

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
SATBAYEV UNIVERSITY

О. А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

УДК 622.765

Қолжазба құқығында

Бактыбекова Гулмира Махсеткызы

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін

Диссертация тақырыбы: Алтын миграциясындағы микроорганизмдердің рөлі

Дайындық бағыты: 7M07223 – "Пайдалы қазбаларды байыту"

Ғылыми жетекші:

Техника ғылымдарының кандидаты

Г.С. Турысбекова Г.С.
« 30 » « 05 » 2022 ж.

Рецензент :

Техника ғылымдарының кандидаты

К.С. Килибаева С. К.
« 30 » « маусым » 2022 ж.

Нормобакылау;

Доктор Ph.D. ассистент профессор

С.Б. Дюсенова С.Б.
« 30 » « 05 » 2022 ж.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

МжПҚБ кафедрасының

меңгерушісі

Техника ғылымдарының

кандидаты

М.Б. Барменшинова М.Б.
« 31 » « 05 » 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

SATBAYEV UNIVERSITY

О. А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

7M07223 - " Пайдалы қазбаларды байыту "

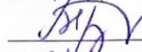
БЕКІТЕМІН

МжПҚБ кафедрасының

меңгерушісі

Техника ғылымдарының

кандидаты

 Барменшинова М.Б.

« 31 » 05 2022 ж.

магистрлік диссертацияны орындауға

Тапсырма

Магистрант Бактыбекова Гулмира Махсетқызына

Тақырыбы: Алтын миграциясындағы микроорганизмдердің рөлі

Университет ректорының 2020 жылғы "31" қазандағы №1765 бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі "01.06.2022 ж.

Магистрлік диссертацияға бастапқы деректер: Алтынды сульфидті кендерден толықтай әрі қоршаған ортаға зиян келтірмей бөліп алу.

Магистрлік диссертацияда әзірленетін сұрақтар тізбесі:

А) кіріспе. Әдеби шолу;

б) зерттеу бөлімі;

в) қорытынды;

г) Пайдаланылған әдебиеттер тізімі.

Графикалық материалдың тізімі: слайд

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

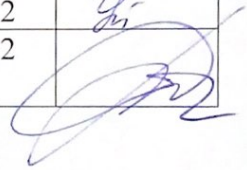
Мысалы: 1. Турысбекова Г. С. Меретуков М. А. Бектай Е. К. Золото инновации в химии и металлургии.

2. Минеев Г. Г. Биометаллургия золота

Магистрлік диссертация дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, әзірленетін мәселелер тізбесі	Ғылыми жетекші мен консультанттарға ұсыну мерзімдері	Ескертпе
Кіріспе	05.02.2022	
Әдебиеттерге аналитикалық шолу	05.03.2022	
Зерттеу әдістемесі	05.04.2022	
Эксперименттік бөлім	05.05.2022	
Қорытынды	25.05.2022	

Аяқталған магистрлік диссертацияға қатысты диссертацияның бөлімдерін көрсете отырып, консультанттар мен нормобақылаушының колдары

Бөлімнің атауы	Кеңесшілер, аты-жөні (дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Кіріспе	Турысбекова Г. С.	05.02.2022	
Әдебиеттерге аналитикалық шолу		05.03.2022	
Зерттеу әдістемесі		05.04.2022	
Эксперименттік бөлім		05.05.2022	
Қорытынды		25.05.2022	
Нормоконтролер	Дюсенова С.Б. доктор PhD	30.05.2022	

Ғылыми жетекші:  Турысбекова Г. С.

Тапсырманы білім алушы орындауға қабылдады:  Бактыбекова Г. М.

Күні

«10» 10 2022 ж.

АҢДАТПА

Соңғы жылдары түрлі нашар кендер мен түсті металл концентраттарын өңдеудің микробиологиялық әдістері қарқынды зерттелуде және игерілуде. Бактериялық технология өнеркәсіпте мыс, уран және алтынды кендерден алу үшін үйінді және жер асты шаймалау әдістерімен бірге қолданылады. Бұл улы қосылыстарды қолданумен немесе алумен байланысты емес және минералды шикізаттың басқа түрлеріне де перспективалы. Әдеби мәліметтерге сүйенсек, гетеротрофты микроорганизмдерге ерекше назар аударған жөн, оларды алтын гидрометаллургиясында қолдану өте перспективалы. Алтынды ерітумен қатар, оны ерітінділерден алу әдістерін, ең алдымен биосорбенттерді, мысалы, микроскопиялық саңырауқұлақтарды қолдану негізінде жасау керек. Процестің бактериялық гидрометаллургиясы және биохимиялық зерттеулері саласындағы өте шектеулі ақпарат ғылымның бұл бөлімі аз зерттелгенін және зерттеу мен қалыптасу сатысында екенін көрсетеді.

Алтынның нашар кендер мен тұрақты концентраттардан шаймалануын тек микробиологиялық ғана емес, сонымен қатар аз уытты химиялық металл еріткіштері негізінде де қарастырған жөн. Жаңа алтын еріткіштерін іздеу, олармен металдың әрекеттесу механизмі мен кинетикасын зерттеу қажет.

АННОТАЦИЯ

В последние годы интенсивно изучаются и осваиваются микробиологические методы переработки различных бедных руд и концентратов цветных металлов. Бактериальная технология используется в промышленности для извлечения меди, урана и золота из руд в сочетании с методами кучного и подземного выщелачивания. Это не связано с использованием или извлечением токсичных соединений и перспективно для других видов минерального сырья. По литературным данным, стоит обратить особое внимание на гетеротрофные микроорганизмы, применение которых в гидрометаллургии золота весьма перспективно. Помимо растворения золота, методы его извлечения из растворов, прежде всего биосорбенты, следует разрабатывать на основе использования, например, микроскопических грибов. Очень ограниченная информация в области бактериальной гидрометаллургии и биохимических исследований процесса свидетельствует о том, что данный раздел науки мало изучен и находится на стадии изучения и формирования.

Выщелачивание золота из бедных руд и стабильных концентратов следует рассматривать не только на основе микробиологических, но и на основе малотоксичных химических растворителей металлов. Необходимо искать новые растворители золота, изучать механизм и кинетику взаимодействия металла с ними.

ANNOTATION

In recent years, microbiological methods of processing various poor ores and concentrates of non-ferrous metals have been intensively studied and mastered. Bacterial technology is used in industry to extract copper, uranium and gold from ores in combination with heap and underground leaching methods. This is not related to the use or extraction of toxic compounds and is promising for other types of mineral raw materials. According to the literature, it is worth paying special attention to heterotrophic microorganisms, the use of which in the hydrometallurgy of gold is very promising. In addition to the dissolution of gold, methods for its extraction from solutions, primarily biosorbents, should be developed based on the use of, for example, microscopic fungi. Very limited information in the field of bacterial hydrometallurgy and biochemical studies of the process indicates that this branch of science has been little studied and is at the stage of study and formation.

Leaching of gold from poor ores and stable concentrates should be considered not only on the basis of microbiological, but also on the basis of low-toxic chemical solvents of metals. It is necessary to look for new gold solvents, to study the mechanism and kinetics of metal interaction with them.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Әдеби шолу	10
1.1 Алтын туралы жалпы мәлімет	10
1.2 Құрамында алтын бар шикізаттың сипаттамасы	11
1.3 Минералдық-шикізат базасының жай-күйі және әлемдік алтын нарығы	13
2 Биосферадағы алтынның таралуы	14
2.1 Алтынды бактериялық шаймалау	15
2.2 Алтынды ерітудегі микроорганизмдердің рөлі	16
2.3 Бактериялық шаймалау механизмі.	18
2.4 Алтынның гипергенді көші-қоны	19
2.5 Биошаймалау процесіне әсер ететін факторлар	19
2.6 Бактериялық шаймалау экономикасы	22
2.7 Алтынды шаймалау кезінде қолданылатын микроорганизмдер.	
Гетеротрофты бактериялар	22
2.8 Тиобациллалар	24
2.9 <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	26
3 Зерттеу материалдары мен әдістері	28
3.1 Зерттеу объектісі – Ақбақай алтын кен орны	28
Қорытынды	33
Пайдаланылған әдебиеттер	35

КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі. Пайдалы қазбаларды игеруде экологиялық қауіпсіздік мәселесі маңызды орын алады:

- сульфидті минералдардың бактериялық – химиялық тотығуымен байланысты түзілетін кеніштің, үйінділердің және көмір шахталарының қышқыл кеніш сулары қоршаған ортаны металл иондарымен ластайды;

- су мен топырақтың металл иондарымен ластануы немесе атмосфераға улы газдардың шығарылуы табиғи экожүйелердің сарқылуын және тозуын тудырады, сонымен қатар адам денсаулығына едәуір қауіп төндіреді.

Осындай экологиялық мәселелерді тудырмау үшін, адам өмірі мен қоршаған ортаға зиян келтірмеу үшін оңтайлы технологиялар мен тиімді әдістерді қолдану ұсынылады.

Микробтық процестер мен биогидрометаллургиялық технологиялар күрделі бай және баланстан тыс кендерді ұтымды және кешенді өндеуге ғана емес, сонымен қатар тау-кен өнеркәсібіндегі экологиялық проблемаларды шешуге бағытталған.

Алтын сульфидті кен орындарынан сульфидті минералдардың тотығуы микроорганизмдердің қатысуымен жүреді. Микроорганизмдер табиғатта алтынның толық циклын жүзеге асыра алады. Алтын ерітіндіге өтеді. Бұл кен ерітінділерінде гетеротрофты бактериялар әрқашан көп мөлшерде кездеседі. Автотрофтар мен гетеротрофтардың табиғи штамдары тұрақты минералдарда табиғи алтын мен алтынды ерітуге қабілетті.

Осы жұмыстың мақсаты алтынды алудың қолайлы жылдамдығын, процестің арзандауын және экологиялық жүктемені төмендетуді қамтамасыз ететін құрамында алтыны бар кедей кендерді шаймалаудың тиімді микробиологиялық әдістерін әзірлеу, кен және шашыранды кен орындарынан оқшауланған бактериялар мен микроскопиялық саңырауқұлақтардың табиғи штамдарының қабілетін зерттеу, ұсақ дисперсті алтынмен әрекеттесу, биогеохимиялық кедергілерге алтынның шоғырлануына микроорганизмдердің ықтимал қатысу дәрежесін анықтау болып табылады.

Қойылған мақсатқа сәйкес осы зерттеудің негізгі міндеттері айқындалды:

1. Сульфидті кендердің микрофлорасын бөліп алу және зерттеу
2. Химиялық қосылыстардың әртүрлі концентрацияларының темір тотықтырғыш бактериялардың өсуіне және дамуына әсерін анықтау.
3. Микроорганизмдердің табиғи штамдарының табиғи алтынмен әрекеттесу қабілетін анықтау. Белсенді алтын биосорбенттерін іздеу.
4. Кен орындары мен шөгінділердегі микроорганизмдердің жинақтау белсенділігінің мүмкіндіктерін салыстыру және анықтау.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы: *Thiobacillus ferrooxidans* микроорганизмінің *Acidithiobacillus ferrooxidans* штаммын сульфидті кендерден алтынды биошаймалау арқылы бөліп алуда қолдану тиімді болды.

Зерттеулерге сәйкес, жоғары тотығу потенциалы сульфидті

минералдардың ыдырауына, бактериялық шаймалауға әсер етеді, сонымен қатар тиімділігі жоғары температура мен қоршаған ортаның қышқылдығымен есептеледі.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы: Темір сульфидінің тотығуының тион бактерияларымен сілтісіздендіру үшін оңтайлы технологиялық параметрлер (температура, реагент концентрациясы, байланыс уақыты) орнатылды. Диссертацияда қамтылған ғылыми ережелердің, тұжырымдар мен ұсынымдардың негізділігі мен дұрыстығы олардың құрамында алтыны бар кендерден алтын алуды дамытудың белгілі үрдістеріне, бұрын алынған нәтижелер мен әзірлемелерге сәйкес келуімен расталады, сондай-ақ гидрометаллургиялық процестердің қазіргі заманғы теориясы және ұқсас процестерді жүзеге асыру практикасы тұрғысынан, эксперименттік зерттеулерде пайдаланылған факторлардың статистикалық маңыздылығымен, физика-математикалық зерттеулердің жоғары технологиялық әдістерін қолданумен, теориялық және эксперименттік деректерді химиялық талдау және өңдеумен дәлелденеді.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі ережелері «Жаңа кезеңдегі ғылым мен білімнің даму перспективалары» халықаралық ХХІ Байқоңыров оқуларында (Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған Университеті) баяндалып, талқыланды. Диссертацияның тақырыбы бойынша 1 мақала жарық көрді.

1. Әдеби шолу

1.1 Алтын туралы жалпы мәлімет

Алтын – таза түрінде ашық сары түске ие жалғыз металл. Бұл өте жұмсақ, ерекше икемділік пен тұтқырлықпен сипатталатын металл. Алтын барлық металдардың ішіндегі ең асыл металл.

Бүгінгі таңда өндірілген алтынның шамамен 97% - ы табиғи алтыннан және оның тек 3% - ы калаверит AuTe_2 , креннерит $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$, сильванит AuAgTe_4 және петцит Ag_3AuTe_2 минералдарын құрайтын теллуридтерден алынады [1].

1 кесте – Алтынның маңызды физикалық қасиеттері

Қасиеттері	Алтын
Атомдық номері	79
Атомдық массасы	196,967
20°С кездегі тығыздығы, г / см ³	19,32
Атомдық радиусы, нм	0,144
Тұрақты кристалдық торы, нм	0,40786
Балқу температурасы, °С	1064,4
Қайнау температурасы, °С	2880
Қаттылығы (Моос шкаласы)	2,5

Басқа физикалық қасиеттердің ішінде жоғары жылу мен электр өткізгіштігін атап өтуге болады. Бұл көрсеткіштер бойынша алтын күміс пен мыстан кейінгі екінші орында.

Алтын - 1-ші топтың d-элементі. Оның сыртқы электронды қабатында бір электрон, ал соңғы қабатында 10 электрон бар. Бұл электронды қабат белгілі бір жағдайларда электрондарды ішінара жоғалтуы мүмкін. Сондықтан алтынның тотығу күйі +1 ғана емес, сонымен қатар +3 болады [36].

Алтынның маңызды және өзіне тән қасиеті - химиялық белсенділіктің төмендігі. Алтын ауада, тіпті ылғал болған кезде де өзгермейді. Оған ежелгі уақытта жасалған алтын бұйымдар дәлел бола алады. Олар бүгінгі күнге дейін өзгеріссіз қалып отыр. Жоғары температурада алтын азот, күкірт, сутегі, көміртек немесе оттегімен әрекеттеспейді [5,36].

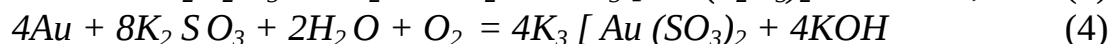
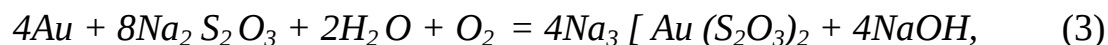
Алтын галогендермен бірігуі мүмкін. Бөлме температурасында-ак броммен бірігу процесі жүреді. Фтор, хлор және йодпен процесс тек қызған кезде жүреді[5].

Сулы ерітінділерде алтынның электродтық потенциалы өте жоғары:



Осыған байланысты алтын сілтілерде және күкірт, азот, тұз, гидроторлы және органикалық қышқылдарда ерімейді. Алтын сілтілі және сілтілі жер металдарының цианидтері, оттегі, патша сұйығы, тұз қышқылының хлорына бай сулы ерітінділерде жақсы ериді [5].

Сонымен қатар, сульфат және сульфит ерітінділерінде тотықтырғыш болған кезде алтын комплекстер түзіп ериді:



Тиосульфат және сульфит ерітінділері аз қауіпті ерітінділер болып табылады, бірақ олар ерітіндіге алтын алудың аз деңгейімен сипатталады.

1.2 Құрамында алтын бар шикізаттың сипаттамасы

Алтын қымбат металл ретінде адамзат бүкіл тарихында қолданылады. Оның құндылығы өндірістің қиындығына байланысты: табиғатта металл табу қиын, оны тау жынысынан алу одан да қиын.

Алтын химиялық элемент ретінде барлық жерде кездеседі. Бағалы металды тек кен орындарында табуға болады деген пікір дұрыс емес. Тозанданған күйдегі алтын өсімдіктер мен жануарларда, сондай-ақ адам ағзасында болады. Мұндай жағдайларда металдың болуын тек арнайы аналитикалық әдістермен анықтауға болады. Табиғатта алтын мұхиттардың суларында кездеседі, оның бір тонна суға концентрациясы 4-тен 10 мг-ға дейін. Мұндай көрсеткіш жақсы, бірақ бүгінгі күні Мұхит суларынан металл алудың тиімді әдістері жоқ [5].

Әлемдік алтын өндіру өнеркәсібі шикізат базасы ретінде тікелей алтын кен орындарын және құрамында бағалы металл бар кешенді кен орындарын пайдаланады. Табиғатта металл кен орындарының екі түрі бар: байырғы және шашыраңқы.

Байырғы кен орындары бастапқы болып табылады, өйткені олардың пайда болуы магмалық процестермен байланысты. Жердің магмасының өзі қымбат металдың жоғары концентрациясымен сипатталады [6].

Табиғатта алтынның басқа элементтері бар қорытпалар түрінде болу себептері де магмалық процестермен түсіндіріледі. Магманың құрамы әртүрлі жерлерде әр түрлі болуы мүмкін, құрам компоненттерінің қатынасы, сондай-ақ желілердің қалыптасу шарттары тұрақты шамаларға жатпайды. Осы себепті әр түрлі кен орындары бір-бірінен негізгі тау жынысы мен алтын қорытпасының құрамымен, алтын желілерінің пішіні мен орналасуымен, қымбат металдарды өндіру жағдайымен ерекшеленеді. Көбінесе алтын қоспаларының арасында мыс, күміс және платина тобындағы металдар кездеседі.

Шашыраңқы кен орындары қайталама деп аталады, өйткені олар негізгі кен орындарындағы бағалы металл кен орындарына сыртқы факторлардың әсерінен пайда болды.

Алтын табиғатта тау жыныстарынан температураның, желдің, жауын шашынның әсерінен босап шығады. Ал бағалы металлдың жылжуына су ықпал етеді. Тығыздығына байланысты алтын белгілі бір жерлерде шөгіп қалады.

Жақсы дамыған шашыранды кендердегі алтынның қазіргі, үнемді ең аз мөлшері 0,1-ден 0,15 г/т-ға дейін. Кеннің құрамына және оның кен орнының сипатына байланысты ішкі кен орны үшін экономикалық минимум 3-5 г/т құрайды, әдетте құрамында алтын бар кендерде 5-15 г/т алтын болады. Сирек бай кен орындарында алтын жүздеген г/т дейін, борпылдақ құмдарда шамамен 150-300 мг / м³ болады [6].

Химиялық инерттілігіне байланысты алтын көбінесе кендерде табиғи металл түрінде болады. Рудадағы табиғи алтын тұрақты емес пішіндегі денелер түрінде болады: кеуекті, қабыршақты, дендрит, астық тәрізді, имекті. Табиғи алтын бөлшектерінің химиялық құрамы әр түрлі болады. Табиғи алтынға тән қоспалар күміс, мыс, темір болып табылады, аз мөлшерде өте сирек кездесетін — мышьяк, висмут, теллур, платина және басқа элементтер. Табиғи алтында алтынның мөлшері шамамен 75-90% құрайды.

Металл алтын алу үшін:

алтынды кендері

мыс-никель полиметалл платиналары және алтын қорғасын-мырыш сульфидті кендері;

қайталама шикізат секілді көздері бар.

Құрамында алтыны бар кендер - бұл сульфидтерде немесе кварцта жиі кездесетін әртүрлі тау жыныстарындағы металл алтындары, теллуридтер және селенидтер бар сеппелі тау жыныстары. Полиметалл кендерінде сульфидті минералдар алтын тасымалдаушы болып табылады [6].

Алтынның маңызды технологиялық сипаттамаларының бірі- бөлшектердің мөлшері. Алтын бөлшектерінің мөлшеріне байланысты келесі түрлерге бөлуге болады:

алтын мөлшері 1-ден 5 мм - ге дейінгі өте ірі алтын;

бөлшектердің мөлшері 0,1-ден 1 мм-ге дейінгі ірі алтын;

мөлшері 0,1-ден 0,001 мм-ге дейінгі ұсақ алтын;

бөлшектердің мөлшері 0,001 мм-ден аз жұқа дисперсті алтын;

бөлшектердің мөлшері 0,1 мкм-ден аз субмикроскопиялық алтын.

Тотығу дәрежесі бойынша кен бастапқы (сульфидті), ішінара тотыққан (аралас) және тотыққан болып бөлінеді.

Бүгінгі таңда ең көп қолданылатын кендер бастапқы кендер болып табылады. Сульфидтер бастапқы кендерде оннан 80-90% - ға дейін болады. Кейбір кендерде тотыққан минералдар да бар, бірақ олар аз мөлшерде болғандықтан өңдеу технологиясына іс жүзінде әсер етпейді.

Тотыққан кендер олардағы темір оксидтерінің болуымен сипатталады. Кейбір кендерде басқа металдардың тотыққан минералдары және шөгінді компоненттер бар. Рудадағы сульфидтер аз мөлшерде болады және іс

жүзінде бұл процеске әсер етпейді. Темірдің және басқа металдардың тотыққан минералдары жартылай тотыққан және сульфидті кендерде кездеседі.

Баланстан тыс кен, баланстық кеннен айырмашылығы, пайдалы құрамы төмен материал болып табылады. Баланстық және баланстан тыс кендердің санаттары бір кен орнының шегінде де өзгереді [1].

1.3 Минералдық-шикізат базасының жай-күйі және әлемдік алтын нарығы

Қазақстанның бастың байлығы - оның металдары. Әлемнің жетекші елдері ғалымдарының айтуынша, Қазақстан табиғи ресурстар бойынша әлемдегі алтыншы орынды иеленеді. Оған дәлел Д.И. Менделеев кестесіндегі 110 элементтің 99-ы кездесетіндігі, оның 70-і зерттеліп, 60-ы әлі де өндіріліп, пайдаланылуда. Қазақстан алтын және басқа да түсті металдар қоры бойынша әлемдегі ең бай елдердің бірі болып табылады[4]. Ол алтынның қоры бойынша әлем елдерінің бірінші ондығына, ал өндірісі бойынша үшінші ондығына кіреді. Алтын кен орындары Қазақстанның барлық аудандарында анықталған, резервтер тұрғысынан алғанда, жетекші орынды Шығыс пен Орталық Қазақстан иеленді. Алтын өндірілетін ірі кен орындары: Солтүстік және Орталық Қазақстанда – Жолымбет алтын кені, Бестөбе алтын кені, Ақсу алтын кені, Ақбейіт алтын кені; Батыс Қазақстанда – Юбилейное; Шығыс Қазақстанда – Бақыршық алтын кені, Суздаль, т.б.; Оңтүстік Қазақстанда – Ақбақай алтын кені. Өнеркәсіптік игерілуге Көкшетау ауданындағы аса ірі Васильков кен орны даярланған [3].

2 кесте – Қазақстанның ірі алтын кен орындары

Қазақстанның ірі және әлеуетті ірі алтын кен орындары	
Шығыс Қазақстан	Бақыршық, Большевик, Риддер-Сокол, Суздаль
Солтүстік Қазақстан	Васильковское, Сымбат, Аққарғын
Оңтүстік Қазақстан	Ақбақай, Мыңарал, Қарамұрын
Орталық Қазақстан	Ақсу, Жолымбет, Бестөбе, Еңбекші, Бозшакөл
Батыс Қазақстан	Юбилейное

Қазақстанда алтын өндіру көлемі 2010 жылдың ұқсас кезеңімен салыстырғанда 2011 жылдың қаңтарында 72,2% - ға ұлғайды. 2012 жылы Қазақстанда өңделмеген алтын өндірісі 29,9 тоннаны құрады. Өнеркәсіп және жаңа технологиялар министрлігі, 2014 жылға қарай жылына 70 тоннадан астам алтын өндіруге қол жеткізу үшін орнатылған [4].

2 Биосферадағы алтынның таралуы

Биосферада алтын барлық тау жыныстарында шашыраңқы күйде болады (3 кесте). Алтынның жоғары концентрациясы органикалық заттармен байытылған шөгінділерде байқалады. Алтын тәрізді аудандарда топырақ жамылғысы алтынның жоғары концентрациясымен сипатталады. Теңіз суында алтын AuCl_2 , AuCl_4 , AuO_2 кешендерінде және органосульфат қосылыстары түрінде болады деп саналады. Алтын тірі организмдерде де кездеседі (4 кесте). Алтын жоғары өсінділерде, саңырауқұлақтардың әртүрлі түрлерінде, қыналар мен мүктерде жиналады. Биосферадағы алтынның таралу сипаты туралы жоғарыда келтірілген деректер бұл элементтің физика-химиялық және биологиялық факторлардың әсерінен көші-қон процестеріне қатысуын көрсетеді. Бұл жұмыста алтынның көші-қоны мен тұндыруындағы микроорганизмдердің рөлі ғана қарастырылады.

3 кесте – Әр түрлі геологиялық түзілімдердегі алтынның мөлшері

Геологиялық түзілімдердің типі	Алтын мөлшері, мг/т
Магмалық жыныстар (қышқыл, негізгі, орташа, ультранегізгі)	0,16 – 16,0
Шөгінді терригендік жыныстар (конгломераты, құмдақтар, аргиллиты және т. б.)	1,0 – 5,5
биогендік жыныстар: көмір латерит сапропель фосфориттер торф кораллы кероген көмір сланцтері топырақ әлемдік мұхит суы	11000 дейін 10000 дейін 15 – 2500 30 дейін 5 – 50 8 800 – 2200 200 дейін 50 – 10000 0,8 – 50

4 кесте – Тірі организмдердегі алтынның мөлшері

Тірі организмдер	Алтын мөлшері, мг/т
Теңіздер балдырлар судағы жүзінділер (органикалық заттары бар) жануарлар (теңіз шаяны, мүктер, теңіз жұлдызы)	150 $0,4 - 15,3 \cdot 10^{-7}$ 100 – 750
Руда кенорны микроорганизмдер	32 – 85

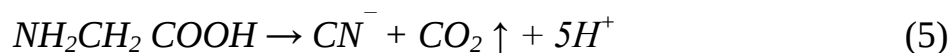
2.1 Алтынды бактериялық шаймалау

Алтынды биошаймалау төмен сұрыпты кендерден алтынды алу кезіндегі әдеттегі әдіс үймелеп циандау, кейіннен алтынды ерітіндіден белсенді көмір немесе мырыш ұнтағы көмегімен бөліп шығару болып табылады. Тауарлық алтынның жоғары құны мен оны өндірудің төмен өзіндік құнына қарамастан, бұл әдістерде энергия мен суды едәуір тұтынумен, сондай-ақ экологиялық шектеулермен анықталатын кемшіліктер бар. Сондықтан табиғи жүйелерде кездесетін микроорганизмдерді қолданатын және алтынның еруін немесе концентрациясын анықтайтын процестер тартымды балама болып табылады [8].

Топырақ микроорганизмдері алтынның биологиялық белсенді ортасы болып табылады – инкубацияны 50 күнінде олар топырақтағы алтын массасының 80% - на дейін еруі мүмкін (австралиялық топырақтарға тән жағдайлар үшін анықталған [8]). Микроорганизмдердің алтынды еріту, тасымалдау және тұндыру қабілеті гидрометаллургияда реагенттердің табиғи биосинтезін қолдана отырып жүзеге асырылуы мүмкін [8,9].

Микроорганизмдердің оңтайлы жағдайда көбеюі алтынды ерітуге қабілетті аминқышқылдарының 14 г/дм³ дейін концентрациясы бар ерітінділер алуға мүмкіндік береді; олардың ішіндегі ең белсенділері (тотықтырғыштар болған кезде) - аспарт қышқылы (C₄H₇NO₄) және гистидин (C₆H₉N₃O₂). Сонымен, пероксидтер мен амин қышқылдарын шығаратын мутациялық бактерияларды *Bacillus* штаммы рН = 8,5-10,0 кезінде 120-240 сағат ішінде кварц кеніндегі алтынның 70-82% дейін ерітуге қабілетті [11].

Өнеркәсіптік жағдайда алтынды ерітуге жарамды бірқатар табиғи цианогенді микроорганизмдер зерттелді [8]. Цианобактерияларға жататын фотолитотрофты микроорганизмдер жарық сіңіру арқылы энергия алады, ал молекулалық сутегі, күкірт қосылыстары мен су электронды донор ретінде қолданылады. Төменде бактериялық жасушаның құрамына кіретін глициннің ыдырауына байланысты цианид иондарының түзілуін сипаттайтын реакция берілген:



Цианид *Chromobacterium violaceum* бактерияларының штамдарын және *Pseudomonas* тектес бактериялардың кейбір өкілдерін синтездейді [12,13]. Атап айтқанда, *Chromobacterium violaceum* бактерияларының штамдарын қолдана отырып, мәдени ортада 215 мг Au/дм³ бар ерітінділерді алуға болады [14].

Цианид түзетін бактерияларды Алтынды үйінді шаймалау кезінде қолдануға болады [15]. Бұл әдіс алтынның аз еру жылдамдығына рұқсат етілген жағдайда өмір сүруге қабілетті болуы мүмкін. Ұқсас микроорганизмдерді шалғай жерлерде орналасқан үздіксіз жүктелетін биореакторларда цианидті синтездеу үшін де қолдануға болады, яғни көлік

шығындары үлкен болған кезде. Егер алтын алу дәрежесі шамамен 50% экономикалық негізделген болса, шаймалау ерітіндісіндегі "биоцианидтің" төмен концентрациясы экологиялық қауіпті және үздіксіз циандау жағдайларына тән өңдеудің өзіндік құнын төмендетуі мүмкін.

Pseudomonas plecoglossicida грамм-теріс бактерияларының популяциясы 80 сағаттан кейін инкубация 500 мг/дм³ Au(CN)₂-ге дейін ерітінділер түзе отырып, баспа платаларының қалдықтарынан 70% - ға дейін алтынды ерітуге қабілетті екендігі көрсетілген[16].

Кендерден Алтынды сілтілеу кезінде цианидті қосылыстардың негізгі бәсекелесі аммиак-тиосульфат құрамы деп саналады[17]. Бұл технологияны АҚШ - та Ньюмонт алтынды үймелеп шаймалау үшін қолданады – 2003 жылға дейін сульфидтер мен көміртегі мөлшері жоғары 1,25 миллион тонна төмен сапалы кендер қайта өңделді [18].

Алтынның еруін анықтайтын реагенттер (тиосульфат және аммоний иондары) табиғи жағдайда қарапайым топырақ бактериялары мен актиномицеттердің метаболизмі нәтижесінде пайда болады. Аммоний ионы мочеина CO(NH₂)₂ гидролизінің өнімі болып табылады, ол бактериялардың көптеген түрлерімен шығарылады [19], ал тиосульфат ионы грамм оң бактериялардың метаболизмі кезінде (атап айтқанда *Streptomyces fradiae*[20]) және *A. thioragus* және *A. ferrooxidans* сияқты күкірт және темір тотықтырғыш бактериялардың сульфидтерімен әрекеттесу нәтижесінде пайда болады[21].

Бактериялар синтездейтін реагенттерді қолдану арқылы жүргізілген тәжірибелерде пирит пен арсенопиритпен байланысқан кварц кенінен тиосульфатты шаймалау 35 күнде бір грамм рудадан 0,55 мкг алтын алуға мүмкіндік беретіні көрсетілген [22].

Алтынды тиімді еріту сонымен қатар *Aspergillus niger* микроскопиялық қалыптарымен, ақуыз сығындыларымен және гидролизаттармен жүзеге асырылады, олардың құрамында фенилаланин (C₉H₁₁NO₂), аспарагин , глицин, гистидин, серин (C₃H₇N₁O₃) және метионин (C₅H₁₁NO₂S) сияқты алтын еритін аминқышқылдары бар [10]. Т:Ж = 1:2 кезінде тотықтырғыштың қатысуымен (4 г/дм³ калий перманганаты) 50 сағат ішінде кварц-карбонатты кендерден ірілігі < 0,1 мм алтынды үш сатылы сілтілеу кезінде сілтілендіру үшін белоктық гидролизаттарды қолдану 70% - дан астам алтынды алуға мүмкіндік берді. Ақуыз гидролизаттарын жұқа сеппелі алтынмен кедей шикізаттан алтынды үймелеп шаймалау үшін қолдануға болады.

2.2 Алтынды ерітудегі микроорганизмдердің рөлі

Алтын сульфидті кен орындарында сульфидті минералдардың тотығуы микроорганизмдердің қатысуымен жүретіні белгілі. Сонымен қатар, Алтын ерітіндіге өтеді, бұл оның кендерді ағызатын сулардағы құрамының жоғарылауымен дәлелденеді, эксперименттік зерттеулер сонымен қатар

пирит пен галениттің бактериялық тотығуымен бактериялар болмаған бақылауға қарағанда алтын ерітіндіге едәуір көп түсетінін көрсетеді (5 кесте). И. А. Каковскийдің термодинамикалық есептеулері [28] осы шарттарда жеткілікті күшті тиосульфат кешендерінің пайда болуын көрсетеді.

Біз жүргізген микробиологиялық зерттеулер сонымен қатар алтын кен орындарының кендері мен суларында Гетеротрофты бактериялардың көп мөлшерін көрсетті (6 кесте). Сонымен қатар, бактериялардың жасушаларының саны жыныстар мен кендердің жойылу түрі мен дәрежесіне байланысты. Кендердегі гетеротрофтардың тіршілік әрекеті Органикалық заттардың концентрациясына байланысты, зерттелген кен үлгілері мен суларда жалпы және амин азотының 0,01 - 0,1%, сондай - ақ бос аминқышқылдары-аланин, валин, серин, глутамин және аспарт қышқылдары табылған, ал үлгілердің рН 5.0-8.4 аралығында болады.

5 кесте – *Thiobacillus ferrooxidans* сульфидтерінің тотығуы кезіндегі ерітіндідегі алтын мөлшері

Сульфидтер	Бактериялардың болуы	Ерітіндідегі алтын мөлшері, мкг/т
Гравитациялық концентрат	+	270 – 520
	–	0 – 60
Пирит	+	60 – 70
	–	0
Галенит	+	320 – 540
	–	230

Зерттелген кендерде микроорганизмдердің дамуына қолайлы жағдайлар бар деп болжауға болады, ал жоғарыда аталған қышқылдар олардың өмір сүру белсенділігінің өнімі болып табылады.

Алтынды ерітуде белсенді микроорганизмдерді анықтау кен материалының микробтық ландшафттарының көмегімен жүргізілді. Осы мақсатта бөлшектердің мөлшері 0,25 мм болатын кен немесе ұнтақты алтын нашар қатты ортаның бетіне жағылды. Белгілі бір уақыттан кейін алтынның иондық күйге ауысуы байқалды. Ландшафттарда *Bacillus* және *Pseudomonas* ұрпақтарының өкілдері басым болды.

6 кесте – Алтын кен орындарында гетеротрофты микроорганизмдердің таралуы

	Микроорганизмдер жасушаларының саны мың/1т кен			
	Бактерия-лар	Бацилла-лар	Саңырау-күлактар	Актиноми-цеттер
Бұзылған каолинделген жыныстар	4240	1300	360	140

Тектоникалық глина				
Жартылай бұзылған	12140	2720	1320	470
конгломерат	6720	1550	1280	1380
Жартылай ыдыраған				
көмір тақтатастары	16780	4510	2940	6900

Гетеротрофты бактериялармен алтынның еруі туралы мәліметтер 7-кестеде келтірілген.

7-кестедегі мәліметтерден гетеротрофты бактериялардың әртүрлі түрлеріндегі алтынның еру белсенділігі бірдей емес екенін көруге болады. Алтынды ерітудегі ең белсенді *B. megaterium*, *B. mesentericus* *P. liquefaciens* болды. рН жоғарылаған сайын алтынның еру белсенділігі артты.

7 кесте – Жұқа сеппелі алтынның микроорганизмдермен еруі

Бактерия	штамм	Ерітіндідегі алтын мөлшері мг/л Тәулік, (рН – 8,0-8,5)		
		80	110	140
<i>Micrococcus flavus</i>	16	0,12	0,21	0,21
<i>B. megaterium</i>	20	1,21	2,15	2,15
<i>B. mesentericus</i>	20	0,17	0,31	1,35
<i>B. solitarium</i>	22	0,06	0,08	0,24
<i>B. nitrificans</i>	29	0,20	0,22	0,47
<i>B. megaterium</i>	30	0,37	1,54	1,54
<i>P. liquefaciens</i>	9	1,62	–	–
Бақылау		0	0	–

Микроскопиялық саңырауқұлақтар мен актиномицеттер алтынды ерітуде аз белсенді, олардың қатысуымен ерітіндідегі алтын концентрациясы 0,02 мг/л-ден аспады.

Осылайша, автотрофтар мен гетеротрофтардың табиғи штамдары табиғи алтынды ерітуге қабілетті екендігі байқалады. Егер біз бактериялардың белсенділігін геологиялық уақытта қарастыратын болсақ, онда оларды алтынның биосферадағы көші-қонындағы маңызды факторлардың бірі деп санауға болады. Алайда алтынды микроорганизмдермен еріту механизмі ұзақ уақыт бойы түсініксіз болып келді.

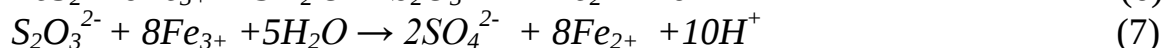
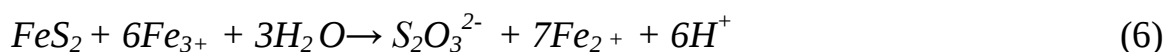
2.3 Бактериялық шаймалау механизмдері.

Қазіргі уақытта металды шаймалау негізінен химиялық процесс ретінде

танылады, онда темір мен протондар шаймалау реакцияларын жүргізуге жауап береді. Микроорганизмдердің рөлі-шаймалау химикаттарын құру және шаймалау реакциясы жүретін кеңістікті құру. Микроорганизмдер әдетте минералдың бетіне жабысқан кезде экзополисахарид қабатын құрайды, бірақ планктон жасушалары түрінде өспейді [23]. Дәл осы қабатта және ерітіндінің көлемінде емес, тотығу реакциясы тез және тиімді жүреді, сондықтан экзополисахарид қабаты реакциялық кеңістік ретінде қызмет етеді [24].

Минералдардың еру реакциясы барлық металл сульфидтерімен бірдей емес және әртүрлі металл сульфидтерінің тотығуы әртүрлі аралық қосылыстар арқылы жүреді. Қысқаша айтқанда, тиосульфат механизмі пирит (FeS_2) және молибденит (MoS_2) сияқты қышқылда ерімейтін металл сульфидтерін және сфалерит (ZnS), халькопирит (CuFeS_2) немесе галенит (PbS) сияқты қышқыл еритін металл сульфидтерін тотықтыру үшін ұсынылды [25].

Тиосульфат механизмінде тұздану үш валентті темірдің қышқылда ерімейтін металл сульфидтеріне әсер етуімен жүреді, ал тиосульфат негізгі аралық өнім, ал сульфат негізгі соңғы өнім болып табылады. Пиритті минералдың мысалы ретінде қолдана отырып, реакциялар келесідей ұсынылуы мүмкін:



Полисульфидті механизм жағдайында қышқылда еритін металл сульфидінің тұздануы негізгі аралық қосылыс ретінде қарапайым күкіртпен тривалентті темір мен протондардың аралас шабуылына байланысты болады. Бұл қарапайым күкірт салыстырмалы түрде тұрақты, бірақ күкірт тотықтыратын микробтардың әсерінен сульфатқа дейін тотығуы мүмкін, мысалы, *Acidithiobacillus thiooxidans* немесе *Acidithiobacillus caldus*.

Минералдардың биошаймалануы – бұл негізінен мыс пен уран алу үшін техникалық ауқымда пайдаланылатын сульфидті кендерді қайта өңдеудің қарапайым және тиімді технологиясы. Микробты шаймалау процестерінің тиімділігі мен үнемділігі көбінесе бактериялардың белсенділігіне, сондай-ақ кеннің химиялық және минералогиялық құрамына байланысты. Сондықтан кендердің жекелеген түрлерінде сыналған процестерді басқаларына ауыстыруға болмайды. Техникалық қолдану мүмкін болмас бұрын, кеннің әр түрі үшін шаймалаудың оңтайлы жағдайларын жасау қажет.

2.4 Алтынның гипергенді көші-қоны

Жоғарыда көрсетілген (кесте 3 және 4) алтын табиғатта қайта бөлінеді. Алайда, бұл процестің шарттары мен ауқымы әлі де жеткілікті бағаланбаған. Алтынның гипергенді көші-қоны алтын кен орындары жағдайында айқын

байқалады. Аэробты аймақтағы сульфидтердің микробиологиялық және химиялық тотығуы кезінде Алтын ериді және тиосульфат, галоид және алтын органикалық кешендер түрінде сульфат суларымен кен орындарының төменгі қабаттарына өтеді. Тотығу аймағынан төмен кейбір кен орындарында күкіртсутекті сулар байқалады, олардың құрамында сульфатты төмендететін бактериялар бар.

2.5 Бишаймалау процесіне әсер ететін факторлар

Шаймалаудың тиімділігі көбінесе микроорганизмдердің тиімділігіне, сондай-ақ шаймаланатын кеннің химиялық және минералогиялық құрамына байланысты. Металл өндірудің максималды шығымдылығына шаймалау жағдайлары бактериялардың оңтайлы өсу жағдайларына сәйкес келген кезде ғана қол жеткізуге болады.

Сульфидті материалдардан металдарды алу үшін қолданылатын микроорганизмдер хемолитоавтотрофты бактериялар болып табылады, сондықтан өсу үшін тек бейорганикалық қосылыстар қажет. Әдетте минералды қоректік заттар қоршаған ортадан және сілтіленетін материалдан келеді. Оңтайлы өсу үшін аммоний, фосфат және магний тұздары мен бірге темір мен күкірт қосылыстарын қосуға болады.

Оттегінің жеткілікті мөлшері жақсы өсу мен шаймалау бактерияларының жоғары белсенділігінің алғы шарты болып табылады. Зертханада бұған аэрация, араластыру немесе шайқау арқылы қол жеткізуге болады. Техникалық масштабта, әсіресе үйінді немесе үйінді шаймалау жағдайында жеткілікті оттегі мен қамтамасыз ету кейбір қиындықтарды тудыруы мүмкін. Көмірқышқыл газы – көміртектің жалғыз қажетті көзі, бірақ CO_2 қосудың қажеті жоқ.

pH-ның дұрыс мәнін реттеу шаймалау бактерияларының өсуінің қажетті шарты болып табылады және металдарды еріту үшін өте маңызды. 2,0–2,5 диапазонындағы pH мәні темір мен сульфидтің бактериялық тотығуы үшін оңтайлы болып табылады. pH мәні 2,0-ден төмен болған кезде *T. ferrooxidans* айтарлықтай ингибируется, бірақ *T. ferrooxidans* қышқылдың қосылуын жоғарылату арқылы оданда төмен pH мәндеріне бейімделуі мүмкін.

Ортаның pH-ын микроорганизмдердің максималды өсуі үшін оңтайлы мәнге жеткізу керек, сонымен қатар pH-ның қолайлы диапазоны бар ерітінді алу керек. Шаймалау үшін ең қолайлы жағдайлар металдардың көпшілігі ерітіндінің pH төмен болған кезде пайда болатыны белгілі, өйткені олар металдардың ерігіштігін арттырады.

Бишаймалау процестері қоршаған орта температурасынан 80°C температурада жұмыс істеген демонстрациялық қондырғыға дейінгі температура диапазонында жүзеге асырылады. Қоршаған орта температурасынан 40°C-қа дейінгі процестерде кездесетін микробтардың түрлері минералға тәуелсіз, 45-55°C және 75-80°C температура

диапазонындағы микробтар сияқты ұқсас болады. Төменде сипатталғандай, биологиялық арқылы минералды ыдырау процестерінің екі ауқымды категориясы бар. Кен немесе концентрат олар суарылатын жерге үймеге немесе үйіндіге орналастырылады немесе ұсақталған минералды суспензия араластырғышы бар резервуарға орналастырылады, онда ол қарқынды түрде аэрацияланады. Әдетте минералды еріту процестері экзотермиялық болып табылады және резервуарларды пайдалану кезінде 40°C температурада жұмыс істейтін процестердің оңтайлы температурасын ұстап тұру үшін салқындату қажет.

Темір мен *T. ferrooxidans* сульфидтерінің оңтайлы тотығу температурасы 28-ден 30°C-қа дейін. Төмен температурада металл өндірудің төмендеуі байқалады, бірақ 4°C-та мыс, кобальт, никель және мырыштың бактериялық еруі байқалды.

Микробтардың өсуіне оңтайлы жағдай жасау үшін биошаймалау үшін қолайлы температура диапазоны сақталуы керек. Мезофильді микробтар 28-35°C температурада, ал термобактериялар 50°C-тан жоғары температурада өседі. Егер температура 15°C-тан төмен түссе, биошаймалау процесі әдетте тиімсіз болады. Биошаймалаудың тиімділігі микробтық культураның орнына пайдаланылған орта жағдайында жоғары температурада жұмыс істеу есебінен артуы мүмкін [2,7].

2.6 Бактериялық шаймалау экономикасы.

Қазіргі уақытта әлемдік алтын өндірісінің үштен бірі тұрақты кен орындарынан өндіріледі. Биошаймалау-тұрақты алтын концентраттары мен кендерін өңдеудің тиімді, тиімді, қауіпсіз және экологиялық таза тәсілі. Күйдірумен салыстырғанда, биошаймалау әдетте күрделі шығындарды 12-20% - ға, пайдалану шығындарын кейбір жағдайларда 10% - ға және құрылыс уақытын 25% - ға төмендетуі мүмкін. Биошаймалау нәтижесінде алтын алу 20-30% - ға артты. Егер алтынның мөлшері жеткілікті жоғары болса, сульфидті минералдарды тотықтыру және Алтынды цианидті шаймалауға ұшырату үшін автоклавта шаймалау процесін тиімді пайдалануға болады. Қысыммен шаймалауға арналған автоклавтар қазіргі заманғы құрылыс материалдары мен оттегі қондырғысының қажеттілігіне байланысты капиталды қажет етеді. Оператордың қажетті дайындығы мен дағдыларының жоғары деңгейі, сондай-ақ жоғары қысым мен температурамен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздікке қойылатын талаптардың жоғарылауы осы процестің пайдалану шығындарын арттырады. Осы ескертулерге қарамастан, американдық отқа төзімді зауыттардың көпшілігінде қысыммен шаймалау цианизациядан бұрын алдын-ала өңдеу әдісі ретінде сәтті қолданылады.

Бактериялық шаймалаудың цианидпен және басқа да шаймалау процестерімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар, соның ішінде:

- * Төзімді және төмен сұрыпты кендерге жарамдылығы
- * Табыстылық

- * Қауіпсіз, қарапайым, дәлелденген технология
- * Бактериялық тотығу атмосфералық қысым мен 15 °С және одан жоғары температурада жүреді.
- * Цианидті қолдану шектеулі юрисдикциялар үшін жарамдылығы.

Бактериалды шаймалау кезінде бактериялардың белгілі бір штамдары минералогиялық хосттан алтын немесе түсті металдарды шығару үшін қолданылады. Олар энергияны темір мен күкірт қосылыстары мен бос алтын немесе металдардың тотығуынан метаболиздейді. Бұл үймеде, чанда немесе ұсақталған немесе ұнтақталған кен бағанасында болуы мүмкін [7, 27].

Тиімді жұмыс істеу үшін бактериялардың штаммы, температура, қол жетімді оттегі, тұздылық, көмірқышқыл газы және темір оксиді сияқты параметрлерді орнату және бақылау қажет. Бактериялық шаймалаудың толық масштабты процесінің сәтті болуы үшін кенді дәл сынау және мақсатқа сәйкес келетін технологиялық схеманы жасау қажет.

2.7 Алтынды шаймалау кезінде қолданылатын микроорганизмдер. Гетеротрофты бактериялар

Алтынды бактериялық шаймалау, әдетте пайдаланылатын цианид тұздарының ерітінділері қолайсыз болып табылатын үйінді және жер асты шаймалау технологиясының даму перспективаларына байланысты оны кедей баланстан тыс кендер мен шөгінділерден алу үшін үлкен қызығушылық тудырады. Кеннен алынған алтынды шаймалау үшін гетеротрофты микроорганизмдерді қолданудың негізгі мүмкіндігі 60-жылдардың басында Дакарда жүргізілген зерттеулерде көрсетілген. Алтынды ерітудің бактериялық әдісі 1965 жылы патенттелген. 283 күн ішінде жартылай өнеркәсіптік сынақтарда рН 8-де 82% Au алынған [2].

Иргиредметте гетеротрофты микроорганизмдермен алтынды шаймалау бойынша зерттеулер жүргізілді. Бұл жұмыстарды жүргізу алдында кеніш сулары мен алтын кен орындары жыныстарының микрофлорасын зерттеу кешені жүргізілді. Табылған микроорганизмдердің жалпы санынан 72 басым түрі анықталды. Әрі қарай жүргізілген зерттеулер алтын еритін бактериялардың шағын тобын анықтауға мүмкіндік берді.

Салыстырмалы түрде белсенді өсінді *Bac. Megatherium* 20, *Bac. Megatherium* 30, *Ps.liquefaciens* 9, *Bac Mesentericus niger* 12 болды, олар 23 ай ішінде 1,5 -2,15 мг/л Au дейін ерітіндіге шығара алады. Микроскопиялық зерттеу арқылы алтын бөлшектерінің тірі және өлі бактериялық жасушалармен үздіксіз өсуі анықталды.

Зерттеулер көрсеткендей, гетеротрофты микроорганизмдермен алтынды бактериялық шаймалау жылдамдығы бактериялардың метаболизм өнімдерін алдын-ала алу және оларды шаймалау агенті ретінде пайдалану арқылы едәуір артады.

Метаболизм өнімдері бактерияларды пептондық, мелассалық және басқа да органоминаралдық қоспаларда бес тәуліктік үздіксіз культивациялау

арқылы алынады. Бактериялардың тіршілік ету өнімдері бар ерітінділердегі (пептонды орта) алтынның концентрациясы *Bac. mesentericus niger* 120, *Bac. megatherium* 20, *Bac. megatherium* 30, *Ps. liguefaciens* 9, 30 күнде сәйкесінше 0,27-0,30; 0,43-0,63; 0,23 - 0,35 және 0,67 мг/л құрады. Алтынның ерігіштігі тотықтырғыштың қатысуымен 0,42 культуралық ортада айтарлықтай өсті, мысалы, натрийдің асқын тотығы; бұл жағдайда өскіндердің метаболизм өнімдерімен жиырма күндік ерігеннен кейін алтынның концентрациясы орташа есеппен 1-1,2 мг/л жеткен[2].

Микроорганизмдердің штаммдарының белсенділігін арттыру үшін әртүрлі мутагендік факторлардың әсері зерттелді және алтынды еріту қабілеті бойынша табиғи штаммдардан едәуір асып түсетін белсенді мутанттар алынды. Микроорганизмдердің ең белсенді штаммы мутагендік факторларды - этиленминді (0,5) пайдалану және ультракүлгін сәулелермен сәулелену кезінде алынды. Мутантты культуралық сұйықтықпен алтынның еру жылдамдығы бастапқы "жабайы" штамдарға қарағанда 5-10 есе жоғары болды. Алтынның ерігіштігі 20 күндік ерітілгеннен кейін 3 -5 мг/л-ге жеткен.

Алтын еритін бактериялардың метаболизмі өнімдерінің биохимиялық құрамын зерттеу кезінде аминқышқылдарының көп мөлшері бар екендігі анықталды, ал мутантты штаммдар бастапқы түрлерге қарағанда аспарт қышқылы, серин, гистидин, глицин, аланин және метионинді әлдеқайда көп жинайды.

Бұл алтын ерігіш қышқылдарды синтездеу үшін азоттың ең қолайлы көзі-мочевина және қос алмастырылған аммоний фосфаты, көміртегі-глюкоза мен меласса. Оңтайлы жағдайда культивирлеу құрамында 11,9 -14,6 г/л алтын еритін қышқылдар бар ерітінділерді алуға мүмкіндік береді.

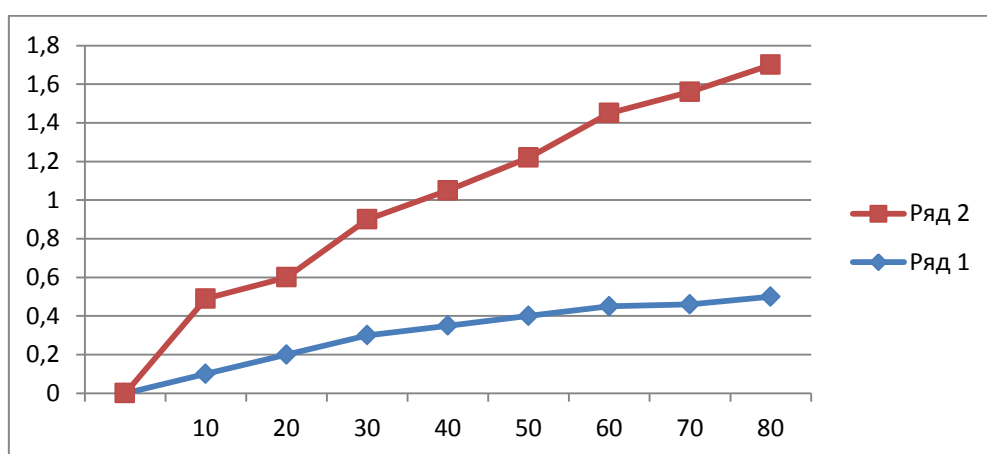
Аминқышқылдарымен қатар ақуыздар мен пептидтер алтынды еріту қабілетіне ие, бірақ әлдеқайда аз дәрежеде. Сонымен қатар, алтынды микробтық синтездің түзеріткіш ақуыздары жануарлардан алынған сарысулы түзеріткіш альбуминге қарағанда әлдеқайда жақсы ерітеді. Алтынның суда және спиртте ерігіш ақуыздармен еру дәрежесі тиісінше 0,15 және 0,5 мг/л-ден аспайды, ал алтынның альбуминді және гамма-глобулинді фракциялармен еру дәрежесі тек 0,3 мг/л-ден аспайды.

Ұнтақты алтынның бактериялардың метаболизм өнімдерінде кездесетін аминқышқылдарының жеке ерітінділерімен әрекеттесуін зерттеу алтынның ең көп еру дәрежесіне тотықтырғыш болған кезде аспарт қышқылы (30–32 мг/л) және гистидин (14–15 мг/л) жағдайында қол жеткізілетінін көрсетті.

Гетеротрофты микроорганизмдермен алтынды бактериялық шаймалау механизмін зерттеу полипептидтік тізбектің амин қышқылы қалдықтарының бос амин және карбоксил топтары ақуыздармен алтынның күрделі түзілуіне қатысатынын көрсетті. Алтын аспарагин мен гистидинмен ең берік кешендерді құрайды. Қышқыл ортада аминқышқылдар алтынның иондық формаларын металға дейін төмендетеді[2].

Шаймалау процесі құрамында аминқышқылдары мен ақуыздары бар культуралық ерітінділермен сілтілі ортада тотықтырғыш - натрий тотығының қатысуымен жүзеге асырылады. Мұндай жағдайда 120 және 240 сағат ішінде құмды бактериялық өңдеу кезінде алтын алу 70-82%-ке жетеді. Сілтілендіретін ерітіндідегі алтын еритін аминқышқылдарының оңтайлы концентрациясы 3-5 г / л құрайды.

Ақуыздарды алу және олардың гидролизіне арналған бастапқы өнімдер 20-25 температурада сілтілі ерітінділермен өңделді, содан кейін 80-100 температурада 24 сағат ішінде бұл жағдайлар ақуыздардың аминқышқылдарына толық гидролизін қамтамасыз етеді. Ақуыз сығындыларындағы алтынның ерігіштігі 72 сағат ішінде 0,5 мг/л-ге жетеді, ал ақуыз гидролизаттарында ол 1,13 мг/л-ге жетеді (сурет-1). Ақуыз өнімін өңдеу кезінде NaOH оңтайлы концентрациясы 200 г/л құрайды.



Сурет – 1. Ақуыз сығындыларындағы (1) және гидролизаттарындағы (2) алтынның еруі.

Бұл зерттеулер микроскопиялық зең - ақуыз сығындылары мен гидролизаттар метаболизмінің өнімдерімен алтынның еру процесін зерттеуге негіз болды. Ақуыз сығындылары мен гидролизаттарын алу үшін *Aspergillus niger* 119 зең саңырауқұлақтары қолданылды.

2.8 Тиобациллалар

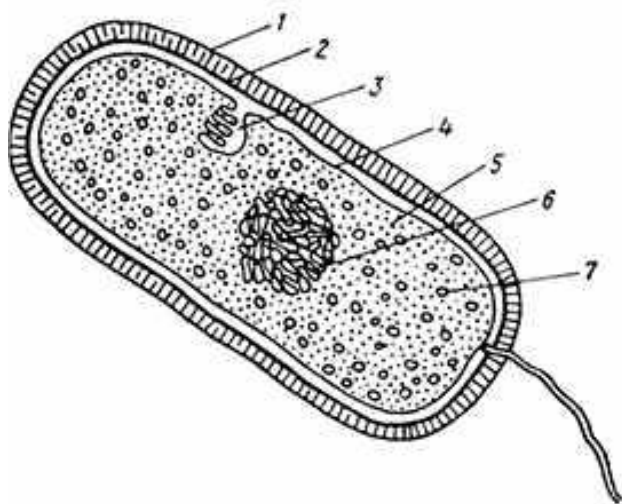
Тиобациллалар минералды сілтісіздендіруге қатысатын микроорганизмдердің ең маңызды тобын білдіреді, әсіресе *T. ferrooxidans*-тың әртүрлі штамдары, бірақ минералды сілтісіздендіруде маңызды рөл атқаратын басқа мезофильді, ацидофильді, темір тотықтыратын бактериялар да анықталды.

Тиобациллалардың барлығы сульфидті минералдарды шаймалауға жарамайды; кейбіреулері минералдардың тотығуын жақсарту үшін қажет рН — ның төмен мәндерінде өсе алмауына байланысты, ал басқалары бастапқыда қатты сульфидті минералдар түрінде болатын күкіртті қолдана

алмауына байланысты. Алайда, күкірт тотығуына тікелей қатыса алмайтын тиобациллалардың кейбір түрлері осы реакциялардың органикалық және бейорганикалық жанама өнімдерін қолдана отырып, минералды сілтісіздендіруге қатыса алады. Органикалық қосылыстар олар үшін көміртек көзі ретінде қызмет етеді, ал қарапайым күкірт және еритін күкірт қосылыстары сияқты реакция өнімдері энергия көзі болып табылады.

T. ferrooxidans демалу жасушасымен темірдің тотығуы Варбургтің әдеттегі респирометрін қолдану арқылы зерттелген. Темірдің максималды тотығуы рН 3,0—3,7 және 37°C температурада байқалды; бактериялардың максималды өсуі 28°C температурада байқалды.

T. ferrooxidans микроорганизмдері прокариоттар тобына жатады. Олар спора түзбейтін жылжымалы грам-теріс химолитотрофты жасушалар. Олардың ұзындығы 0,8—1 мкм және қалыңдығы 0,4-0,5 мкм (сурет. 2). Полярлық флагелланың көмегімен олар қозғала алады. Полярлық флагелланың ұзындығы 12 мкм, бұл жасушаның ұзындығынан бірнеше есе көп.



1-шырышты капсула; 2-жасуша қабырғасы; 3-мезосомалар; 4-плазмалық мембрана; 5-цитоплазма; 6-нуклеоид; 7-рибосомалар

2-сурет – *Thiobacillus ferrooxidans* жасушасының құрылымы

Энергия көздері екі валентті темір және қалпына келтірілген күкірт. Ол барлық белгілі сульфидті минералдарды, соның ішінде пирит, арсенопирит, мыс сульфидтерін тотықтырады. Ол 1,0-ден 6,0-ге дейін рН диапазонында өседі, өсудің максималды жылдамдығы үшін оңтайлы рН мәні 2,0-ден 2,5-ке дейін. Сол сияқты, ол 2°C-тан 40°C-қа дейінгі температура диапазонында өмір сүреді, бірақ оның максималды тиімділігі 28-35°C аралығында анықталды. Бұл бактериялар төзімді, H_2SO_4 ортасында рН 2,5-тен төмен, еріген металдардың жоғары концентрациясында өседі, мысалы, 70 г/л темір,

15 г/л мыс және 30 г/л мышьяк. Бұл бактериялардың ешқайсысы өсімдік немесе жануар ауруларын тудырмайды.

8 кесте - Қоректік ерітіндінің құрамы

Құрамы	г/л
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,15
KCL	0,05
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,50
K_2HPO_4	0,05
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,01

Бактериялардың рөлі сульфидтердің ыдырау өнімдерінің тотығуын тездету болып табылады; микроорганизмдер катализаторлар, яғни донордан (сульфидтен) акцепторға (оттегіге) электронды тасымалдаушылар болып табылады. Микроқоспалар болған кезде пириттің тотығу дәрежесі едәуір артады, ал тотығу кезінде пириттің бетінде ярозит пайда болады, бұл сульфидтің тотығуын баяулатады.

2.9 *Acidithiobacillus ferrooxidans*

A. ferrooxidans-бұл грам-теріс өзек тәрізді бактерия, ол көбінесе терең үңгірлерде немесе көмір қалдықтары сияқты шахталардағы қышқыл суларда кездеседі. Бұл ацидофильді бактериялар оңтайлы рН 1,5–2,5 деңгейінде ерімейтін металдарды еритін күйге келтіргенде дамиды. Осы металл иондарының тіпті төмен концентрациясы (миллионға шаққандағы бөліктер) басқа бактерияларға өте улы болады. Сонымен қатар, бұл бактериялар өнеркәсіптік биологиялық шаймалауда басқа жолмен қол жетімді емес металдарды алу үшін қолданылған.

A. ferrooxidans – бұл өсуді қолдау үшін көптеген түрлі электронды донорларды қолдана алатын хемолитоавтотрофты бактерия. Сонымен қатар, негізгі тіршілік ету ортасы күшті қалпына келтіретін орта құратын қышқыл жағдайлардан тұрады. Жасуша цитоплазмада бейтарап рН 6,5 болатын гомеостазды ұстап тұруға қабілетті, периплазмадағы зақымдануды және қалпына келтіретін ортаны болдырмайды. Бұл $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$ тотығу потенциалын РН 3,2 кезінде 1,12 В-қа дейін арттыруға мүмкіндік береді, бұл Электрон донорымен бірге жоғары қуат береді

A. ferrooxidans атмосфералық көмірқышқыл газын (CO_2) биомасса үшін қажет көміртегі көзі ретінде түзете алады. Азот - қоршаған ортада жетіспейтін жалпы шектеуші қоректік зат; алайда *A. ferrooxidans* атмосфералық азотты нуклеотидтер мен аминқышқылдары үшін қажет аммиакқа (NH_2) бекіте алады [34].



Сурет 3 - *Acidithiobacillus ferrooxidans* бактериясының ұлғайталған көрінісі

3 Зерттеу материалдары мен әдістері

3.1 Зерттеу объектісі – Ақбақай алтын кен орны

Ақбақай алтын кен орны – Жамбыл облысы Мойынқұм ауданындағы Мойынқұм ауылынан солтүстік-шығысқа қарай 60 км жерде орналасқан.

Кен орны негізгі 5 тік құлайтын (Басты, Түкен т.б.) және 9 көлбеу жатқан желілерден тұрады. Желілердің ұзындығы 250 м-ден 600 м-ге дейін, қалыңдығы бірнеше см-ден 1,5-2 м-ге жетеді. Олар жан-жағынан березит тау жынысымен қоршалған кварц-желілі өзек түзейді. Кентас 900-1300 м тереңдікке дейін таралған. Кен түзілу процесі габбропорфирит және ашафит дайкалары жыныстарды жарып шыққаннан кейін, алтын-сүрмелі минералданумен аяқталған. Кен Қызылжар интрузивті кешенінің ішінде және девон жанартау тастекті шөгінді жыныстарының бойында қалыптасқан.

Кен орнында алтынның 4 түрі кездеседі:

- 1) арсенопирит минералы бойындағы ұнтақдисперсті алтын;
- 2) кварцтағы сеппе, ұя, желі түрінде шоғырланған бос алтын (өлшемдері 0,01-0,1 мм-ден бірнеше мм дейін);
- 3) кварц-карбонатты желілердегі түйіршік және қабыршақ түріндегі алтын;
- 4) гипергендік процеспен байланысты қабыршықты және дендритті алтын.

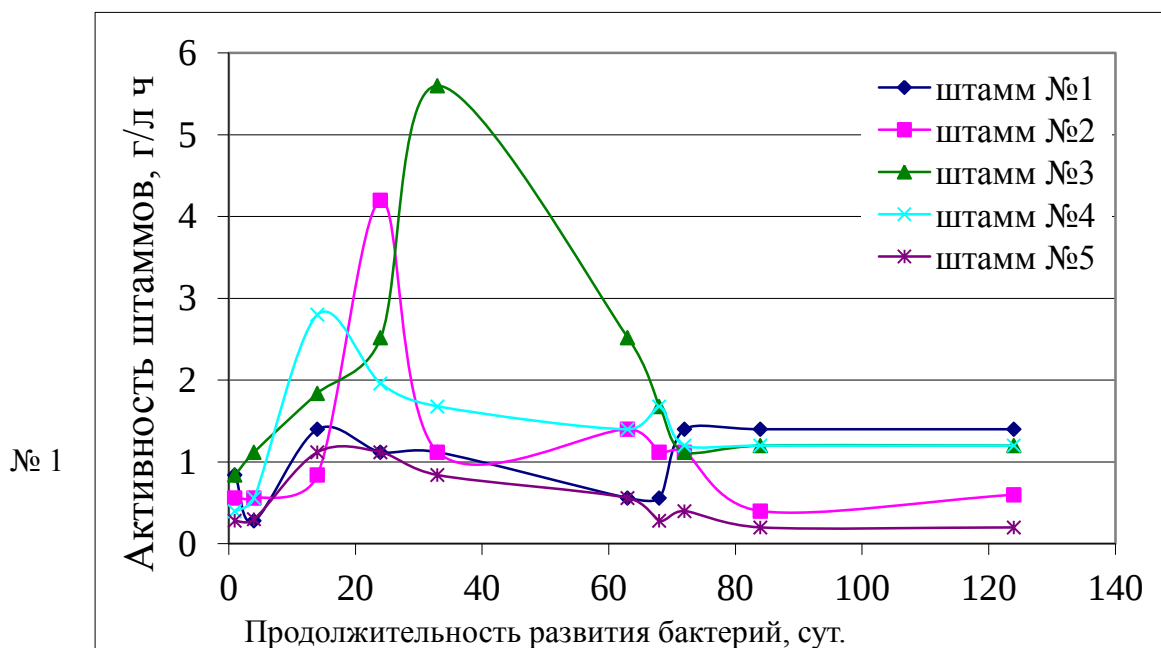
Алтынның орташа мөлшері жер бетіне жақын аралықта аса жоғары — 60-109 г/т, ал 500-600 м тереңдікте 7-10 г/т-ға дейін төмендейді. Ақбақай алтын кені Қазақстандағы ірі кен орны қатарына жатады, оның негізінде Ақбақай кен-байыту комбинаты салынған.

Жүргізілген зерттеу

Сынамалар кварцпен (массалық үлесі 38-48%), дала шпаттарымен (массалық үлесі 22-24%) ұсынылған. Тион бактерияларының қолайлы (сәл қышқыл) тіршілік ету ортасын қамтамасыз ету үшін кендегі карбонаттардың мөлшері сульфидтердің бактериялық тотығуы процесінде бөлінетін күкірт қышқылын толық бейтараптандыруды қамтамасыз ететін деңгейден аспауы тиіс. Теориялық есептеулер көрсеткендей, Кендегі 1 кг пиритке CO_2 -ге 0,74 кг карбонаттан және 1 кг арсенопиритке CO_2 – ге 0,27 кг карбонаттан аспауы керек.

Кен минералдары арсенопиритпен (массалық үлесі 1,2-1,7%) ұсынылған. Темір, мышьяк және күкірт негізінен сульфид түрінде болады. Пайдалы компонент-бұл алтын (1,6 -2,0 г/т). Көміртек карбонатты (массалық үлесі 2,5-5,2 %) және органикалық (массалық үлесі 0,15-0,27 %) формаларда болады. Құрамындағы көміртегі сорбциялық белсенді және руданың сорбциялық қабілетіне әсер етеді.

Белсенді штамдарды алу үшін әртүрлі мутагендік әсерлерге ұшыраған бактериялардың жергілікті культуралары қолданылды.

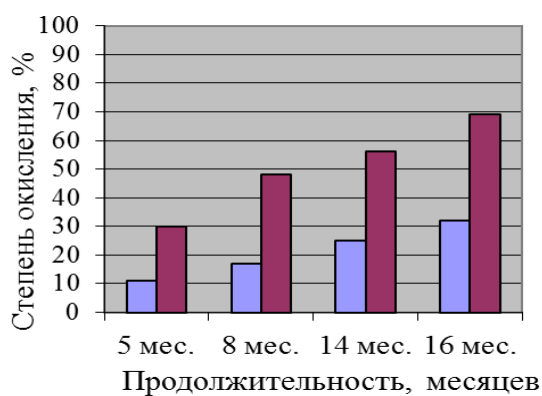


штамм - "Акбакай" кен орнынан бөлінген; №2 штамм – ультракүлгін сәулелердің әсерінен кейін; №3 штамм-нитропириннің мутаген ретінде әсер етуінен кейін; №4 штамм - кен орнының үйінді кенінің тәжірибесінен алынған; №5 штамм-микроорганизмдер культурасы мұражайынан ұсынылған.

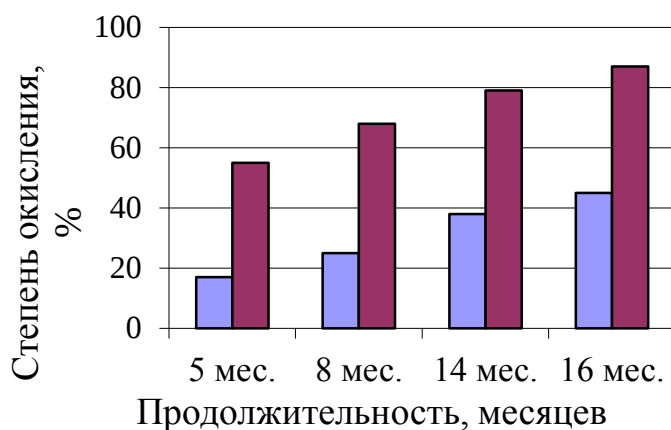
Сурет 4 – Уақыт өте келе *Acidithiobacillus ferrooxidans* штамдарының белсенділігінің өзгеруі

Ең жоғары белсенділік нитрапирин мен ультракүлгін сәулелерге ұшыраған кезде байқалады (сурет 4). Біріншіден, мутагендердің әсерінен бактериялық белсенділік күрт артады, бірақ уақыт өте келе бастапқы деңгейге түседі. Бұл хромосомалық ДНҚ құрылымындағы өзгерістер зерттелмейді, уақыт өте келе жоғалады дегенді білдіреді.

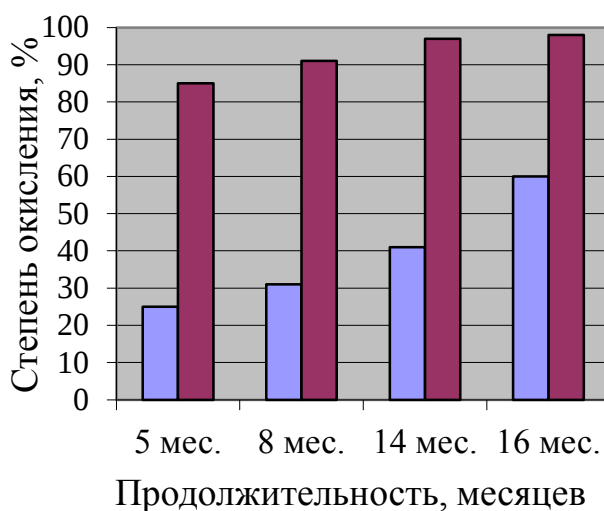
Ірілендірілген сынақтар минус 2, 5 және 10 мм класқа дейін ұсатылған салмағы 10 кг сынамада жүргізілді, кен сынамалары ыдыстарға (чандарға) орналастырылды және тұрақты айналымдағы бактериялық ерітінділермен үздіксіз суарылды. Мерзімді түрде сұйық және қатты өнімдердің сынамалары бағандардан алынды. Бактериялық процестің тиімділігі сульфидтердің тотығу күйімен бағаланды. Ең тиімді тотығу процесі -2 мм класқа дейін ұсақталған рудада жүретіні анықталды.



а) кеннің ірілігі -10 мм



б) кеннің ірілігі -5 мм

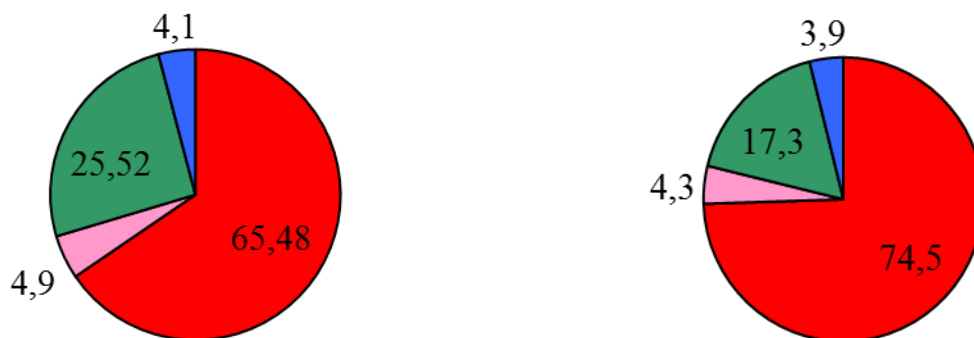


в) кеннің ірілігі -2 мм

Сурет 5 – Бактериялық тотығу процесінің ұзақтығынан тотығу дәрежесі

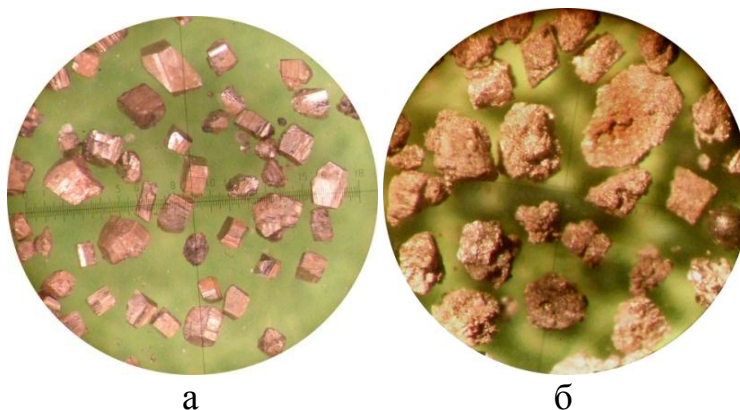
Алынған өнімдерде сульфидтермен байланысты алтынның үлесінің өзгеруін анықтау үшін ұтымды талдау жүргізілді, ол шаймаланған алтынның үлесі артып, сульфидтермен байланысты алтынның үлесі азаятынын көрсетті. (6-сурет).





- - шаймаланған алтын
- - карбонаттармен және темір гидроксидтерімен байланысты;
- - сульфидтермен байланысты;
- - жыныста жіңішке қапталған және көмірлі затқа сіңірілген

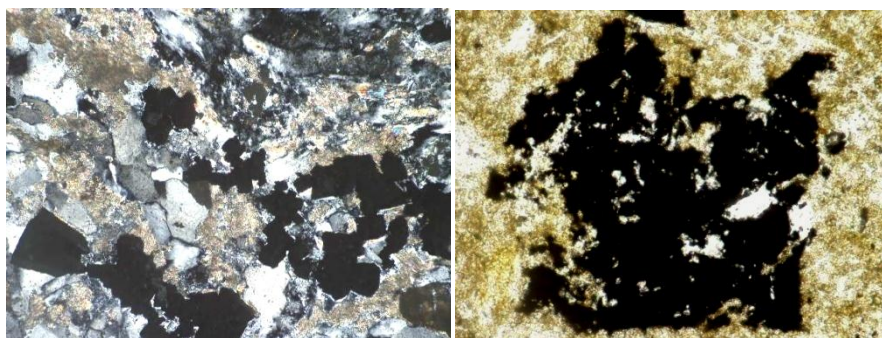
Сурет 6 – Бастапқы кенді және бактериялармен тотыққан кенді талдау нәтижелері



Сурет 7 – Бастапқы сульфидті фракцияның (а) және био-қышқылданғаннан кейін (б)



Сурет 8 – Кеннің аншлифтері бастапқы (а) және био-қышқылданғаннан кейін (б)



а

б

Сурет 9 – Бастапқы кеннің (а) және био-қышқылданғаннан кейінгі (б) мөлдір шлифтері

9 кесте - Тотығу өнімдерінің талдау нәтижелері (24 ай)

Материал атауы	Массалық үлес, %						Тотығу дәрежесі, %	
	Темір		Мышьяк		күкірт			
	жалпы	сульфид.	жалпы	сульфид.	жалпы	сульфид.	Арсено-пирит	Пирит
Бастапқы кен	4,50	2,60	0,68	0,60	1,91	1,80		
Ірілігі -2 мм кен	4,32	0,61	0,50	0,08	2,78	0,74	87	75
Ірілігі -5 мм кен	5,21	0,83	0,45	0,10	2,87	0,95	83	67
Ірілігі -10 мм кен	5,30	0,98	0,31	0,16	3,15	1,14	73	59

Жүргізілген зерттеулер мен талдау нәтижелері сульфидті кендерден алтынды бөліп алудың жоғарғы көрсеткішіне биошаймалау әдісі арқылы жетуге болатынын көрсетті. Айтарлықтай жоғарғы көрсеткіш кеннің ірілігі -2 мм болған кезде байқалды. Сонымен қатар биошаймалау процесінде пайда болатын химиялық қосылыстар жер қыртысындағы табиғи аналогтарға сәйкес келетіні анықталды, бұл әзірленген технологияның экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бактериялық шаймалаудың көптеген артықшылықтарына қарамастан, қазіргі уақытта бүкіл әлем бойынша отқа төзімді алтын өңдеу зауыттарының тек 20% - ы ғана осы процессті таңдауда. Орташа тұзды суларда минералдардың жоғары температуралы биологиялық сілтісізденуін коммерциализациялау, капиталды және пайдалану шығындарын одан әрі төмендетіп, коммерциялық қолдануды кеңейте алуы маңызды болып табылады.

Микроорганизмдер үйінділерді немесе резервуарларды аэрациялаудың кең ауқымды процестерінде олардың кендерінен немесе концентраттарынан әртүрлі металдарды өнеркәсіптік бөліп алу үшін қолданылады. Оларға мыс, кобальт, алтын және уран жатады. Металдардың тотығу процестері негізінен химиялық болып саналады, өйткені микроорганизмдер минералдардың еру реакциясы жүретін химиялық заттар мен кеңістікті (экзополисахарид қабаты) қамтамасыз етеді. Бұл процестер жүзеге асырылатын температура бөлме температурасынан 80°C-қа дейін өзгеруі мүмкін, ал қазіргі организмдердің түрлері көбінесе қолданылатын процесс температурасына байланысты болады. Жұмыс температурасына қарамастан, био-микробтардың бірнеше жалпы сипаттамалары бар. Бір жалпы сипаттама олардың минералдың ыдырауына және металдардың шығарылуын жеңілдетуге қажетті темір мен күкірт қышқылын өндіруге қабілеттілігі. Басқа сипаттамалары-олардың автотрофты өсу қабілеті, олардың қышқылдарға төзімділігі және оларға тән металл кедергісі немесе металдардың кедергісін алу мүмкіндігі.

Бұл организмдердің жақсы бейімделуі минералдардың ыдырауында тиімдірек болатын микроорганизмдердің үздіксіз іріктелуіне мүмкіндік беретін үздіксіз ағынды жүйелер болып табылатын бірнеше процестермен қамтамасыз етіледі. Бейімделу сонымен қатар жаңа организмдердің енуіне мүмкіндік беретін процестердің ашықтығы мен стерильділігіне ықпал етеді.

Микробтардың әсерінен металдардың тотығуы және ерітіндіден металдарды кейіннен алу егжей-тегжейлі қарастырылған, терең тарихи маңызға ие. Бұл процестер микробтардың әрекетін екі мақсаттың біріне қолданады. Ерімейтін металл сульфидтерін (немесе оксидтерін) суда еритін металл сульфаттарына айналдыру үшін немесе минералдың құрылымын ашу үшін алдын-ала өңдеу процесі ретінде, осылайша басқа химиялық заттардың минералға жақсы енуіне және қалаған металды ерітуге мүмкіндік береді.

Биологиялық шаймалауға минералдардың барлық түрлері келе бермейді. Әдетте минерал құрамында темір немесе күкірттің қалпына келтірілген түрі болуы керек. Балама ретінде, бұл қосылыстар жоқ минерал, егер ол құрамында темір және азайтылған күкірт бар басқа минералмен бірге болса, минералды үш валентті темір мен күкірт қышқылына ұшыраған жағдайда сілтіленуі мүмкін. Барлық химиялық процестер сияқты, реакция жылдамдығына температура әсер етеді.

Біз күткендей, металдарды алу үшін қолданылатын процестерде болатын микроорганизмдердің түрлері процесс жүзеге асырылатын температураға байланысты әр түрлі болады. Қоршаған ортадан 40°C-қа дейінгі температурада жұмыс істейтін өндірістік процестерде грам-теріс бактериялар басым болады, егер рН шамамен 1,3-тен төмен түссе, ферроплазмаға ұқсас организмдер болады.

Бүгінде биошаймалау құнды металдарды алу тұрғысынан оның құнды металдарды алу қабілеті тұрғысынан ғана қарастырылмайды. Аз қымбат және экологиялық таза процестерге қажеттілік бар. Әрі қарай даму техникалық жағынан да, биологиялық жағынан да қажет.

Әдебиеттегі дәлелдер алтынның табиғатта тұрақсыз екенін көрсетеді. Бактериялардың белсенділігі оның еруімен, көші-қонымен және белгілі бір жағдайларда тұндырылуымен байланысты. Микроорганизмдер табиғатта алтынның толық циклін жүзеге асыра алады. Биогендік факторлар саласындағы алтынның көші-қонының шекаралары едәуір кеңейетініне назар аударады. Бұл алтын кен орындарының геологиялық тарихындағы микроорганизмдердің маңызды рөлі, олардың пайда болуы мен жойылуы туралы ғана емес, сонымен қатар оларды шаймалау немесе алтынды тұндыру үшін пайдалану мүмкіндігі туралы айтуға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Кучное выщелачивание благородных металлов. / Под ред. М.И. Фазлуллина. — М.: Издательство Академии горных наук. 2001. — 647 с.
2. Турысбекова Г. С. Меретуков М. А. Бектай Е. К. Золото инновации в химии и металлургии.
3. Ужкенов Б.С., Карибаев Е.Г. Минерально-сырьевой потенциал Республики Казахстан. Алматы: Горный журнал Казахстана, №1.-с.1-6.
4. Джантуреева Э. Недропользование 2000-2012: запасы, добыча, инвестиции. Алматы: Казахсан.
5. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В. Металлургия благородных металлов. — М.: Металлургия, — 2-е изд., 1987, 432 с.
6. Романтеев Ю.П. Металлургия благородных металлов: Учебное пособие. - М.: МИСиС, 2007. — 259 с
7. Mishra S., Panda S., Akcil A., Dembele S. Biotechnological Avenues in Mineral Processing: Fundamentals, Applications and Advances in Bioleaching and Bio-beneficiation // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review this link is disabled, 2022. <https://doi.org/10.1080/08827508.2021.1998043>
8. Reith F., Rogers S., McPhail D., Brugger J. // World Gold Conf. - Cairns, Austr. - 2007. - Oct. 22-24. - 8 p.
9. Campbell S., Olson G., Clark T., McFeters G. // J. Ind. Microbiol. Biotechnol. - 2001. - V. 26. - P. 134-139 .
10. Минеев Г. Г. Биометаллургия золота. - М.: Металлургия, 1989. - 159 с.
11. Groudev S., Groudeva V., Spasova I. Biohydrometallurgical technologies. - V. 1 / Ed. A. Torma, J. Wey, V. Lakshman. - Warrendale, USA. - 1993. - P. 417-425 .
12. Olson G. // FEMS Microbiol. Lett. - 1994. - V. 119. - P. 1-6.
13. Knowles C. // Bacteriol. Rev. - 1976. - V. 40. - P. 652-680 .
14. Smith A., Hunt R. // J. Chem. Technol. Biotechnol. - 1985. - V. - 35B. - P. 110- 116.
15. Kleid D., Kohr W., Thibodeau F. Process to recovery and reconcentrate gold from its ores / US Pat. 5290526 (1994).
16. Faramarzi M., Brandl H. // FEMS Microbiol. Lett. - 2006. -V. 259.-P.47-52.
17. Меретуков М. А. // Цв. металлы. - 2005. - № 5-6. - С. 105-112 .
18. Wan R., LeWier K. // Int. J. Miner. Process. - 2003. - V. 72. - P. 311-322 .
19. Schmidt A., Reith F. // J. Geochem. Expl. - 2007. - V. 92. - P. 13-33.
20. Kunert], StranskyZ. // Arch. Microbiol. - 1988. - V. 150. - P. 600-601 .
21. Nordstrom D., Southam G. // Rev. Mineral. - 1997. - V. 35. - P. 361-390
22. Reith F., McPhail D. // Geochim. Cosmochim. Acta. - 2006. - V. 70. - P. 1421- 1438.

23. Де Гроот П., Дин С.М., Роулингс Д.Э.: Механизм устойчивости к мышьяку, расположенный на транспозоне, из штамма *Acidithiobacillus caldus*, выделенного из коммерческих резервуаров для биоокисления арсенопирита. Гидрометаллургия. 2003, 71: 115-123. 10.1016 / S0304-386X (03) 00147-6.
24. Девасия П., Натараджан К.А., Сатьянараяна Д.Н., Рао Г.Р.: Химия поверхности *Thiobacillus ferrooxidans*, имеющая отношение к адгезии на минеральных поверхностях. *Appl Environ Microbiol.* 1993, 59: 4051-4055.
25. Dew DW, Lawson EN, Broadhurst JL: Процесс BIOX® для биоокисления золотосодержащих руд или концентратов. Теория биодобычи, микробы и промышленные процессы.
26. Роль системы восстановления ионов железа в окислении серы *Thiobacillus ferrooxidans*. заявл. Окружающая среда. микробиол. 49:1401-1406.
27. Роулингс Д.Е., И.-М. Преториус и Д.Р. Вудс. 1986. Экспрессия функций плазмиды *Thiobacillus ferrooxidans* и разработка генетических систем для тиобацилл. Биотехнолог. биоинж. Симп. 16:281-287.
28. Колмер А.Р. и Хинкль М.Е. 1947. Роль микроорганизмов в кислом дренаже шахт: предварительный отчет. Наука 106: 253–256.
29. Юй Ян, Минь-си Ван, У-ян Ши, Хун Пэн, Гуань-чжоу Цю, Цзи-чжун Чжоу, Сюэ-дуань Лю. 2007. Бактериальное разнообразие и структура сообщества в кислых стоках шахты Дабаошань, Китай. ВОДНАЯ МИКРОБНАЯ ЭКОЛОГИЯ Vol. 47: 141-151
30. Brierley, CL 1982. Микробиологическая добыча. науч. Являюсь. 247(2):42-51.
31. Мерсон, Дж. 1992. Горное дело с помощью микробов. Новая наука. 133:17-19.
32. Сато А., Ю. Фукумори, Т. Яно, М. Кай и Т. Яманака. 1989. Цитохром с-552 *Thiobacillus ferrooxidans*: очистка и некоторые его молекулярные особенности. Биохим. Биофиз. Акта 976:129-134.
33. Кокс, Дж. К. и М. Д. Брэнд. 1984. Окисление железа и сохранение энергии у хемоавтотрофов *Thiobacillus ferrooxidans*, стр. 31-46. В WR Strohl и O. H. Touvinen (ed.), *Microbial chemoautotrophy*. Издательство государственного университета Огайо, Колумбус, Огайо.
34. <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/acidithiobacillus-ferrooxidans>
35. <https://ru-ecology.info/term/42893/>
36. Статья на тему свойства серебра и золота // Режим доступа: <https://znaesh-kak.com/q/s/свойства-серебра-и-золота>

ЖАРИЯЛАНҒАН ПУБЛИКАЦИЯЛАР ТІЗІМІ

1. «Жаңа кезеңдегі ғылым мен білімнің даму перспективалары»
халықаралық ХХІ Байқоңыров оқулары