

ԿԱՐԾԻՔ

պաշտոնական ընդդիմախոսի

Աննա Սերժիկի Խաչատրյանի «Ծանր մետաղների հանդեպ կայուն նոր քեմոլիթոտրոֆ բակտերիաների անջատումը, ուսումնասիրումը և կիրառման հեռանկարները կենսատարրալուծման գործընթացներում» թեմայով ատենախոսության վերաբերյալ՝ ներկայացված Գ. 00. 07 «Միկրոբիոլոգիա, կենսատեխնոլոգիա» մասնագիտությամբ կենսաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար

Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը

Ներկայացված աշխատանքը նվիրված է Հայաստանի և Լեռնային Ղարաբաղի մետաղական հանքավայրերից և կենսաբանական տարրալուծման փորձարարական համակարգերից նոր քեմոլիթոտրոֆ բակտերիաների մեկուսացմանը, նրանցից առավել հեռանկարայինների նույնականացմանը, նրանց որոշ կենսաքիմիական և տեղնոլոգիական հատկությունների ուսումնասիրությանը:

Էքստրեմոֆիլ մանրէների ուսումնասիրությունը և դրանց հիման վրա նոր կենսատեխնոլոգիաների մշակումը համարվում է արդի գիտության հեռանկարային ուղղություններից մեկը: Դրանց համալիր տեսական և գործնական-կիրառական հետազոտության իրականացումը շատ արդիական է հատկապես Հայաստանի տնտեսության կարևոր ոլորտ հանդիսացող հանքարդյունաբերության համար:

Սուլֆիդային ապարների կենսատեխնոլոգիական տարրալուծումը իրականանում է հիմնականում անուղղակի կոնտակտային մեխանիզմով՝ բակտերիաների կողմից ռեգեներացված Fe^{3+} -ի մատակարարումով:

Եռարժեք երկաթի ռեգեներացման և սուլֆիդային հանքաքարերի կենսաքայքայման գործընթացում ներգրավված առավել կարևոր բակտերիաներն են՝ *Acidithiobacillus ferrooxidans*-ը, *Leptospirillum ferrooxidans*-ը, *Leptospirillum ferriphilum*-ը, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*-ը, *Acidimicrobium ferrooxidans*-ը և *Acidithiobacillus ferrivorans*-ը: Հարկ է նշել, որ վերջին տարիներին *Leptospirillum* ցեղի տեսակները հանդիսանում են հանքավայրերի էքստրեմալ էկոխորշերում հանդիպող և մետաղների կենսատարրալուծման արտադրական համակարգերի ամենաներկայացուցչական պրոկարիոտները:

Այդ բակտերիաների մի շարք տեխնոլոգիական հատկությունները, այն է՝ ցածր pH-ի ու բարձր ջերմաստիճանների նկատմամբ դիմացկունությունը և համեմատաբար բարձր երկաթ օքսիդացնող ակտիվությունը թույլ են տալիս այդ ցեղի տեսակները դիտարկել որպես մեծ ներուժ ունեցող հեռանկարային թեկնածուներ՝ երկարժեք երկաթի կենսաբանական օքսիդացման վրա հիմնված նոր կենսահիդրոմետալուրգիական տեխնոլոգիաների մշակման համար: Բացի այդ, այդ բակտերիաները թուլերանտ են Fe^{2+} և Fe^{3+} իոնների բարձր կոնցենտրացիաների նկատմամբ, ինչը շատ կարևոր է անուղղակի չանային տարրալուծման տեխնոլոգիաներում կիրառելու ժամանակ, քանի որ հենց այդ իոններն են որոշում տարրալուծման գործընթացի ինտենսիվությունը:

Բոլորին հայտնի է մետաղների դերն ու նշանակությունը բջջի կենսաքիմիական գործընթացների համար, որտեղ նրանք հանդես են գալիս որպես կատալիզատորներ, կոֆերմենտներ, մասնակցում են օքսիդավերականգնման գործընթացներին, կայունացնում սպիտակուցների կառուցվածքը և այլն: Սակայն ֆիզիոլոգիական նորմայից բարձր քանակությունների դեպքում կուտակվելով բջջում մետաղները բացասաբար են անդրադառնում բջջի կենսագործունեության վրա: Դրանք կարող են կապվել անիոնների հետ՝ փակելով ֆերմենտների գործառնական խմբերը, ճնշել փոխադրիչ համակարգերը, դուրս մղել հիմնական մետաղները դրանց կապվածության տեղերից, խախտել բջջաթաղանթի ամբողջականությունը և այլն: Հարկ է նշել, որ արտաբջջային պոլիմերային միացություններով շրջապատված լինելու դեպքում, կամ դրանցով պայմանավորված կենսաթաղանթի ձևով աճելիս զգալիորեն բարձրանում է մանրէների կայունությունը մետաղների նկատմամբ: Այդ պոլիմերային միացությունները, բջջաթաղանթը և բջջապատը կենսաստրբիայի շնորհիվ մեկուսացնում են մետաղական իոնները և կանխում են դրանց միջամտությունը նյութափոխանակության զգայուն գործընթացներին: Մետաղների իոնների նկատմամբ տարրալուծող բակտերիաների կայունության և ադապտացվելու ունակության ուսումնասիրությունը մեծ գիտական և գործնական հետաքրքրություն է ներկայացնում և արդիական է:

Ներկայումս ամբողջ աշխարհում պղնձի աղքատ պորֆիրային հանքաքարերը հանդիսանում են պղնձի հիմնական աղբյուրը: Աղքատ սուլֆիդային հանքաքարերից պղնձի և այլ մետաղների կորզումը մեծացնելու նպատակով առաջարկվող մեթոդներից կենսատարրալուծումը կարող է համարվել առավել արդյունավետ և շրջապատող միջավայրի համար անվտանգ եղանակ:

Ներկայացված ատենախոսության կարևոր մաս է հանդիսանում բակտերիային համակեցությունների ստեղծումը և ուսումնասիրումը: *Acidithiobacillus ferrooxidans*-ից, և *Leptospirillum ferrooxidans*-ից կազմված համակեցությունների կիրառումը թույլ է տալիս զգալիորեն մեծացնել պղնձի կենսատարրալուծման արդյունավետությունը:

Հետազոտության նպատակն ու խնդիրները

Ըստ ատենախոսի հետազոտության նպատակն է՝ Հայաստանի և Լեռնային Ղարաբաղի մետաղական հանքավայրերի բնական բիոտոպերից և կենսատարրալուծման փորձարարական համակարգերից մեկուսացնել նոր քեմոլիթոտրոֆ բակտերիաներ, բնութագրել և նույնականացնել առավել հեռանկարային շտամները, ուսումնասիրել նրանց կայունությունը մետաղների իոնների և ապարախիտուսի բարձր խտությունների նկատմամբ, պղնձի կենսատարրալուծման հնարավորությունները պորֆիրային հանքաքարից, պարզաբանել հանքաքարի տարրալուծման մեխանիզմը ապարագիտական հետազոտությունների հիման վրա: Ատենախոսը թվարկում է այն խնդիրները, որոնք պետք է լուծել նշված նպատակին հասնելու համար

Կառուցվածքը

Ատենախոսական աշխատանքը կազմված է ներածությունից, գրական ակնարկից (Գլուխ 1) և փորձարարական մասից, որը պարունակում է հետազոտության նյութն ու մեթոդները (Գլուխ 2) և հետազոտության արդյունքները (Գլուխ 3,4), ամփոփում, եզրակացություններ բաժիններից, օգտագործված գրականության ցանկից (214 անուն),

հապավումների ցանկից և 4 հավելվածներից: Աշխատանքը ձևակերպված է հայերեն լեզվով 140 էջի վրա՝ լուսաբանված 36 նկարներով և 16 աղյուսակներով:

Մեթոդաբանությանը նվիրված գլխում նկարագրված են աշխատանքում օգտագործված քեմոլիթոտրոֆ բակտերիաների մեկուսացման եղանակները, մանրէների բնական համակեցությունների ուսումնասիրության մեթոդները, մաքուր կուլտուրաների ուսումնասիրության, Fe^{2+} , Fe^{3+} և այլ մետաղների իոնների ազդեցության ուսումնասիրությունը բակտերիաների աճի և Fe^{2+} -ի օքսիդացման վրա, մեկուսացված բակտերիաների նույնականացումը, միներալների կենսատարրալուծման, պիրիտի մակերեսին բակտերիաների ադիեզիայի ուսումնասիրման, արտաբջջային պոլիմերային նյութերի անջատման և ուսումնասիրության մեթոդները, Քաջարանի պղնձային հանքաքարի կենսատարրալուծման, Քաջարանի հանքաքարի նմուշների քիմիական և ապարային կազմի ուսումնասիրության եղանակները, ֆիզիկաքիմիական անալիզների իրականացումը: Հարկ է նշել, որ ատենախոսության մեջ օգտագործված հետազոտության դասական և ամենաժամանակակից մեթոդների զուգակցումը արդյունավետ է իսկ դրանց լայն սպեկտրը՝ բավական տպավորիչ:

Հետազոտությունում ստացված արդյունքները

Երրորդ գլուխը նվիրված է Լեոնային Ղարաբաղի Կաշենից և Հայաստանի Հանրապետության Սյունիքի մարզի Կավարտից անջատված երկաթ օքսիդացնող բակտերիաների բնական համակեցությունների ուսումնասիրությանը: Ցույց է տրվել, որ Կավարտի և Կաշենի հանքավայրերի թթու դրենաժային ջրերի նմուշներում առկա են *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum* և *Sulfobacillus* ցեղերին պատկանող բակտերիաներ:

Կաշենի պղնձային հանքավայրերի թթու հանքային դրենաժներից և պղնձի ու ցինկի տարրալուծման պուլպերի նմուշներից որպես մաքուր կուլտուրաներ մեկուսացվել են երկաթ օքսիդացնող *Leptospirillum* ցեղի Ksh-L և երկաթ ու ծծումբ օքսիդացնող *Acidithiobacillus* ցեղի ZnC շտամները: Ուսումնասիրվել է ջերմաստիճանի ու pH ազդեցությունը այդ շտամների աճի և երկաթի օքսիդացման վրա: Ցույց է տրվել, որ Ksh-L և ZnC շտամների կենսազանգվածների առավելագույն աճն ու երկաթի օքսիդացումը տեղի են ունենում 35°C -ի դեպքում:

Ksh-L շտամի համար pH-ի օպտիմալ արժեքը կազմել է 2.0, իսկ ZnC շտամի բակտերիաների աճը առավել ակտիվ է եղել pH 1.6, 1.8 արժեքների դեպքում:

Մեկուսացված բակտերիաների նույնականացումը իրականացվել է մորֆո-ֆիզիոլոգիական, կենսաքիմիական առանձնահատկությունների հիման վրա ըստ Բերգհի որոշիչի, ինչպես նաև 16S ռԲՆԹ-ի նուկլեոտիդային հաջորդականության հիման վրա:

16S ռԲՆԹ գենի մշակված և մասնակի նուկլեոտիդային հաջորդականությունների հիման վրա բացահայտվել են մեկուսացված շտամների ֆիլոգենետիկորեն մոտ ազգակից տեսակները: Կառուցվել են մեկուսացված շտամների ֆիլոգենետիկական ծառերը:

Վերլուծությունը հեղինակին թույլ է տվել եզրակացնել, որ *Leptospirillum* ցեղի Ksh-L շտամը կարող է լինել *Leptospirillum ferrodiazotrophum* տեսակին պատկանող նոր շտամ, կամ կարող է հանդիսանալ այդ ցեղին պատկանող նոր տեսակ:

Acidithiobacillus ցեղի ZnC շտամի նուկլեոտիդային հաջորդականությունը համեմատվել է ֆիլոգենետիկորեն առավել մոտ է *Acidithiobacillus ferrooxidans*-ի և *Acidithiobacillus ferrivorans*-ի շտամների հետ: Մեկուսացված *Acidithiobacillus* ցեղի ZnC

շտամը առաջացրել է միասնական կլաստեր *Acidithiobacillus ferrooxidans* ATCC 23270 (NR_074193.1), *Acidithiobacillus ferrooxidans* ILS2 (KC852076.1) և *Acidithiobacillus ferrooxidans* LM4 (AM502931.1) շտամների հետ:

Այսպիսով, Կաշենի թթու հանքային դրենաժների նմուշներից և պղնձի ու ցինկի տարրալուծման փորձարարական համակարգերից մեկուսացվել և նույնականացվել են երկաթ օքսիդացնող *Leptospillum ferrodiazotrophum* Ksh-L և երկաթ ու ծծումբ օքսիդացնող *Acidithiobacillus ferrooxidans* ZnC շտամները:

Մեկուսացված բակտերիաները ավանդադրվել են «Հայկենսատեխնոլոգիա» ԳԱԿ-ի Մանրէների ավանդազրման կենտրոնում ստանալով համապատասխան համարներ՝ *L. ferrodiazotrophum* Ksh-L MDC 7057, *At. ferrooxidans* ZnC MDC 7058, իսկ *Leptospillum ferrodiazotrophum* Ksh-L և նախկինում մեկուսացված և ավանդադրված *Leptospillum ferriphilum* CC-ի (MDC 7047) շտամի գենի նուկլեոտիդային հաջորդականությունները մուտքագրվել են GenBank-ում՝ նույնպես ստանալով համապատասխան համարներ:

Ատենախոսը ուսումնասիրել է Քաջարանի հանքավայրի սուլֆիդային և օքսիդացված հանքանմուշների հարաբերակցության և ապարախյուսի խտության ազդեցությունը կենսատարրալուծման վրա: Ուսումնասիրվել է Fe^{2+} և Fe^{3+} , ինչպես նաև պղնձի, ցինկի, նիկելի և կոբալտի ու մոլիբդենի իոնների ազդեցությունը մեկուսացված *Leptospillum ferriphilum* CC-ի և *Acidithiobacillus ferrooxidans* ZnC -ի կողմից երկարժեք երկաթի օքսիդացման կինետիկայի վրա:

Որոշվել է Fe^{2+} -ի արդյունավետ կոնցենտրացիան *Leptospillum ferriphilum* CC շտամի աճի և Fe^{2+} -ի օքսիդացման համար. այն կազմել է 100-200 մՄ: *Leptospillum ferriphilum* CC շտամի մոտ հազեցման հաստատունի՝ Km-ի արժեքը թույլ է տվել եզրակացնել, որ Fe^{2+} -ի նկատմամբ խնամակցության տեսակետից *Leptospillum ferriphilum* CC զգալիորեն գերազանցում է *Acidithiobacillus ferrooxidans*-ին: Ցույց է տրվել, որ Fe^{3+} -ի իոնները մրցակցային կերպով ճնշում են *Leptospillum ferriphilum* CC շտամի կողմից Fe^{2+} -ի օքսիդացումը: Այս արդյունքը չի հակասում գրականության տվյալներին:

Leptospillum ferriphilum CC-ի կողմից Fe^{2+} -ի օքսիդացումը կարող է ընթանալ միջավայրում 200 մՄ Fe^{3+} -ի ներկայությամբ, ինչը վկայում է շտամի մեծ ներուժի մասին հանքաքարերի և խտանյութերի տարրալուծման ընթացքում՝ կենսածին Fe^{3+} -ի վերականգնման գործընթացում:

Ուսումնասիրվել է նաև Cu^{2+} -ի, Zn^{2+} -ի, Ni^{2+} -ի և Co^{2+} -ի իոնների ազդեցությունը *Leptospillum ferriphilum* CC-ի շտամի կողմից երկաթի օքսիդացման վրա 10-150 մՄ կոնցենտրացիայի միջակայքում: Այդ շտամի կողմից Fe^{2+} -ի օքսիդացման արգելակման ուսումնասիրությունը թույլ է տվել հեղինակին մետաղները ըստ թունավորության աստիճանի աճման դասավորել է հետևյալ կարգով՝ $Mo > Co > Zn > Ni > Cu$:

Ցույց է տրվել նաև, որ բակտերիաների աճին զուգընթաց նվազում է պղնձի և ցինկի իոնների ճնշող ազդեցությունը: Հեղինակը ենթադրել է, որ աճի ընթացքում բակտերիալ բջիջները առաջացնում են կենսաթաղանթ՝ կազմված արտաբջջային պոլիմերային միացություններից, որոնք զգալիորեն մեծացնում են բակտերիաների կայունությունը ծանր մետաղների նկատմամբ:

Չորրորդ գլուխը նվիրված է սուլֆիդային միներալների և Քաջարանի հանքավայրի հանքանմուշների կենսատարրալուծման ուսումնասիրությանը:

Շամլուղի պղնձային հանքավայրի պիրիտի կենսատարրալուծումը համեմատվել է նոր և նախկինում մեկուսացված *Leptospillum feriphillum* CC և *Sulfobacillus themosulfidooxidans* 69-ի միջոցով: *Leptospillum feriphillum* CC-ի կողմից տարրալուծված ընդհանուր երկաթը զգալիորեն գերազանցում է *Sulfobacillus themosulfidooxidans* 69-ի կողմից տարրալուծված երկաթի քանակությանը: Հեղինակը ցույց է տվել, որ քեմոլիթոտրոֆ բատերիաների կողմից պիրիտի օքսիդացման արդյունավետությունը ուղղակիորեն կախված է միներալի մակերեսին նրանց ադիեզվելու ունակությանից: Կատարվել է *Leptospillum feriphillum* CC, *Acidithiobacillus ferrooxidans* 61 և *Sulfobacillus themosulfidooxidans* 69 կուլտուրաների պիրիտի վրա ադիեզվելու համեմատական ուսումնասիրություն:

Պիրիտի կենսատարրալուծման և բակտերիալ բջիջների ադիեզիայի արդյունքները վկայում են կորզված երկաթի քանակության և ադիեզված բջիջների թվի միջև համահարաբերակցության մասին: Այս բացահայտումը համապատասխանում է գրականության մեջ բերված տվյալներին:

Խալկոպիրիտի դեպքում *Acidithiobacillus ferrooxidans* Ksh-ը զգալիորեն գերազանցում է *Leptospillum feriphillum* CC-ին հանքանյութի օքսիդացման ակտիվությամբ: Սակայն շտամների համատեղ աճի դեպքում պղնձի և երկաթի տարրալուծման ինտենսիվությունը մեծանում է համապատասխանաբար 1.3 և 1.2 անգամ: Հեղինակը կարծում է, որ բացառված չի որ դա տեղի է ունենում համակեցության մեջ *Leptospillum feriphillum* CC-ի կողմից Fe^{3+} -ի ռեգեներացիայի ինտենսիվացման շնորհիվ:

Հաստատվել են գրականության տվյալները այն մասին, որ լուծելի սուլֆատրատի համեմատությամբ պինդ սուլֆատրատի (պիրիտի) վրա աճելիս բակտերիաները արտադրում են զգալիորեն ավելի շատ արտաբջջային պոլիմերային միացություններ: Որպես սուլֆատրատ պիրիտի օգտագործման դեպքում սպիտակուցների քանակությունը, ընդհանուր առմամբ, ավելի բարձր է քան ածխաջրերինը ինչպես կոլոիդային, այնպես էլ պատիճային արտաբջջային պոլիմերային նյութերում:

Հեղինակի կողմից առաջին անգամ ուսումնասիրվել է Հայաստանի Քաջարանի հանքավայրի պղնձի ցածր պարունակությամբ (0.63-0.77%) պորֆիրային հանքաքարի նմուշների մանրէաբանական տարրալուծման հնարավորությունը: Հեղինակը ուսումնասիրել է մասնիկների չափի, ապարախյուսի խտության և ադապտացված կուլտուրաների ազդեցությունը Քաջարանի հանքաքարի նմուշներից պղնձի կորզման գործընթացի վրա:

Ցույց է տրվել, որ պղնձի կենսակորզման ամենաբարձր արդյունավետությունը սուլֆիրային և օքսիդացած հանքանմուշների դեպքում դիտվել է մասնիկների ≤ 45 մկմ չափի դեպքում, ինչը ապահովում է հանքանյութի ու կենսազանգվածի շփման զգալի մակերես: Ապարախյուսի խտությունը 10-ից 20 տոկոսի բարձրացնելիս պղնձի կորզումը մոտ 2 անգամ աճում է, սակայն պղնձի վերջնական ելքն ավելի մեծ է ապարախյուսի 10% դեպքում: Հեղինակն այս երևույթին տալիս է իր բացատրությունները, որոնք տրամաբանական են, սակայն ապացուցման կարիք ունեն: Մեծ նշանակություն ունի օգտագործված կուլտուրաների հարմարեցումը (ադապտացումը) վերացանքերի միջոցով տարրալուծվող հանքանմուշներին: Այս եղանակով հեղինակին հաջողվել է ավելացնել պղնձի կորզումը 2-3 անգամ 10 և 20% ապարախյուսի դեպքում:

Էլ ավելի հետաքրքիր արդյունքներ են ստացվել օքսիդացված հանքանյութերի վրա ադապտացված կուլտուրաների կիրառումից:

Կենսաբանական տարրալուծման միջոցով պղնձի կորզման տեխնոլոգիայի մշակման ճանապարհին կարևոր քայլ է ելային հանքաքարի և կենսատարրալուծման մնացորդների երկրաքիմիական, ապարաբանական և մասնիկների վերլուծությունը, որը կարող է պատկերացում տալ տարրալուծման մեխանիզմների և առաջացող բնապահպանական խնդիրների մասին:

Ատենախոսը ցույց է տվել, որ Cu-ի կենսատարրալուծումը օքսիդացած և սուլֆիդային հանքանմուշներից էականորեն տարբերվում է: Օքսիդային հանքանմուշի դեպքում ի տարբերություն սուլֆիդային հանքանմուշների, պղնձի գերակշիռ քանակությունը հայտնաբերվել է տարրալուծման լուծույթում: Հարկ է նշել, որ պորֆիրային պղնձի հանքաքարերի հետ կապակցվող արժեքավոր հետքային տարր հանդիսացող Mo պղնձի ու երկաթի կորզման պայմաններում գործնականորեն չի տարրալուծվել:

Օքսիդային հանքաքարի համար տարրալուծման գործընթացի առաջին (և արագ) քայլը կարբոնատների, հիդրօքսիդների և երկաթի օքսիդների թթվային տարրալուծումն է: Սա նպաստում է խալկոպիրիտի մասնիկների բացազատմանը դատարկ ապարներից և թույլ է տալիս բարձրացնել պղնձի կորզման արդյունավետությունը: Փորձերի արդյունքներից երևում է, որ պղնձի կորզման աստիճանը կարելի է բարձրացնել մեծացնելով ապարախյուսի խտությունը օքսիդային հանքանմուշի հաշվին: Պղնձի կորզման տեսակետից սուլֆիդային և օքսիդային հանքանմուշների լավագույն սոկոսային հարաբերակցությունը ապարախյուսում կազմում է 10:14: Սակայն, ըստ իս, օգտագործվող հումքի հետագա ընտրությունը պետք է հիմնված լինի տնտեսական և բնապահպանական մանրամասն վերլուծության արդյունքների վրա:

Աշխատանքի գիտական նորույթը

Հայաստանի և Լեռնային Ղարաբաղի պղնձային հանքավայրերից, ինչպես նաև կենսատարրալուծման համակարգերից մեկուսացվել են թթվակայուն և մետաղակայուն քեմոլիթոտրոֆ բակտերիաներ, որոնք ժամանակակից մոլեկուլային կենսաբանական մեթոդների կիրառմամբ նույնականացվել են որպես *Acidithiobacillus ferrooxidans* ZnC և *Leptospirillum ferrodiazotrophum* Ksh-L: Ընդ որում, վերջին տեսակը առաջին անգամ է մեկուսացվում և նկարագրվում Հայաստանում: Մեկուսացված բակտերիաները ավանդադրվել են «Հայկենսատեխնոլոգիա» ԳԱԿ-ի Մանրէների ավանդադրման կենտրոնում ստանալով համապատասխան համարներ (հավելվածներ 1 և 2), իսկ *L. ferrodiazotrophum* Ksh-L և նախկինում մեկուսացված և ավանդադրված *Leptospirillum ferriphilum* CC-ի նուկլեոտիդային հաջորդականությունները մուտքագրվել են GenBank-ում՝ ստանալով համապատասխան համարներ (հավելվածներ 3 և 4):

Ուսումնասիրվել են *Leptospirillum ferriphilum* CC-ի աճի և Fe²⁺-ի օքսիդացման կինետիկական պարամետրերը: Բացահայտվել է Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺ և Co²⁺ իոնների ճնշող ազդեցությունը *Acidithiobacillus ferrooxidans* ZnC-ի և *Leptospirillum ferriphilum* CC-ի կողմից Fe²⁺-ի օքսիդացման վրա, որոշվել են նվազագույն ճնշող խտությունները :

Հանքային հումքի և տարրալուծման մնացորդների ապարագիտական, խալկոպիրիտի հատիկների բացազատման, դրանց չափային բաշխման հետազոտություններն օգտագործվել են բացահայտելու համար պղնձի սուլֆիդային և օքսիդացված հանքանմուշների կենսատարրալուծման մեխանիզմը:

Արդյունքների գործնական նշանակությունը

Ուսումնասիրվել է մեկուսացված *Acidithiobacillus ferrooxidans* ZnC և *Leptospirillum ferriphilum* CC շտամների, նրանց համակեցությունների կայունությունը և ադապտացման հնարավորությունները մետաղների իոնների և ապարախուսի բարձր խտությունների նկատմամբ: Մտացված ադապտացված կայուն շտամները կարող են հիմք հանդիսանալ խտանյութերից, աղքատ հանքաքարից, ինչպես նաև երկրորդային հումքից պղնձի արդյունավետ կորզման կենսատեխնոլոգիական գործընթացների մշակման համար:

Քացահայտվել են միջավայրի գործոնների (մասնիկների չափսեր, pH, ապարախուսի խտություն, սուլֆիդային և օքսիդացված հանքանմուշների հարաբերակցություն և այն) օպտիմալ արժեքները՝ Քաջարանի պղնձամուլիբդենային հանքավայրի օքսիդացած և սուլֆիդային հանքանմուշներից պղնձի արդյունավետ կենսակորզման համար: Միաժամանակ պարզվել է, որ հանքանմուշներից պղնձի կորզման արդյունավետությունը մեծապես պայմանավորված է նաև կենսաբանական գործոնով՝ բակտերիալ համակեցության՝ սուբստրատի մակերեսին բակտերիալ բջիջների ադիեզվելու, կենսաթաղանթ առաջացնելու, մետաղների իոնների նկատմամբ կայունությամբ և ադապտացվելու ունակությամբ:

Հարցեր և դիտողություններ ատենախոսության վերաբերյալ

1. Աշխատանքի ձևավորումը հիմնականում համապատասխանում է ատենախոսություններին ներկայացվող ԲՈԿ-ի պահանջներին, սակայն հանդիպում են վրիպակներ և անճշտություններ:

2. Թիվ 29 և 30 նկարների գծագրերը լրացված են անգլերենով:

3. Հեղինակը աշխատանքում ցույց է տվել արտաբջջային պոլիմերային միացությունների պաշտպանիչ դերը մետաղների բարձր կոնցենտրացիաներից: Հարց է առաջանում, թե արդյո՞ք այդ միացությունները չեն խոչընդոտում բուն ռեակցիայի ընթանալուն: Ինչպե՞ս է նրանց առկայությունը ազդում կենսատարրալուծման կինետիկայի վրա:

4. Հեղինակը արդարացիորեն նշում է կենսատարրալուծման տեխնոլոգիաների հեռանկարային լինելը, հատկապես, աղքատ հանքանյութերից պղնձի ստացման դեպքում: Սակայն այդ կենսաբանական տեխնոլոգիաների տարածումը հաճախ չի համապատասխանում սպասումներին: Այդ կապակցությամբ, ըստ իս, աշխատանքը կշահեր, եթե այն պարունակեր մեթոդի սահմանափակումների և զարգացման տեխնոլոգիական, տնտեսական և բնապահպանական խոչընդոտների վերլուծություն: Դա նաև թույլ կտար ուղղորդել գիտական հետազոտությունների հետագա իմաստավորված պլանավորումը:

5. Ներկայացված ատենախոսությունը վերաբերվում է մանրէաբանական հետազոտությանների ոլորտին և պարունակում է տեխնոլոգիական աշխատանքների որոշ տարրեր: Ինձ թվում է, որ հետագայում փորձարարական աշխատանքների մաթեմատիկական պլանավորման կիրառումը և մաթեմատիկական մոդելի ստացումը կնպաստեն տեխնոլոգիայի առաջխաղացմանն ու որակի բարձրացմանը: Սա ավելի շուտ հետագա աշխատանքներին է վերաբերվում:

Նշված դիտողությունները չեն նվազեցնում ատենախոսության արժանիքներն ու ստացված արդյունքները: Աննա Խաչատրյանի «Ծանր մետաղների հանդեպ կայուն նոր քեմոլիթոտրոֆ բակտերիաների անջատումը, ուսումնասիրումը և կիրառման հեռանկարները կենսատարրալուծման գործընթացներում» թեմայով հետազոտությունն ինքնուրույն աշխատանք է, որը մինևույն ժամանակ նոր կարևոր հետազոտությունների հեռանկար է ստեղծում: Ատենախոսությունում օգտագործված մոտեցումներն ու գործնական առաջարկություններն, ինչպես նաև ստացված արդյունքները, գիտականորեն հիմնավորված են և ընդունելի:

Ատենախոսությունը և սեղմագիրը շարադրված են հստակ և ընկալելի ոճով: Ատենախոսության հիմնական դրույթներն արտացոլված են հեղինակի հրապարակած 18 (տասնութ) գիտական աշխատանքում:

Աննա Սերժիկի Խաչատրյանի «Ծանր մետաղների հանդեպ կայուն նոր քեմոլիթոտրոֆ բակտերիաների անջատումը, ուսումնասիրումը և կիրառման հեռանկարները կենսատարրալուծման գործընթացներում» թեմայով ատենախոսությունը համապատասխանում է ՀՀ-ում գիտական աստիճանաշնորհման կանոնակարգին և ՀՀ ԲՈԿ-ի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, իսկ ատենախոսության հեղինակն արժանի է Գ.00.07 «Միկրոբիոլոգիա.կենսատեխնոլոգիա» մասնագիտությամբ կենսաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Պաշտոնական ընդդիմախոս,

ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների
ինստիտուտի ավագ գիտաշխատող,
կենսաբանական գիտությունների թեկնածու

Պ.Վ.Թոզալաքյան

Պարոն Պ.Թոզալաքյանի ստորագրության իսկությունը հաստատում եմ:

ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ գիտական քարտուղար,
երկրաբանական գիտությունների թեկնածու

Հ.Վ. Շախինյան

12 Հունիսի, 2023թ.

