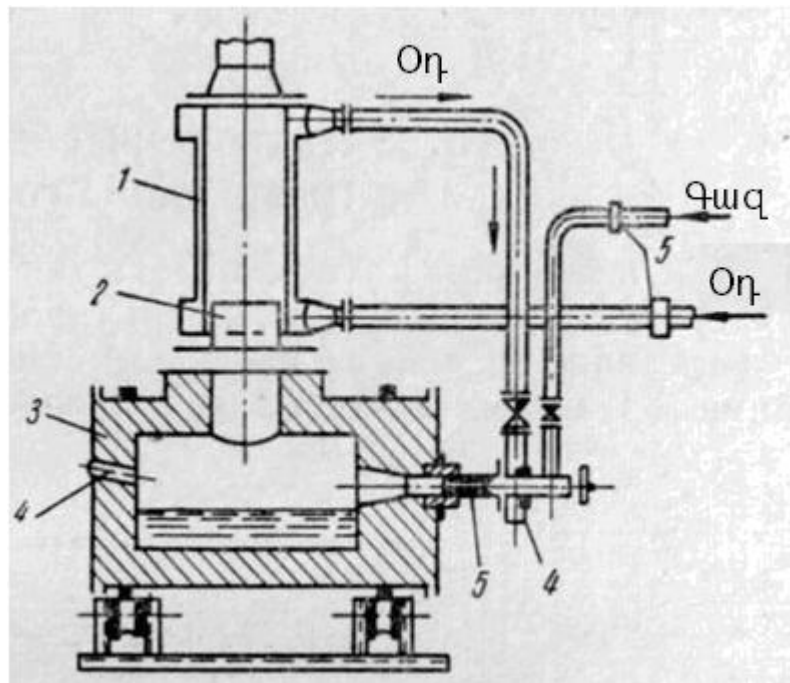
Համաձայն [19] աշխատանքում բերված երկրաբանական տվյալների, Նոր Արևիկ հանքավայրի պաշարները կազմում են մոտ 20 միլիոն տոննա: Նշված ածխածնային հանածոների հարստացման և դրա արդյունքում ստացված ազնիվ մետաղների խտանյութերի մշակման՝ պիրո-հիդրոմետալ ու ռգիական գործընթացների արգասիքներում բացի ազնիվ մետաղներից գոյանում են մետաղական ալյումինի և երկաթի ստացման հումքեր, տեխնիկական ածուխ և կոքսային գազ: Դրանցում ստացվող արգասիքների և ակնկալվող գումարային արժեքների վերաբերյալ տվյալները բերված են աղ. 5.1-ում:

Աղյուսակ 5.1

Նոր Արևիկի 20 միլիոն տոննա ածխածնային հանածոների
նախապատրաստման նպատակով մշակումներից ստացվող ազնիվ
մետաղների և ածուխների ծավալներն ու դրանց գումարային
արժեքները

Մշակվող հումքը և ակնկալվող արտադրանքը	Չափման միավորը	Քանակը	Արժեքն ըստ չափի միավորի, միլիոն դրամ	Գումարը, միլիոն դրամ
Վերամշակվող հումքը՝ ածխածնային հանքանյութ (Au - 0,4, Ag - 1,8, ՊԽՄ - 0,3 գ/տ, տեխնիկական ածուխ - 35%) Ընդամենը	մլն. տ մլն. տ	20,0 20,0	0,005 0,005	0,10 0,10
Ապրանքային արտադրանքներ՝ Au Ag ՊԽՄ տեխնիկական ածուխ ալյումին երկաթ Ընդամենը	տ տ տ մլն. տ հազ. տ հազ. տ -	8,0 36,0 6,0 7,0 800,0 800,0 -	19146,0 277,0 15212,0 20000,0 - - -	153168,0 9972,0 91272,0 140000,0 - - 394412,0

Ազնիվ մետաղների կորզման պիրոմետալուրգիական տեխնոլոգիայում նախատեսվում է օգտագործել գունավոր մետաղների մետալուրգիայում լայնորեն օգտագործվող հալման կրակաբոցային վառարանները: Համաձայն ստացվող տվյալների, այս վառարաններն աշխատում են գազերի, գազի և մազութի խառնուրդի, ինչպես նաև ածուխների մանրագնդավածի այրումից գոյացող ջերմության հաշվին և այդ առումով սկզբունքորեն նման են արտադրությունում երկաթի հալման համար օգտագործվող Դոմենյան վառարաններին: Տեխնիկայում այդպիսի վառարաններին անվանում են արտացոլիչ, ինչը պայմանավորված է դրանցում ընթացող ջերմափոխանակության բնույթով: Նշված վառարանի կառուցվածքը բերված է նկ. 5.1-ում:



Նկ. 5.1. Գազաբոցային վառարանի կառուցվածքը՝ 1- վերամբարձ սարք, 2 – վառարանի շարժական փական, 3 – վառարանի ջերմակայուն պատյան, 4 – դիտապատուհան, 5 – գազային բոցայրիչ

Վառելանյութերի այրման ջերմաստիճանը բարձրացնելու նպատակով այրման տարածք է մղվում թթվածնով հարստացված օդ: Մեծ մասամբ վառելանյութի մատակարարումն իրականացվում է վառարանի կողային մասերով, իսկ որոշ սարքերում նշված միջոցով ջերմամատակարարումը համալրված է առաստաղային ջեռուցիչով: Այս նպատակով սովորաբար օգտագործվում են գազի և մազութի

խառնուրդով այրվող տաքացուցիչներ, որոնցում ծախսվող բնական գազը կազմում է 1100-1600 մ³/ժ, իսկ մագուղը՝ մինչև 300 կգ/ժ:

Մանրագնացված ածուխի այրման դեպքում վառարանի վրա տեղադրվում են 4...6 բոցարիչներ: Ըստ առկա տվյալների արտադրությունում կիրառվում են «խողովակը խողովակի մեջ» տեսակի ածխային տաքացուցիչներ, որոնցում՝ օդի ծախսի 1,1...1,2 գործակիցների պահպանումը ապահովվում է պինդ վառելանյութի ամբողջությամբ այրումը: Ջերմության կորուստները կանխելու նպատակով արտացոլիչ վառարանների առաստաղին տեղակայվում են բնական գազով և օդով աշխատող տաքացուցիչներ [118]:

Արտացոլիչ վառարանի աշխատանքային տարածքը կազմված է ջերմակայուն աղյուսով պատված հատակից, պատերից և առաստաղից, որոնցում առկա են բովախառնուրդի բեռնման՝ ձաքարատեսք անցքեր և գազային արգասիքների բացթողման և այլ նպատակների ծառայող պատուհաններ: Բովախառնուրդի հալումը կատարվում է վառարանի աշխատանքային տարածքում, որտեղ ջերմաստիճանը հասնում է մինչև 1500°C: Հալման արդյունքում գոյացող շտեյնի բացթողումը իրականացվում է կերամիկական ներդիրներ ունեցող մետաղական խողովակների, իսկ խարամինը վառարանի կողային պատերի վրա տեղակայված պատուհանների միջով:

Հալման ընթացքում գոյացող գազերը և այրման արգասիքները հեռանում են հատուկ գազատարներով, որից հետո մտնում են կաթսաների մեջ: Հեռացող գազերի ջերմությունը օգտագործելու նպատակով գործում են ջրատար խողովակներ, որոնք պատված են ագրեսիվ գազերի նկատմամբ պաշտպանիչ էկրանով:

Արտացոլիչ վառարանների օրական արտադրողականությունը կազմում է շուրջ 1000 տոննա, որի արդյունքում կորզվում է հումքում պարունակվող մետաղների 96...98%-ը, իսկ թերությունը դրանցում օգտագործվող վառելանյութի բարձր տեսակարար ծախսն է, քանի որ 1 տոննա բովախառնուրդի հալմանը անհրաժեշտ կոքսացված ածուխը կազմում է 150...200 կգ:

5.2. Ածխածնային հանքային լճերի ազնիվ մետաղների և ածուխների հարստացման տեխնոլոգիայի տնտեսական հաշվեկշիռը

Գիտափորձնական հետազոտության ընթացքի արդյունքում ցույց է տրված, որ գրավիտացման եղանակով հարստացված արտադրական խտանյուն լճի մեկ տոննայի ստացման համար օգտագործվում է մոտ 30,0 տոննա հանքանյուն, որում ոսկին կազմում է մոտ 10,0, արծաթը՝ 50, իսկ ՊԽՄ-ը՝ 8,0 գ/տ: Բացի նշված ազնիվ մետաղներից հարստացման գործընթացում առանձնանում է մոտ 14,0 տ տեխնիկական ածուխ և ալյումինի ու երկաթի ստացման հոմք: Գրավիտացման եղանակով ստացված արտադրական խտանյուն լճի մեկ տոննայի ինքնարժեքը որոշելու համար անհաժեշտ է հաշվառել տեխնոլոգիայում օգտագործված հոմքի, օժանդակ նյութերի և էլեկտրաէներգիայի ծախսերը: Պահանջվող տվյալների որոշումը հնարավոր է միայն հարստացման գործընթացին անհրաժեշտ սարքավորումները ընտրելուց հետո: Այդ ուղղվածությամբ կատարված աշատանքների արդյունքները բերված են աղ. 5.2-ում:

Աղյուսակ 5.2

Գորշ և թերթաքարային ածուխների ազնիվ մետաղների հարստացման գործընթացները և դրանցում օգտագործվող սարքերը

Գործողության անվանումը և նպատակը	Գործածվող սարքերը տեսակները և տեխնիկական բնութագրերը
Ածուխի մանրացում (-2մմ)	Ճ 4 Դ տեսակի գլոցային ջարդիչ՝ արտադրողական ընդունված 30 տ/ժ, ջարդիչի հզորությունը 100 կվտ, մանրացման արգասիքների չափերը 0...3 մմ
Ածուխների և ծանր մետաղների առանձնացում	Հիդրոցիկլոն՝ արտադրողական ընդունված 2100 մ ³ /ժ, ջրի ճնշումը 4,5 կգ/սմ ²

Հիմնվելով աղ. 5.2-ի և այլ հայտնի տվյալների վրա այնուհետև որոշվել է մետաղակիր գորշ և թերթաքարային ածուխների հարստացման գործընթացում առկա ծախսերի հոդվածները և դրանց

համապատասխանող դրամական ծախսերը: Նշվածը սկզբում իրականացվել է մեկ տոննա խտանյութի ստացման գործընթացի համար, որին առնչվող տվյալները բերված են ստորև՝ աղ. 5.3-ում: Վերջում նշված աղյուսակում բերված տվյալների ամփոփումից հետևում է, որ մեկ տոննա խտանյութի մոտավոր ինքնարժեքը կազմում է մինչև 200,0 հազար դրամ:

Աղյուսակ 5.3

Մեկ տոննա խտանյութի ստացման գործընթացում օգտագործվող ածխածնային հանքանյութի, էլեկտրաէներգիայի և օժանդակ նյութերի դրամական ծախսերը

Ծախսի հոդվածները ըստ գործողությունների	Չափի միավորը	Քանակը	Արժեքն ըստ չափի միավորի, դրամ	Գումարը, հազար դրամ
Վերամշակվող հանքանյութ	S	30,0	5000	150,0
Մանրացումներ՝ էլեկտրաէներգիա	կվտ	40,0	40,0	1,6
Հարստացում՝ էլեկտրաէներգիա արտեզյան ջուր	կվտ տ	100,0 100	40,0 20,0	4,0 2,0
Ընդամենը	-	-	-	157,6

5.3. Մետաղակիր ածխածնային խտանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման հալ քանոթային հալ ման տեխնոլոգիայի տնտեսական հաշվեկշիռը

Խտանյութի հալ ման հալ քանոթային գործընթացի իրականացման համար ընտրվել է մինչև 400 տոննա տարողունակ բովախառնուրդի հալ ման վառարան (արժեքը 2,2245 միլիոն ռուսական ռուբլի կամ մոտ 17,8 միլիոն դրամ): Հաշվարկները կատարվել են 150 տոննա ելանյութ խտանյութի համար, քանի որ այդպիսի մոտեցումը բխում է հալ ման

համար օգտագործվող վառարանի արտադրողականությանը ունից, բացի դրանից նախատեսվում է մեկ օրում կատարել երկու հալման գործընթաց: Այս գործընթացում օգտագործվող հումքի, վառելիքի, քիմիական նյութերի տեսակները և քանակները, ինչպես նաև դրանց դրամական արժեքների վերաբերյալ տվյալները ներկայացված են աղ. 5.4-ում:

Պարզագույն հաշվարկը ցույց է տալիս, որ մոտ 10000 տ հանքանյութի գրավիտացման եղանակով հարստացումից ստացվող խտանյութի միջին քանակը կազմում է 300,0 տ, որից հետևում է, որ աղ. 5.4-ում բերված հալքանոթային հալման և դրանց արգասիքների թթուներով տարրալուծման գործընթացի գումարային ընդհանուր ծախսը կկազմի $157,7 \times 2 = 315,4$ միլիոն դրամ:

Աղյուսակ 5.4

150 տոննա արտադրական խտանյութերի հալքանոթային հալման ընթացքում օգտագործված հումքի, օժանդակ նյութերի և դրանց արգասիքների տարրալուծման գործընթացների դրամական ծախսերը

Ծախսի հոդվածները ըստ գործողության ունեցողի	Չափի միավորը	Քանակը	Արժեքն ըստ չափի միավորի, միլիոն դրամ	Գումարը, միլիոն դրամ
Հալվող խտանյութ	տ	150,0	0,16	24,0
Բովախառնուրդի հալում՝ բնական գազ	1000 մ ³	5000,0	0,1	0,5
Քիմիական նյութեր՝ տեխնիկական սոդա	տ	150,0	0,5	75,0
կերակրի աղ	տ	80,0	0,08	6,4
աղնձի օքսիդ	տ	20,0	2,0	40,0
արծաթի քլորիդ	կգ	30,0	0,25	7,5
թթուներ	տ	1,0	0,6	0,6
Այլ ծախսեր՝ էլեկտրաէներգիա	կվտ	5000,0	-	0,2
տեխնիկական ջուր	լիտր	5000,0	-	0,3
աջ խատավարձ	-	-	-	1,0
չհաշվարկված	-	-	-	2,2

Ընդամենը	-	-		157,7
----------	---	---	--	-------

Գործընթացի հետագա տնտեսական վերլուծությանը ունը հնարավոր է 10000 տաժաճնային հանքանյութերի հարստացման և ստացված 300տ խտանյութերի մշակման հիդրո-մետալուրգիական գործընթացների ընդհանուր ծախսերի և այդ գործընթացների արդյունքում ստացված արտադրական արգասիքների գումարային արժեքները համադրելու միջոցով: Այդ գործընթացում ստացված ազնիվ մետաղների և այլ արգասիքների դրամական արժեքների տվյալները բերված են աղ. 5.5-ում:

Աղյուսակ 5.5

10000 տոննա տաժաճնային հանքանյութերի հարստացումից ստացված 300 տ խտանյութերի պիրո-հիդրոմետալուրգիական եղանակով մշակումից ստացվող արգասիքները և դրամային արժեքները

Վերջնական արգասիքները	Չափի միավորը	Չափի միավորի արժեքը, միլիոն դրամ	Քանակը	Գումարը, միլիոն դրամ
Չալվող`				
խտանյութ	տ	0,100	300	-
ոսկի	կգ	19,146	3,0	57,44
արծաթ	կգ	0,28	15,0	4,20
ալյումինային Me -	կգ	15,212	2,4	36,51
ներ	տ	0,002	50,0	100,0
արհեստ	տ	0,2	300,0	60,0
ալյումին	տ	0,1	300,0	3,0
երկաթ	տ	0,03	3600,0	108,0
տեխնիկական	-	-	-	369,15
ածուխ				
Ընդամենը				

Ինչպես երևում է, 300 տոննա խտանյութի մշակումից ստացվող համախառն արտադրանքը կազմում է մոտ 369,0 միլիոն դրամ, որում ոսկու, արծաթի և ալյումինային մետաղների ընդհանուր գումարը կազմում է մոտ 98,0 միլիոն դրամ (կազմում է համախառն արտադրանքի մոտ 26,6% - ը): Աղ. 5.5-ի արդյունքների համադրումը դրան նախորդած աղյուսակի համապատասխան տվյալի հետ, ցույց է տալիս, որ վերը

նշված քանակներով և տեխնոլոգիայով ածխածնային ելանյութերը մշակելիս արտադրական հասույթի դրամական արժեքը կազմում է՝ $369,0 - 315,0 = 54,0$ միլիոն դրամ: Մյուս կողմից 20 միլիոն տոննա հանքանյութի գրավիտացման եղանակով հարստացումից ստացվում է մոտ 670000,0 տոննա խտանյութ, որի վերը նշված մոտեցումներով մշակումներում ստացվում է մոտ $670000/300 \times 54,0 = 120600$ միլիոն կամ մոտ 120,5 միլիարդ դրամ հասույթ:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

1. Կատարվել է մետաղակիր ածուխներից ազնիվ մետաղների ստացման հալքանոթային հալման տեխնոլոգիայի տեխնիկատնտեսական հաշվեկշռի հիմնավորում, համաձայն որի Նոր Արևիկի հանքայնութի 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 այնուհետև երկաթ պարունակող հումք, որը համապատասխանում է 440,0 միլիարդ դրամին և կազմում է համախառն արտադրանքի 54,0%-ը:

ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ ԵՎ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Գրականության վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված, որ ածխածնային հանքանյութերի վերամշակման հիդրոմետալուրգիական եղանակներն արդյունավետ չեն, քանի որ թթուներով տարալուծման ընթացքում ածխածինը հանդես է գալիս որպես մետաղների վերականգնիչ, որի արդյունքում հումքի ազնիվ մետաղները հայտնվում են պոչանքում: Նման բարդությանները նկատվում են նաև հանքանյութերի այրուքների թթվային տարալուծման 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 հիդրոմետալուրգիական 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 տարալուծելու միջոցներով:

2. Մետաղակիր ածխածնային հանքանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման նպատակով, որպես հումք ընտրվել է Հայաստանի Հանրապետության Նոր Արևիկի մետաղակիր գորշ և թերթաքարային աժուխները:

Ուսումնասիրվել է 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 պլատինային մետաղները 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 ֆստրբցման, հարգորոշիչ գրավիմետրական, ռենտգենաֆազային 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 սիլիկատիզացիան 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 և աբորատոր 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 տարալուծելու 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 այն ի հնարավորություն է ընձեռնում կորզել նշված ազնիվ մետաղների հումքի պարունակությունների մոտ 97%-ը:
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 տարալուծումից 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/տալ ատինային մետաղներ:
8. Մշակվել է հալքանոթային հալման տեխնոլոգիա պղնձի հիմքով բազմամետաղային կուտակիչի օգտագործմամբ, համաձայն որի գոյացած մետաղական միացություններից ազնիվ մետաղները կորզվել են թթուներով տարալուծելու 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 և աբորատոր պայմաններում սինթեզված ածխածնային խտանյութերից ազնիվ մետաղների կորզման ալյունմիսաթերմային

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 ազնիվ մետաղները, 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 հանքային զրավիտացման 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:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Барсуков Н.М.. Перспектива использования сланца и продуктов его переработки в металлургии // Цветные металлы. 2006, № 10. С. 34-37.
2. Кондырев Б.И., Недхам Мухаммед Дарси, Белов А.В., Ларионов М.В. Мировой топливно-энергетический баланс. Перспективы современных угольных технологий // Материалы первой междунар. науч. конф. «Проблемы освоения георесурсов Российского Дальнего Востока и стран АТР». - Владивосток, 2002.- С. 73-77.
3. Патент РФ 2342421. МПК С 10 В 53/06, С 10 В 49/00. Реактор для термического разложения твердых горючих ископаемых / В.Н. Илясов. - Оpubл. 27.03.2012.
4. Патент РФ 2423608. МПК Е 21 В 43/295. Способ газификации углеводородов для получения водорода и синтез – газа / И.Е. Владимирович, Л.Н. Василевич, В.П. Владимирович и др. - Оpubл. 10.07.2011.
5. Патент РФ 2388790. МПК С 10 В 53/06. Способ термической переработки глубокозалегающих горючих сланцев / А.М. Карасевич, Е.В. Крейнин, А.Ю. Зоря.- Оpubл.- 10.05.2010.
6. Патент РФ 2423407. МПК С 10 В 53/06. Способ пиролиза мелкозернистых горючих сланцев с получением жидких и газообразных топлив с выработкой электроэнергии и цементного клинкера и установка для его осуществления / Р.М. Салихов, М.С. Петров, Э.И. Гольмшток и др. - Оpubл. 10.07.2011.
7. Лаврик Н.А.. Предпосылки комплексного использования углей юга Дальнего Востока // Горный журнал.- 2006, - № 4.- С. 70-74.
8. Середин В.В., Поваренных М.Ю. Первая находка минералов платины в углях // Доклады РАН. Т. 342. № 6.- Оpubл. июнь 1995. С. 801-803.
9. Гамов М.И., Грановская Н.В., Левченко С.В. «Металлы в углях». Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2012. - 45 с.

- 10.Благородные металлы в высокоуглеродистых метаморфических породах Ханкайского террейна, Приморье / А. И. Ханчук, Л. П. Плюснина, В. П. Молчанов, Е. И. Медведев // Тихоокеан.геология. - 2007. - Т.26, №1.- С. 70-80.
- 11.Наумов Б.Е. Рений и другие редкие и рассеянные металлы в горючих сланцах прибалтики и в медномолибденовых рудах средней Азии как ценный природный ресурс // Сб. трудов Института экономики и управления.-2006.- Вып. 4.- С. 125-145.
- 12.Пихлак А.А. Из истории исследований самовозгорания горючих сланцев Эстонии // Горючие сланцы.- Таллин.- 1985, 2/3.- С. 279-288.
- 13.Алоян П.Г., Алоян Г.П. Платиноиды в промышленных рудах Армении.- Ереван: ГЕОИД, 2003.-182 с.
- 14.Алоян П.Г., Алоян Г.П. Металлоносность черносланцевых (терригенно-углеродистых) комплексов Армении / Изв. НАН РА. Науки о Земле.-2003.- № 3.- С. 8-13.
- 15.Алоян П.Г., Алоян Г.П. Терригенно–углеродистые комплексы Армении как новый формационный тип благороднометалльного сырья // Вестник Инженерной академии Армении.- 2004.- Т.1, № 1.- С. 58-61.
- 16.Алоян П.Г., Алоян Г.П. Редкие металлы в промышленных рудах Армении, Ереван: Геоид. -335с.
- 17.Алоян Г. П. Алоян П. Г. Металлоносность Нор-Аревикской свиты Южного Зангезура // Ученые записки ЕГУ.-Геология и География.- 2010.- Т. 2.- С. 3-12.
- 18.Алоян Г.П. Металлоносность терригенно-углесланцевых отложений Антарамутского месторождения // Вестник Инженерной академии Армении (ВИАА).- 2010.- Т. 7, №4.- С. 476 - 479.
- 19.Алоян Г.П., Алоян П.Г. Металлоносность терригенно-угленосных отложений Джаджурского месторождения и перспективы их использования в качестве сырья многоцелевого назначения // Вестник Инженерной академии Армении (ВИАА). - 2012.- Т.9, №4.- С.1-6.
- 20.Амосов Р.А., Парий А.С. Методика гравитационного тестирования золотосодержащего минерального сырья // Горный журнал.- 2003.- № 12.- С. 53-58.
21. Замятин О.В., Миньков В.М. Применение отсадочной технологии обогащения золотосодержащих песков на драгах // Горный журнал. – 2003.- № 12.- С. 65-68.
22. Патент RU 2282503. Способ сухого обогащения угля / А.В. Кузьмин, В.И. Люленков, К.В. Качуров, А.Л. Кардаков. - Опубл. 27.08.2006.

23. Патент RU 2268787. Способ сухого обогащения / В.И. Люленков, А.В. Кузьмин, К.В. Качуров и др.- Оpubл. 27.01.2006.
24. Коннова Н.И., Килин С.В. Теория и практика современной сепарации в тяжелых средах. Моделирование результатов тяжелосредного обогащения // Красноярск: Сиб.Федер.Ун-т, 2013. С.-118.
25. Патент RU 2339454 C1. МПК B03D1/02. Способ флотации углистого вещества / Н.М. Литвинова, Н.Г. Яглукова, Т.Н. Александровна и др.- Оpubл. 11.05.2007.
26. Patent US 4585550A. Grinding, slurring, conditioning, and froth flotation / Peter V. Avotins, Donald P. Spitrer. - 29. 04. 1986.
27. Патент RU 2223828 C2. МПК B 03 D 1/02. Способ обогащения угольных шламов / М.С. Клейн.- Оpubл. 11.05.2007.
28. Гайнуллин И.К. Повышение эффективности процесса флотации угольных шламов с использованием флотореагентов UnicolTM // Уголь.- 2013.- № 5.- С. 105-106.
29. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В. Изучение влияния неорганических солей на извлечение серосодержащих примесей при флотации углей низкой стадии метаморфизма // Технические науки - от теории к практике: материалы XXII международной заочной научно-практической конференции (11 июня 2013 г.). Новосибирск. Изд. «СибАК», 2013.- С. 64-69.
30. Муллина Э.Р., Чупрова Л.В., Мишурина О.А. Исследование влияния химических соединений различного состава на процесс флотации газовых углей // Сборник научных трудов Sworld. - Вып. 3. Т.12. № 3.- Одесса: КУПРИЕНКО СВ. 2013. ЦИТ: 313 – 0040 - С. 4-8.
31. Чижевский В.Б. Исследование процесса сухой магнитной сепарации мелкого материала во взвешенном состоянии // Обогащение руд. – 2006.- № 2.- С. 25-28.
32. Шаденко А.А. Применение магнитных гидросепараторов в технологии обогащения магнетитовых руд ОАО „ Лебединский ГОК „ // Горный журнал. – 2003.- № 6.- С. 47-48.
33. Федосеев И.В. Концентрирование платиновых металлов из хвостов Нарильской обогатительной фабрики с помощью магнитной сепарации // Цветные металлы. – 2006. - № 3. - С.39-40.
34. Дядин В.И., Латкин А.С. Электродинамическая сепарация немагнитных дисперсных смесей // Цветные металлы. – 2005.- № 2.- С.15-18.

35. Лодейщиков В.В, Васильева А.В. Методические рекомендации по типизации руд, технологическому опробованию и картированию коренных месторождений золота.- Иркутск:- ОАО «Иргиредмет».- 1997. - 164 с.
36. Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: В 2-х томах. - Иркутск:- ОАО «Иргиредмет». -1999.- 786 с.
37. Патент RU 2094503. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 11/08. Способ извлечения золота из руд содержащих природные сорбенты / В.М. Муллов, В.К. Чернов, А.Ф. Панченко, З.А. Маринюк. - Оpubл. 27.10.1997.
38. Патент RU 2412262. МПК С 22 В 11/00 и др. Способ переработки упорных руд и концентратов / Л.А. Аржаткина, В.Д. Федоров, А.Н. Свиридов и др.- Оpubл. 22.09.2009.
39. Патент RU 2125107. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 3/06. Гидрометаллургический процесс восстановления содержания драгоценных металлов тиосульфатным выщелачиванием / Ван Ронг-Ю, Левайер К. Марк, Клейтон Ричард Б.- Оpubл. 20.01.1999.
40. Патент RU 2340691 С2. МПК С 22 В 11/08, С 22 В 3/24. Способ извлечения золота из цианистой пульпы / В.К. Совмен, В.Н. Гуськов, С.В. Дроздов и др. -Оpubл. 10.12.2008.
41. Патент RU 2510669. МПК С 22 В 11/00. Способ получения благородных металлов из упорного сырья / Арье Барбой, Ю.Н. Фильцев, В.Ф. Девбилов.- Оpubл. 10.04. 2014.
42. Патент RU 2108402. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 3/24. Способ восстановления драгоценного металла из углеродистых руд / Вильям Дж. Кохр. - Оpubл. 10.04.1998.
43. Мазманиян Г.А. Повышение извлечения металла из особо упорных золотосульфидных руд / Издатель Сибирский Федеральный Университет: - 2013.- С. 6.
44. Патент RU 2477327. МПК С 22 В 60/02 , С 22 В 59, С 22 В 34/34, С 22 В 34/22. Способ комплексной переработки углерод – кремнеземистых черносланцевых руд / А.П. Денисенко, К.М. Смирнов, С.Ю. Денгинова и др. - Оpubл. 27.02.2004.
45. Патент RU 2374344. МПК С 22 В 034/22, С 22 В 003/08, С 22 В 003/24. Способ переработки ванадийсодержащего сырья, в том числе углеродистых кварцитов Каратау / В.А. Козлов, Л.Х. Батракова, А.Ю. Кузнецов и др. - Оpubл. 27.06.2006.
46. Патент SU 132108 А. МПК С 22 В 11/04. А.И. Корпухин, Г.Г. Минеев, Л.П. Семенова.- Оpubл. 03.07. 1984.
47. Patent US 4259107 A.Oxidation, acidification, and chlorination to prevent sequesteringduring subsequent cyanidation / Wilbur J. Guay.- 31.03.1981.

48. Патент SU 869351 А. Способ извлечения золота из руд и концентратов / А.К. Кунбазаров, Е.Л. Попов, А.В. Умарова и др. - Оpubл. 26.02. 1980.
49. Патент RU 2514900. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 3/04. Способ переработки золотосодержащих концентратов двойной упругости / Я.М. Шнееррсон, Л.В. Чугаев, В.К. Федоров и др.- Оpubл. 10.05. 2014.
50. Патент RU 2493277. МПК С 22 В 11/08. Способ извлечения золота из хвостов цианирования углистых сорбционно-активных руд и продуктов обогащения / В.М. Муллов, А.В. Бывальцев, О.Д. Хмельницкая.- Оpubл. 27.03.1996.
51. Воздействие бактерий на сорбционную активность углеродсодержащих руд / Т.В. Башлыкова, А.Б. Живаева, Н.В. Башлыкова // Горное дело, РЖ, Москва 2004, 7.04.07-10Д. 123.
52. Патент SU 989880 А. МПК С 22 В 11/08. Способ извлечения золота и серебра из углеродсодержащих руд и продуктов / И.Д. Фридман, Г.И. Каравайко, В.Я. Землянская и др. - Оpubл. 18.05.1981.
53. Patent US 5792235. Column Flotation of Carbon at the Royal mt. King Mine. Orlich T., Fucstenau T. & Horne D. SME Annual Meetind, Phoenix, Az, Feb, 1992.
54. Использование угольно-золотой агломерации для извлечения золота из руд черносланцевой формации / Т.В. Башлыкова, Г.А. Пахомова, В.А. Квулигин, Н.А. Дерябина // Горное дело, РЖ, Москва 2004, 7.04.07-10Д. 124.
55. Фридман И.Д.. Влияние углеродистых веществ, содержащихся в рудах, на процесс цианирования // Цветные металлы.- 1979.- № 8.- С. 21-24.
56. Պատենտ ՌՌ 1790 A2, С 22 В 11/00: Ածխածնային և յոսվող ածխածնային նյութերի հոսվածքի մշակման եղանակ / Ռ.Ա. Արզումանյան, Վ.Յ. Մաթոսյան, Վ.Ն. Բաբայան և ուրիշներ: Յրատ.-15.06.2006:
57. Технология пирометаллургического извлечения золота из продуктов гравитационного обогащения руд Сухоложского месторождения / С.В. Дигонский, Н.А. Дубинин, В.В. Тен и др. // Цветные металлы. - 2004.- № 7.- С. 37-41.
58. Патент RU 2077957. МПК В 03 Д 1/02. Способ флотации угля / Н.В. Жулин.- Оpubл. 27.04.1997.
59. Патент JP S5675538A. МПК С 22 В 11/02, С 22 В 11/06. Метод хлорирования металлов платиновой группы / Танака, Сюдзи, Harasaka, Nobuyoshi.- Оpubл. 22.06.1981.

60. Patent US 5380504 A. Treatment of gold bearing ore / William E. Lindquist, Brian T. Field, Bernard T. McCormick.- 10.01.1995.
61. Патент RU 92003683 А. МПК С 22 В 11/00. Способ извлечения золота из золы от сжигания / В.Г. Лобанов, И.И. Стругучевский, С.М. Кричунов.- 20.09.1995.
62. Патент RU 2114202. МПК С 22 В 11/02. Способ получения благородных металлов из углеродистых материалов / Г.Ф. Казанцев, Н.М. Барбин, Г.К. Моисев, Н.А. Ватолин.- Оpubл. 27.06.1998.
63. Патент RU 2360984. МПК С 22 В 11/02. Способ извлечения металлов платиновой группы / И.А. Рублевский, Е.С. Гоманов, С.С. Ортяков.- Оpubл. 10.07.2009.
64. Патент RU 2515843. МПК С22 В11/02, С22 В4/08. Плазменный Способ и аппарат для извлечения драгоценных металлов / ДЖОНСОН, Тим(GB), ДИГАН, Давид(GB).- Оpubл. 20.05.2014.
65. Технология пирометаллургического извлечения золота из продуктов гравитационного обогащения руд Сухоложского месторождения // С.В. Дигонский, Н.А. Дубинин, В.В. Тен и др. Изд-во цветные металлы.- 2004, № - С. 37-41.
66. Патент RU 2506329. МПК С 22 В 11/02, С 22 В 11/08. Способ переработки сульфидных концентратов, содержащих благородные металлы / С.Г. Рыбкин, А.В. Аксенов, А.Е. Сенченко, В.П. Бескровная.- Оpubл. 10.02.2014.
67. Патент RU 2439176. МПК С 22 В 11/02. Способ извлечения золота из концентратов / В.Б. Начаров, Д.О. Бахтияров, В.Г. Лобанов и др.- Оpubл. 10.01.2012.
68. Патент RU 215682. МПК С 22 В 11/02, С 22 В 5/10. Способ переработки концентратов гравитационного обогащения, содержащие благородные металлы / С.Г. Рыбкин, А.Ф. Панченко, Г.М. Панченко, Н.Н. Кулинич.- Оpubл. 27.09.2000.
69. Патент RU 2113525. МПК С 22 В 11/02. Способ обогащения благородных металлов посредством купеляционной плавки и с способ изготовления капли / В.М. Кузьминых, В.Г. Моисеенко.- Оpubл. 20.06.1998.
70. Патент RU 21672127. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 7/00. Способ переработки материала на основе углерода, содержащего благородный металл / А.Г. Касиков, П.Б. Громов, Л.М. Романова, К.А. Демидов.- Оpubл. 20.05.2001.
71. Патент RU 2164538 С1. МПК С 22 В 11/02, С 22 В 03/08. Способ переработки материалов, содержащих платиновые металлы и углеродистый восстановитель / Г.П. Мироевский, Д.Т. Хагажеев, И.О. Попов и др.- Оpubл. 27.03.2001.

72. Патент RU 2120485. МПК С 22 В 11/00. Способ извлечения платиновых металлов из содержащего их материала / С.И. Лолейт, Ю.М. Калмыков, В.Я. Давидова, О.А. Агафонов.- Оpubл. 20.10.1998.
73. Патент SU 1610906A1. МПК С 22 В 11/00. Переработка концентратов платиновых металлов / Е.Н. Павлов, А.Д. Михнев, А.И. Рюмин и др.- Оpubл. 23.09.1988.
74. Патент RU 2398033. МПК С 22 В 11 /00, С 22 В 1/02, С 22 В 3/24. Способ извлечения золота из бурых и каменных углей / В.М. Кузьминых, А.П. Сорокин, Л.А.Чурсина. - Оpubл. 27.08.2010.
75. Патент RU 2471008. МПК С 22 В 11/00. Способ извлечения золотосодержащего природного сырья / М.Я. Шпирт, А.А. Лавриненко, А.Д. Рубан. - Оpubл. 27.12.2012.
76. Патент RU 2249054. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 1/04. Способ извлечения золота из золотосодержащего сырья / В.М. Кузьминых, Л.А.Чурсина, И.Ф. Савченко. - Оpubл. 27.03.2005.
77. Патент RU 2395597. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 1/04. Способ извлечения золота из угля и устройство для его осуществления / В.М. Кузьминых, В.Н. Борисов. - Оpubл. 27.07.2010.
78. Патент RU 2290450 С1. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 11/02. Способ извлечения золота из золотосодержащего природного органического сырья / В.М. Кузьминых, Л.А.Чурсина, И.Ф. Савченко. - Оpubл. в БИ. 2006.- № 36.
79. Патент Ru 2201463. МПК С 22 В 11/06, С 22В 4/08. Способ селективного извлечения металлов платиновой группы из газовой фазы и устройство для его осуществления / В.И. Петрик. - Оpubл. 27.03.2003.
80. Патент Ru 2498067. МПК Е 21 С 41/18, С22В11/00. Способ комплексного освоения месторождения энергетических углей / Л.В. Кузнецова, Б.А. Анферов.- Оpubл. 10.11. 2013.
81. Мержанов А.Г.. Процессы горения и синтеза материалов // г. Черноголовка: ИСМАН. 1998.512 с.
82. Химия синтеза сжиганием // Под ред. М. Коидзуми. М.: Мир. 1998. - 247 с.
83. Уракаев Ф.Х., В.С. Шевченко, Чупахин А.П. и др. Применение механически стимулированных реакции горения для переработки геологических материалов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2001. № 6. С. 78 - 88.
84. Павлов Е.А., Мальцев Э.В. Гущинский А.А. Энергосберегающий способ перевода в растворимую форму металлов – спутников платины. Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук, том 14, № 4(5), 2012, с. 1273-1276.

85. Патент Ru 2385955. МПК С 22 В 1/ 22. Способ вскрытия рудного сырья и концентратов для извлечения ценных компонентов, устройство для его осуществления и СВС – реактор для него / С.В. Образцов, А.М. Бекназарова.- Оpubл. 10.04.2010.
86. Патент Ru 2309999. МПК С 22 В 11/02. Способ извлечения благородных металлов из концентратов для извлечения ценных компонентов / Е.А. Павлов, А.В. Москалев, В.Н. Глухов и др.- Оpubл. 27.06.2007.
87. Гостищев В.В., Лебухова Н.В. Переработка золотосодержащих концентратов методом металлотермии // Химическая технология.- 2005. - № 2.- С.28 – 31.
88. Патент Ru 2078840.. Способ извлечения благородных металлов из руд и концентратов / В.В. Гостищев, А.А. Ковалев.- Оpubл. 10.05.1997.
89. Гинзбург С.И., Езерская Н.А., Прокофьева И.В. и др. Аналитическая химия платиновых металлов. М.: Наука, 1972.- 19 с.
90. Павлов Е.А., Мальцев Э.В., Гущинский А.А. Энергосберегающий способ перевода в растворимую форму металлов - спутников платины. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 14, № 4(5), 2012, с. 1273-1276.
91. Патент RU 2235140. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 1/04. Способ извлечения благородных металлов / В.А. Синегрибов, Т.Б. Юдина, А.Ф. Сметанников, А.Е. Красноштейн.- Оpubл. 27.08.2004.
92. Патент RU 2291907. МПК С 22 В11. Способ извлечения благородных металлов / И.А. Логвиненко, А.Е. Красноштейн, В.А. Синегрибов и др.- Оpubл. 20.01.2007.
93. Патент Ru 2245382. МПК С 22 В 11/00, С 22 В 11/06. Способ получения концентратов платиновых металлов и серебра из платинсодержащего сырья / И.Н. Левенец.- Оpubл. 27.01.2005.
94. Patent US 5074910A. Chlorination / Michel Dubrovsky.- 24.12.1991.
95. Patent WO 2008099747 A1, С 22 В 11/00, С 22 В 11/02. Method for recovering platinum grup metal from waste / Somei Yarita, Kenji Goto, Takatoshi Ota.- 21.08. 2008.
96. Патент SU 938623A. МПК С22В11/06. Способ переработки золотосодержащего сырья / Ю.Н. Назаров, К.А. Плотников, Н.В. Никулина и др.- Оpubл. 15.02.1980.
97. Патент JP S5675538A. МПК С 22 В 11/02, С 22 В 11/06. Метод хлорирования металлов платиновой группы / Танака, Сюдзи, Harasaka, Nobuyoshi.- Оpubл. 22.06.1981.
98. Патент US 4209501. МПК С 22 В 11/02, С 22 В 11/06. Хлорирование сульфидов в ванне расплава соли / Р. Kruesi.- Оpubл. 15.05. 1978.
99. Патент RU 2113526 С1. МПК С 22 В 11/02, С 22 В 11/06. Способ переработки упорных руд благородных металлов / С.Ф. Винокуров, В.Г. Хитров. - Оpubл. 20.06.1998.

100. Патент SU 1271105A. МПК C22B11/00. Способ извлечения благородных металлов из сульфидного сырья / Н.С. Кайгородова, В.Я. Семенов, А.Ф. Панченко, Т.П. Седых.- Оpubл. 16.10.1984.
101. Патент Ru 2295580. МПК C22B11/02. Способ извлечения благородных металлов из промпродуктов/ Н.В. Олейникова, В.С. Чекушин, С.П. Бакшеев. Оpubл. 20.03.2007.
102. Հ.Պ. Ալոյան: Հայաստանի տերիգեն-ածխաբեր կոմպլեքսներում հազվագյուտ և գունավոր մետաղների ջրկովի կուտակման առանձնահատկությունները // «Լեռնամետալուրգիայի ինստիտուտ» ՓԲԸ-ի գիտական աշխատանքների ժողովածու - 2006-2007 թթ., էջ 10-15:
103. Բաբկո Ա.Կ., Պյատնիցկի Ի.Վ.: Քանակական անալիզ: Երկրորդ անգամ վերամշակված և լրացված հրատարակություն: Եր.: համալսարանի հրատարակություն, 1974 - 639 էջ:
104. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ.- М.: изд-во МГУ, 1976.- 232 с.
105. Филлипова Н.А. Фазовый анализ руд и продуктов их переработки.- М.: Химия, 1975. - 280 с.
106. Масленицкий Ц.Н., Чугаев Л.В. Металлургия благородных металлов.-М.: Металлургия, 1972.-366 с.
107. Гинзбург С.И. Определение микрограммовых количеств платиновых металлов в природных и промышленных продуктах // Анализ и технология благородных металлов. - М.: Металлургия, 1971.- 468 с.
108. Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. - М.: Химия, 1969.- 1206 с.
109. Ерошевич Т.А., Кукушкин Ю.Н., Макаров Д.Ф. Определение благородных металлов в твердых продуктах и растворах методом атомно-абсорбционной спектрографии // Анализ и технология благородных металлов.- М.: Металлургия, 1978.- 432 с.
110. Разработан министерством цветной металлургии СССР. Исполнители И.И. Лебедь, О.Д. Рябкова. Концентраты медные. Методы определения содержания золота и серебра. ГОСТ 15934.10-82. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного Комитета СССР по стандартам номер 3943, 1982.-12 с.
111. Пробоотбирание и анализ благородных металлов: Справочник / Под ред. И.Ф. Барышникова. -М.: Металлургия, 1978.- 432 с.

112. Патент РФ 2070587. МПК С 22 В 3/46. Способ цементации металлов и устройство для его осуществления / Волков В.П., Шестков В.И., Нешков А.И., Целищев Г.К.- Оpubл. 20.12.1996.
113. P. Afenya. Treatment of Carbonaceous Refractory Gold Ores, Minerals Engineering, vol. 4. Nos. 7-11, 1991.- P. 1043-1055.
114. Gnay W. Treatment of Refractory Gold Ores, Containing Carbonaceous Material and Sulfides // Society of Mining Engineers of AIME.-1981.-81(34).- P.1-4.
115. Кубашевский О., Оллок С. Metallurgical thermodynamics.- M.: Metallurgy, 1982.- 392c.
116. Уйск К.Е., Блок Ф.Е. Термодинамические свойства 65-и элементов, их окислов, галогенидов, карбидов и нитридов.- M.: Metallurgy, 1965.- 350 c.
117. Владимиров Л.П. Термодинамические расчеты равновесий металлургических реакций.- M.: Metallurgy, 1970.- 528 c.
118. Кривандин В.А. Metallurgical heat engineering - 2 vol. / Moscow: Metallurgy, 1986 г.- 590 c.

ՀԱՎԵԼ ՎԱՃ