

In connection with the increasing environmental responsibility of the population, the issue of its environmental activity is also relevant. The comprehensive development of environmental culture is the key to instilling in our generation patriotism and constant concern for citizens about the environment. As a result of such new initiatives, a new culture and a new social ethic can be established in our country, we can cultivate a real sense of patriotism and concern for the environment. All this is a reason to recognize environmental culture in all spheres of society as a means of creating a “green transformation”.

Key words: environmental education, ecological culture, green transformation, sustainable development, green economy, corporate ecoculture, green stimulus.

FTAMP 68.05.45

DOI <https://doi.org/10.37884/4-2024/18>

Б.Т. Жанатаев*¹, З.Б. Тұнғышбаева¹, А.Т. Жанатаева², М.Е. Дәулетқұл¹, А.Б. Айман³

¹ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті Алматы, Қазақстан, bauka2923@gmail.com*, alua2002@yandex.kz, dauletkul_meirzhan@mail.ru

² ШЖҚ Кеген Аудандық Ауруханасы КМК, Кеген а., Алматы облысы, Қазақстан Zhanatayeva.ainur@mail.ru

³ Қазақстан-Ресей медициналық университеті, Алматы, Қазақстан, a.toktamys@mail.ru

МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН ҚҰМДЫ НЫҒАЙТУ ӘДІСІ

Аңдатпа

Цемент бұл құрылыс материалы ғана емес қоғамдағы мәдени мұраларды сақтауды қамтамасыз ететін материал. Жыл сайын әлемде цемент бетонын пайдалана мыңдаған құрылымдар салынады (мәдени мұралар, тарихи ескерткіштер), бірақ уақыт өте келе жарамсыз және де адам мен жануарлар үшін қауіпті болып келеді. Сондықтан бұл құрылымдарды қайта қалпына келтіру үшін өзін-өзі қалпына келтіруге қабілеті бар материалдарды қолдануға болады. Соның бірі, уреаз активті бактерияларды пайдалану бұл мәселелерді тиімді шешеді. Өйткені бетон құрылымындарында бактерия қолданылса бастапқы пайдаланудан кейін тіршілігін жалғастырады және өсуін тоқтатпайды. Қоршаған ортадағы кальций карбонаты мен мочеви́на гидролизі жүріп, минерализациялануы үшін уреаз қажет. Уреаз белсенділігінің нәтижесінде көмірқышқыл газы бөлінеді, бактериялар мочеви́наны жалғыз азот көзі ретінде қолдана алады, аммиак ортаның рН жоғарлатады бұл Ca^{2+} мен Co^{3+} тұнбасы пайда болып, Ca_2Co_3 түзіледі. Бұл ерекше қасиеті әсіресе құрылыс саласында (бетон конструкциялары, сылақ ерітінділерінде, дайын қосындыларда, отқа төзімді элементтер, кірпіш өндірісінде) қолдануға қолайлы.

Микроағзалар кәріз суларынан, ағынды сулардан бөлініп алынғаннан кейін мочеви́наны гидролиздеу қабілетіне тексерілді. Мочеви́насы бар қоректік ортада 7 изолятқа сынақ жүргізілді, олардың ішінде уреаз белсенділігі жоғары 2 штам таңдалынып алынды.

Бұл мақалада биоцементациялау әдісі арқылы құмнан жасалынған құрылыс материалы зерттелді. Қатқан құмның беріктігін анықтау үшін жауын суының эрозиясы арқылы сынақ жүргізілді. Сондай-ақ нығайтылған құмды SEM-BSE микроскопы арқылы зерттеліп, құмдағы кальций карбонаттарының биоцементілігі айқын көрініс берді.

Кілт сөздер: Биоцемент, уреазға төзімділік, құм, SEM микроскоп, МІСР.

Кіріспе

Табиғатта биогеохимиялық құбылыстар кеңінен таралған, табиғи биоцементацияның пайда болуы микроорганизмдер мен жауын шашынның әсерінен топырақтың құнарлануы,

топырақтың нығаюы, процесі орын алады [1-3]. Технологияның дамуы биогеохимиялық тәсілін қолдану дайын биопрепараттар өнімдерін алу оны топырақтың функционалдық қасиеттерін жақсарту мақсатында қолдану, құмды нығайту, бетон, әктас, гипс сияқты құрылыс материалдарының беріктігін арттыру, сондай-ақ зақымдалған құрылымдарды қайта қалпына келтіруге пайдалану [4-6].

Табиғи құбылыстарға еш әсері жоқ жаңа перспективті технологияны әзірлеу, уробактериялардың кальцийді тұндыру қабілетін (MISР) қолдануға негізделген [7].

Қоршаған ортаның өзгермелі жағдайларына және антропогендік әсерлерге биокальций түзетін микроорганизмдердің функционалдық белсенділігі төмендеп, құмды нығайту мүмкіндіктері шектеледі. Сондай-ақ, биологиялық таза жолмен құмды нығайту әдістерінің әлі жетілмегендігі көрініс береді [7, 11, 12]. Нәтижесінде құрылымдарды қайта қалпына келтіру кезінде экологиялық зиянды технологиялар қолданылып келеді [12-14].

Қазіргі уақытта әртүрлі экожүйелерден MISР қабілетті уробактерияларға кең скрининг жүргізілуде және ең белсенді штамдар *Bacillus* тұқымдасының түрлеріне жататыны анықталды [4, 7, 15].

Уреза активтілігі жоғары экологияға еш зияны жоқ кальций қорбанатын тұндыру қабілеті бар бактерияларды бөліп алу әдісі әлі толық зерттеле қоймаған. Олардың ішінде *Bacillus* тұқымдасы қоршаған ортада тұз мөлшері жоғарласа, бөлінуге қабілеті кемиді. Бұл бактерияның контаминациялануына байланысты, мысалы, құстар мен су көздері арқылы әкелінген тұздылығы жоғары материалға споралардың өмір сүру төзімділігін айтуға болады [16-18]. Зерттеу жұмыстары бойынша гипертұзды ортадан бөлініп алынған *Bacillus* тұқымдасының кейбір бактериялары қышқылдық ортасы NaCl (>15%) жоғары концентрациясында монокультура көбеймейді, галофилдердің экстремалды ортада [19] – өсіру кезінде NaCl 25% жоғары ортада жақсы қарқынмен көбейеді.

Bacillus тұқымдасының монокультура бактерияларында, гипертұзды ортадан бөлініп алынған, оптималды концентрациясы NaCl оңтайлы орта, ал төменгі орта 0,9% - дан (физиологиялық ерітінді) төмен болмауы тиіс, бактерияларды өсіру үшін модификациялы қоректік орта Лурия-Бертани (LB) қолайлы [20]. Бір жағынан құстардың қалдықтарынан гипертұзды өзендерде уробактериялардың дамуына ықпал етеді, екінші жағынан рН төзімділігіне әкеледі, осмостық шок жағдайында өмір сүруіне, температураның өзгеруі тұрақты формалардың қалуына ықпал етеді, перспективті биокальцийлеу препараттарын жасауына мүмкіндік болады.

Зерттеу әдісі

1.1 Кальций карбонатының тұндыруына қатысатын организмдер:

Микроағзалық индукцияланған кальций қорбанатын тұндыру (MISР) әдісі бұл құм матрицаларының бірігуіне алып келетін биогеохимиялық процесс. Кальций карбонатын үш полиморфты формада тұндыруға болады, олар тұрақтылығына қарай кальцит, арагонит және ватерит болып табылады. Карбонатты тудыруы мүмкін микроорганизмдердің негізгі топтары-цианобактериялар мен микробалдырлар сияқты фотосинтетикалық микроорганизмдер қолдануға болады, ол сульфатты қалпына келтіріп азот айналымына қатысады.

Кальций қорбанатын тұндыруға қабылеті бар бірнеше бактерия идентификацияланды, олар мочевианы гидролиздеуші, денитрификациялаушы, сульфат бөле алушы, құмдағы темір мөлшерін қайта қалпына келтіруге қабылеті бар микроорганизмдер. Кальций карбонатын түзудің екі түрлі жолы анықталды, автотрофты және гетеротрофты.

Алайда, барлық жолдар көмірқышқыл газының мөлшерінің азаюына әкеледі және ароматты кальций карбонатын тұндырылуына ықпал етеді. Гетеротрофты жолда метаболизмдік циклдар, азот циклі және күкірт циклі қатысады. Құрылыстағы сызаттарды алдын алу және бетондағы коррозияны болдырмау үшін бұл процестің бірнеше рет қолданылу ұсынылады.

2.2 Уреолиз немесе мочевианың ыдырауы

Микробтық уреаз мочевианы аммоний мен карбонатқа дейін ыдыратады. Бір моль мочевины аммиак пен карбамин қышқылына дейін жасуша ішінде ыдырайды, содан кейін суда бикарбонат, аммоний және гидроксид иондары түзіледі. Гидроксид иондарының түзілуі рН

жоғарылауына әкеледі, бұл өз кезегінде карбонат тепе-теңдігін бұзуы мүмкін, нәтижесінде карбонат иондары пайда болады. Түзілген карбонат иондары кальций карбонаты кристалдары түрінде кальций иондарының қатысуымен тұнбаға түседі.

2.3 Судың кермектігін анықтау және биоцемент өндіру

Жауын суының кермектігін зерттеу үшін алдымен сынақ натрий гидроксиді арқылы рН 10-ға жеткізіліп, титрлеу арқылы су сынамаларындағы кальций, магний, иондарының құрамын өлшеу арқылы анықталады. Eriochrome Black индикаторының бірнеше тамшысы қосылады және 0,01 М натрий этилендиаминтетраацетатына (EDTA) титрленеді.

Түстің қызылдан көкке өзгеруі титрлеу нәтижесінің аяқталуын көрсетеді. Сонымен қатар, жауын суының кермектігі кальций иондарының тиімді тұндырылуына ықпал етеді.

Бұл зерттеу жұмысымызда урезаға максималды белсенді штамдар анықталды, олардың жауын суына катализатор ретінде әрекет ете алатыны, судың кермектігін төмендететіні белгілі болды.

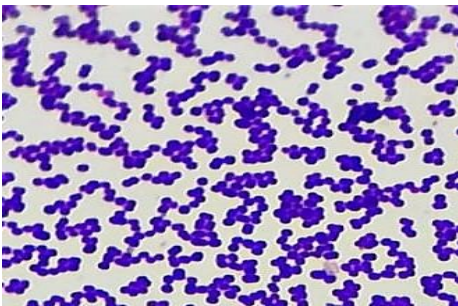
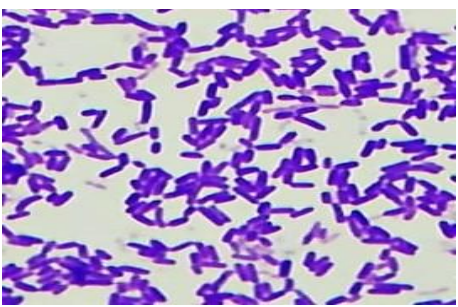
Зерттеу нәтижелері

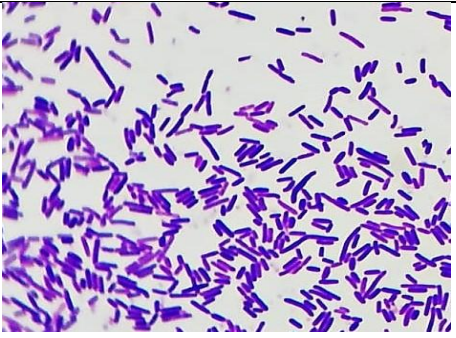
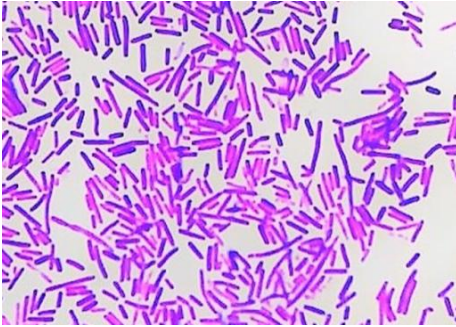
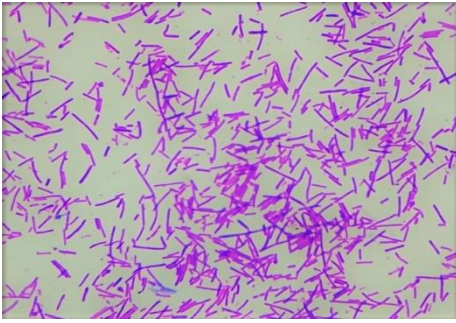
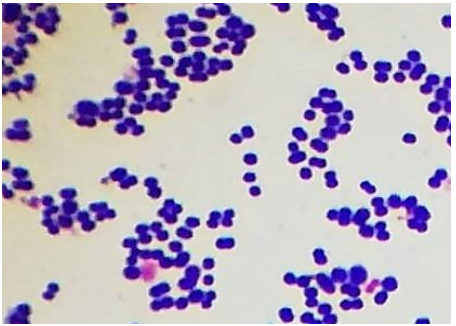
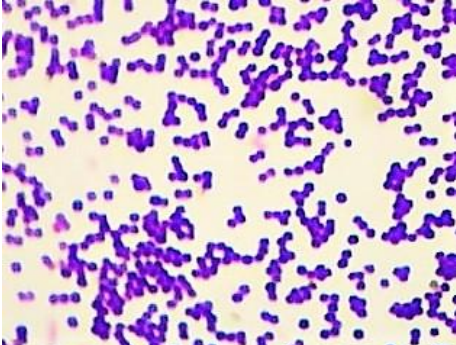
3.1. Бактерияны бөліп алу және сипаттама жасау

Микроорганизмдер Қазақстанның солтүстігіндегі Ақмола облысының («Астана су арнасы»), маңынан бөлініп алғаннан кейін қоректік ортаға отырғызылды, агарлы орта Макконки, грам бояу әдісімен жүргізілді.

Штамдарға морфологиялық сынақтар жүргізілді, сол бойынша сипаттама жасалынды (1-кесте).

1-кесте: Микроорганизмдерді колониясының формологиясы

№	Микроорганизмдер атауы	Морфологиялық қасиеттері	
		Бактериялардың микроскоппен көргендегі суреті	Сипаттамасы
1	<i>Staphylococcus epidermidis</i>		Грам-оң бактерия. Бұл адамның қалыпты микробиотасының бөлігі, әдетте тері микробиотасы және шырышты қабық микробиотасы сирек кездеседі және теңіз губкаларында да кездеседі. Бұл факультативті анаэробты бактерия.
2	<i>Sporosarcina pasteurii</i>		Кальцит пен мочевина көзі болған кезде кальцитті тұндыру және құмды қатайту қабілеті бар грам-оң бактерия;

3	<i>Sporosarcina pasteurii</i>		<p>Кальцит пен мочеви́на көзі болған кезде кальцитті тұндыру және құмды қатайту қабілеті бар грам-оң бактерия;</p>
4	<i>Bacillus cereus</i>		<p><i>Bacillus cereus</i> вид грамположительных, спорообразующих почвенных бактерий. Химорганогетеротроф, факультативті анаэроб, нитратты азайтуға қабілетті. Ол қарапайым қоректік ортада өседі, тығыз қоректік ортада жалпақ, ұсақ түйнек, сәл ойыс, күңгірт колониялар түзеді. Шеті толқынды. Жасушалар Үлкен 1 × 3-4 мкм, эндоспоралар орталық орналасқан, жасуша мөлшерінен аспайды. Флагелла перитрихильды түрде орналасқан.</p>
5	<i>Lysinibacillus fusiformis</i>		<p><i>Lysinibacillus</i> туысының грам оң таяқша тәрізді бактериясы. Ғалымдар бұл микробтың патогендік табиғатын әлі толық сипаттай алған жоқ.</p>
6	<i>Aerococcus viridans</i>		<p><i>Aerococcus</i> бактерияларына жатады. Ол гаффкемияның, омар ауруының қоздырғышы болып табылады және лактатоксидазаның коммерциялық көзі ретінде пайдаланылады.</p>
7	<i>Staphylococcus simulans</i>		<p><i>Staphylococcus simulans</i>-жалғыз, жұптасқан және топтастырылған кокктардан тұратын <i>Staphylococcus</i> бактерияларының грам-оң коагулаза-теріс өкілі.</p>

3.2. Мочевиналық ортада штамдардың белсенділігін тексеру

Штам коллонияларын мочевинолы агарлы ортаға отырғызылды, сынауықта 37°C температурада 48 сағат бойы инкубацияланды. Қоректік ортаның түсінің сарыдан қызғылтқа өзгеруі байқалды, бұл уреаз ферментінің болуын көрсетеді (1-сурет).



1-сурет: мочевина гидролизіне сынау

Зерттеу сынағы бойынша белгісіз микроорганизм уреазаны өндіреді, бұл фермент аммиакты мочевина молекуласына дейін ажыратады. Мочевинаның буферлік сұйықтығы мен ашытқы сығындысы қолданылды, оның құрамында фенол қызылы бар ол рН индикаторының көрсеткіші. Мочевина автоклавта бұзылынуына байланысты, ультрокүлгін сәулесінде зарарсыздандырылады. Бұл қоректік орта Кристенсеннің агар ортасы ретінде белгілі.

Бөлініп алынған штамдардан 2 - бактерия (*Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus*) мочевинолы ортаға егу кезінде тиісті нәтиже көрсете алды. Бұл тест организмде уреаз ферментін анықтауда қолданылады және оның мочевинолы өндіру қабілеті бар-жоғын зерттеу үшін жасалады.

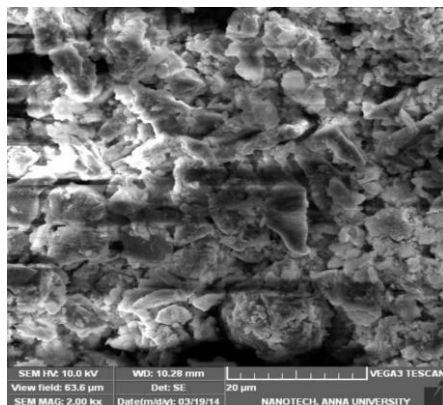
3.3. Нығайтылған құмды жауын суының кермектігіне сынау

Қатқан құмның беріктігін жауын суының эрозиясында сынау кальций карбонатының тұнбасы бөлінуі көбірек болатындығын көрсетті (3-сурет). Бұл өз кезегінде жауын суының кермектілігі үлкен екендігі дәлелдеді.

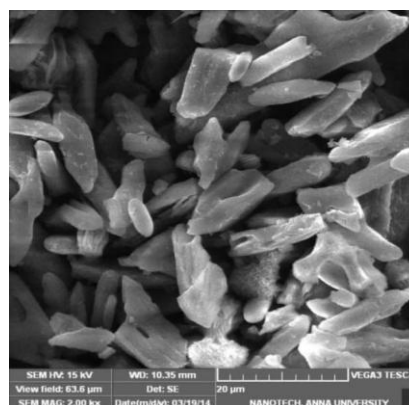
Ал микроорганизмдер (*Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus*) кальций карбонатын көп мөлшерде болатындығы көрсетті, 500 мл жауын суынан 5 грамм биомасса алынды. Биоцементке зерттеу жұмысы бір апта бойы инкубация арқылы жасалынды.

3.4. Биоцементті және кәдімгі цемент құрылымдарын сканерлеуші электронды микроскоппен (SEM) салыстыру

Құрғақ бактериялық массаны сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен лабораториялық жағдайда зерттеу жұмыстары жүргізілді.



2-сурет: SEM-жұмсақ су үлгісі



3-сурет: SEM – Жауын суы

Сканерлеуші электронды микроскоптың екі су үлгісінен алынған биоцементтің біркелкі дисперсті екенін анықтады (сурет. 2). SEM- микроскопы көрсеткендей жауын суының кристалдары 20 мкм ге үлкен болғанын айтқын көруге болады, жинақталған кластерлер шөгінділері 50 мкм құрған (сурет3).

Талқылау

Sporosarcina pasteurii, *Bacillus cereus* бактериясының құрамы уреазаға активті, амони мөлшері жоғары болғанда да өз қарқындылығын сақтайды [16]. Биоцементацияға қолданылатын бактериялар уреазаға активті, патогенді емес және басқа да қоршаған ортадағы мироағзалардың патогендік қасиетін қоздырмайды [17].

Мортенсен және басқа да ғалымдар [18] биоцементация бойынша *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus* бактерияларын пайдалана отырып далалық сынақтар жүргізген. Авторлар биоцементтеу процесін құм бөлшектерінің мөлшеріне, аммоний хлоридінің концентрациясы немесе тұздану мөлшері артқан кезде жүргізуге болатындығын көрсетті.

Л. Ван Паассен және басқалар (2010) биоцементация сипаттайтын ең үлкен болжамды фактор F-потенциалы болатынын атап көрсеткен. F-потенциал - бұл жасушалардың беткейлік электр қабатындағы потенциалдың өлшемі. Яғни, бұл фактор бактериялардың адгезиясы мен колонизациясы үшін маңызды болып табылады [19]. Екінші маңызды фактор мочевианың ыдырау жылдамдығын жатқызған. Сонымен, авторлар *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus* бактериялары активті түрде мочевианы жоғары қарқындылықта ыдырататынын анықтады. [20].

Бұл зерттеу жұсымызда жүргізген скринингінің нәтижесінде уробактериялар бөлініп алынды олардың функционалдық сипаттамалары бойынша бір-бірінен айырмашылықтары бар екендігі анықталды. Мочевиналық ортада жоғары өсу қарқындылығы болғанмен биокальцилеуге белсенділігі жақсы болатындығының дәлелі емес. Сол себепті уреазаға белсенділігі Кристенсенның қоректік ортасында тексеріліп, ал CaCl_2 қосу штамдардың биокальцилеуші қабылетін көрсетті. Уреазалық ортада өсу қарқыны бар ең жоғары нәтиже көрсеткіштері мен CaCO_3 тұндыруға қабылетті бар культуралар *Bacillus cereus* и *Sporosarcina pasteurii*. Бұл жасаған зерттеулеріміз жоғарыдағы көрсетілген авторлардың зерттеулерімен сәйкес келеді.

Қорытынды

Бактериялардың биохимиялық қасиеті *Bacillus* тұқымдастарында жақсы нәтиже көрсетті. Кәріз суларынан, ағынды сулардан бөліп алынғана 7 штамдардың ішінде *Bacillus cereus* және *Sporosarcina pasteurii* микроорганизмдерінің кальций қорбанатын тұндыру қабылеті жоғары.

Бактериялардың тіршілік ету үшін оңтайлы температура 37 °C болды, SEM-BSE микроскопы арқылы жұмсақ су үлгісімен жауын суын салыстырғанда, жауын суының кристалдары 20 мкм, ал кластерлері 50 мкм ге дейін үлкен болды. Бұл уреаза активті бактерияларының жауын суында активтілігі жоғары болатындығы анықталды.

Қоректік ортаға бактерияны қосқаннан кейін оны құмның көшуінің алдын алуға, мәдини мұралардың сақталуы үшін биоцемент ретінде цементке қосымша қоспа ретінде қосса беріктігі артатыны дәлелденді. Бұл штамдарды зақымдалған бетон құрылымдарын тиімді қалпына келтіруі үшін пайдалануға болады. Биологиялық препараттар жасауда және өнеркәсіпте жаңа биотехнология ретінде қолдануға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Курманбаев, АА, Нагметова, ГЖ, Бижанова, ЛЖ, и соавт. 2017. Выделение уреолитических бактерий, перспективных для микробиологического осаждения кальцита. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук.* 4(1). <https://cyberleninka.ru/article/n/vydelenie-ureoliticheskikh-bakteriy-perspektivnyh-dlya-mikrobiologicheskogo-osazhdeniya-kaltsita>.
2. Сембаев, КД, Сембаева ДЖ, Данлыбаева ГА и соавт. 2019. Скрининг уреолитических микроорганизмов, перспективных для цементации песков. *Проблемы Науки.* 8 (141).

<https://cyberleninka.ru/article/n/skrining-ureoliticheskikh-mikroorganizmov-perspektivnyh-dlya-tsementatsii-peskov>.

3. Ahenkorah, I, Mizanur R., Rajibul K, et al. 2021. Enzyme induced calcium carbonate precipitation and its engineering application: A systematic review and meta-analysis. *Construction and Building Materials*. 308, 125000.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821027471>

4. Akanksha, B, Emmanuel, S, Sumi, S. 2024. Composite biomediated engineering approaches for improving problematic soils: Potentials and opportunities, *Science of The Total Environment*. 914, 169808. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723084401>

5. Alotaibi, E, Arab, MG, Abdallah, M, et al. 2022. Life cycle assessment of biocemented sands using enzyme induced carbonate precipitation (EICP) for soil stabilization applications. 12(1), 6032. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9001663/>

6. Даулетқұл, М., Тұңғышбаева, З., Янкевич, У., Қыдырбава, Ә., & Турсынханқызы, М. 2024. Деградациялану мен шөлейіттенуден қорғау үшін ферменттік индукцияланған кальций карбонатының тұнбасы арқылы құм мен тозған топырақты нығайту. *Izdenister natigeler*, (2 (102)), 271-282. <https://journal.kaznaru.edu.kz/index.php/research/article/view/601>

7. Joshi S., Goyal S., Mukherjee A., Reddy M.S. Microbial healing of cracks in concrete: a review. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 44(11), 1511–1525, 2017. doi: 10.1007/s10295-017-1978-0 <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4knRppG7/>

8. Castro M.J., Lopez C.E., Narayanasamy R., et al. Potential of enzymes (urease & carbonic anhydrase). *Chim. Oggi. Chem.*, 34(4), 56–59, 2016. <https://www.researchgate.net/publication/306278739>

9. Wang Z., Zhang N., Cai G., et al. Review of ground improvement using microbial induced carbonate precipitation (MICP). *Mar.Georesour.Geotechnol*, 35(8), 1135–1146, 2017. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949929123000025>

10. Mazzei L., Cianci M., Benini S., et al. Kinetic and structural studies reveal a unique binding mode of sulfite to the nickel center in urease. *J. Inorg. Biochem.*, 154, 42–49, 2016. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2015.11.003 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26580226/>

11. Vsevolod, M, Elaman, K, Aibuldinov, K, et al. 2019. Efficient road base material from Kazakhstan's natural loam strengthened by ground cooled ferrous slag activated by lime production waste. *Journal of Cleaner Production*. 231, 1428-1436. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261931786X>

12. De Muynck W., Cox K., De Belie N., Verstraete W. Bacterial carbonate precipitation as an alternative surface treatment for concrete. *Constr. Build. Mater.*, 22(5), 875–885, 2018. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.12.011 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949929123000086>

13. Basheer P.A.M., Basheer L., Cleland D.J., Long A.E. Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance. *Constr. Build. Mater.* 11(7–8), 413–429, 1997. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061897000196>

14. Zhang, K, Tang, CS, Jiang, NJ, et al. 2023. Microbial-induced carbonate precipitation (MICP) technology: a review on the fundamentals and engineering applications. *Environ Earth Sci*. 82(9), 229. doi: 10.1007/s12665-023-10899-y. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10131530/>

15. Krishnapriya S., Babu D.V. Isolation and identification of bacteria to improve the strength of concrete. *Microbiol. Res.*, 174, 48–55, 2015. doi: 10.1016/j.micres.2015.03.009 <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-005-9014-7>.

16. Garabito M.J., Márquez M.C., Ventosa A. Halotolerant Bacillus diversity in hypersaline environments. *Can. J. Microbiol.* 44(2), 95–102, 1998. doi: 10.1139/w97-125 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9783177/>

17. Ventosa A., Márquez M.C., Garabito M.J., Arahal D.R. Moderately halophilic gram-positive bacterial diversity in hypersaline environments. *Extremophiles*, 2(3), 297–304, 1998. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8177169/>

18. Panosyan H., Hakobyan A., Birkeland N.K., Trchounian A. Bacilli community of saline–alkaline soils from the Ararat Plain (Armenia) assessed by molecular and culture-based methods. *Syst. Appl. Microbiol.*, 41(3), 232–240, 2019. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29342414/>
19. Kushwaha B., Jadhav I., Verma H.N., et al. Betaine accumulation suppresses the de-novo synthesis of ectoine at a low osmotic concentration in *Halomonas* sp SBS 10, a bacterium with broad salinity tolerance. *Mol. Biol. Rep.*, 46(5), 4779–4786, 2019. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31230183/>
20. Obeidat M. Isolation and characterization of extremely halotolerant *Bacillus* species from Dead Sea black mud and determination of their antimicrobial and hydrolytic activities. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 11(32), 1303–1314, 2017. doi: 10.5897/AJMR2017.8608 <https://academicjournals.org/journal/AJMR/article-full-text-pdf/9A1272765714.pdf>

References

1. Kurmanbaev, A, Nagmetova, GJ, Bizhanova, LJ, et al. 2017. Isolation of proteolytic bacteria promising for microbiological calcite deposition. *Actual problems of the humanities and natural sciences*. 4(1). <https://cyberleninka.ru/article/n/vydelenie-ureoliticheskikh-bakteriy-perspektivnyh-dlya-mikrobiologicheskogo-osazhdeniya-kaltsita>.
2. Sembaev, KD, Sembayeva J., Danlybaeva GA and co. 2019. Screening of ureolytic microorganisms promising for sand cementation. *Problems of Science*. 8 (141). <https://cyberleninka.ru/article/n/skrining-ureoliticheskikh-mikroorganizmov-perspektivnyh-dlya-tsementatsii-peskov>.
3. Ahenkorah, I, Mizanur R., Rajibul K, et al. 2021. Enzyme induced calcium carbonate precipitation and its engineering application: A systematic review and meta-analysis. *Construction and Building Materials*. 308, 125000. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821027471>
4. Akanksha, B, Emmanuel, S, Sumi, S. 2024. Composite biomediated engineering approaches for improving problematic soils: Potentials and opportunities, *Science of The Total Environment*. 914, 169808. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723084401>
5. Alotaibi, E, Arab, MG, Abdallah, M, et al. 2022. Life cycle assessment of biocemented sands using enzyme induced carbonate precipitation (EICP) for soil stabilization applications. 12(1), 6032. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9001663/>
6. Dauletkul, M., Tunyshbaeva, Z., Yankievich, U., Kydyrbava, A., & Tursynkhanovna, M. 2024. strengthening of sand and depleted soils by precipitating enzymatically induced calcium carbonate to protect against degradation and desertification. *Izdenister natigeler*, (2 (102)), 271-282 <https://journal.kaznaru.edu.kz/index.php/research/article/view/601>
7. Joshi S., Goyal S., Mukherjee A., Reddy M.S. Microbial healing of cracks in concrete: a review. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 44(11), 1511–1525, 2017. doi: 10.1007/s10295-017-1978-0 <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4knRppG7/>
8. Castro M.J., Lopez C.E., Narayanasamy R., et al. Potential of enzymes (urease & carbonic anhydrase). *Chim. Oggi. Chem.*, 34(4), 56–59, 2016. <https://www.researchgate.net/publication/306278739>
9. Wang Z., Zhang N., Cai G., et al. Review of ground improvement using microbial induced carbonate precipitation (MICP). *Mar.Georesour.Geotechnol*, 35(8), 1135–1146, 2017. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949929123000025>
10. Mazzei L., Cianci M., Benini S., et al. Kinetic and structural studies reveal a unique binding mode of sulfite to the nickel center in urease. *J. Inorg. Biochem.*, 154, 42–49, 2016. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2015.11.003 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26580226/>
11. Vsevolod, M, Elaman, K, Aibuldinov, K, et al. 2019. Efficient road base material from Kazakhstan's natural loam strengthened by ground cooled ferrous slag activated by lime production waste. *Journal of Cleaner Production*. 231, 1428-1436. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261931786X>

12. De Muynck W., Cox K., De Belie N., Verstraete W. Bacterial carbonate precipitation as an alternative surface treatment for concrete. *Constr. Build. Mater.*, 22(5), 875–885, 2018. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.12.011
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949929123000086>
13. Basheer P.A.M., Basheer L., Cleland D.J., Long A.E. Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance. *Constr. Build. Mater.* 11(7–8), 413–429, 1997. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061897000196>
14. Zhang, K, Tang, CS, Jiang, NJ, et al. 2023. Microbial-induced carbonate precipitation (MICP) technology: a review on the fundamentals and engineering applications. *Environ Earth Sci.* 82(9), 229. doi: 10.1007/s12665-023-10899-y.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10131530/>
15. Krishnapriya S., Babu D.V. Isolation and identification of bacteria to improve the strength of concrete. *Microbiol. Res.*, 174, 48–55, 2015. doi: 10.1016/j.micres.2015.03.009
<https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-005-9014-7>.
16. Garabito M.J., Márquez M.C., Ventosa A. Halotolerant Bacillus diversity in hypersaline environments. *Can. J. Microbiol.* 44(2), 95–102, 1998. doi: 10.1139/w97-125
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9783177/>
17. Ventosa A., Márquez M.C., Garabito M.J., Arahal D.R. Moderately halophilic gram-positive bacterial diversity in hypersaline environments. *Extremophiles*, 2(3), 297–304, 1998. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8177169/>
18. Panosyan H., Hakobyan A., Birkeland N.K., Trchounian A. Bacilli community of saline–alkaline soils from the Ararat Plain (Armenia) assessed by molecular and culture-based methods. *Syst. Appl. Microbiol.*, 41(3), 232–240, 2019. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29342414/>
19. Kushwaha B., Jadhav I., Verma H.N., et al. Betaine accumulation suppresses the de-novo synthesis of ectoine at a low osmotic concentration in Halomonas sp SBS 10, a bacterium with broad salinity tolerance. *Mol. Biol. Rep.*, 46(5), 4779–4786, 2019. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31230183/>
20. Obeidat M. Isolation and characterization of extremely halotolerant Bacillus species from Dead Sea black mud and determination of their antimicrobial and hydrolytic activities. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 11(32), 1303–1314, 2017. doi: 10.5897/AJMR2017.8608
<https://academicjournals.org/journal/AJMR/article-full-text-pdf/9A1272765714.pdf>

**Б.Т. Жанатаев*¹, З.Б. Тұңғышбаева¹, А.Т. Жанатаева²,
М.Е. Дәулетқұл¹, А.Б. Айман³**

¹ *Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан, bauka2923@gmail.com*, alua2002@yandex.kz, dauletkul_meirzhan@mail.ru*

² *КГП Кегенская районная больница на ПХВ, п. Кеген, Алматинская обл., Казахстан, Zhanatayeva.ainur@mail.ru*

³ *Казахстанско-Российский медицинский университет, Алматы, Казахстан, a.toktamys@mail.ru*

СПОСОБ УКРЕПЛЕНИЯ ПЕСКА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аннотация

Цемент это не только строительный материал, но и материал, обеспечивающий сохранение культурного наследия в обществе. Хотя ежегодно в мире возводятся тысячи сооружений с использованием цементного бетона, в том числе культурное наследие, исторические памятники, со временем бетон разрушается, становится непригодным и опасным для человека и животных. Поэтому для сохранения и восстановления этих структур можно использовать материалы, обладающие способностью к самовосстановлению. Использование уреазно-активных бактерий эффективно решает эти проблемы, потому что,

если бактерии используются в бетонных конструкциях, они продолжают жить и делиться в бетоне. Уреаза способствует минерализации карбоната кальция путем гидролиза мочевины, присутствующей в окружающей среде. В результате активности уреазы выделяется углекислый газ, бактерии могут использовать мочевины в качестве источника азота, аммиак повышает pH среды что приводит к образованию осадка Ca^{2+} и Co^{3+} Ca_2Co_3 . Это уникальное свойство делает его особенно подходящим для использования в строительной отрасли (бетонные конструкции, штукатурные растворы, готовые смеси, производство огнеупорных элементов, кирпича).

Микроорганизмы были выделены из сточных вод, а затем проверены на способность гидролиза мочевины. По результатам испытаний проведены испытания 7 изолятов, из них отобраны 2 штамма с высокой уреазной активностью.

В данной статье изучен метод биоцементации песка. Были проведены испытания на эрозию дождевых вод, чтобы проверить прочность затвердевшего песка. Кроме того, при исследовании укрепленного песка под микроскопом SEM-BSE можно четко увидеть биоцементность карбонатов кальция в песке.

Ключевые слова: Биоцемент, устойчивость к уреазе, песок, Sem микроскоп, MICP.

***B. T. Janataev^{*1}, Z. B. Tungyshbaeva¹, A.T. Zhanataeva²,
M. E. Dauletkul¹, A.B. Ayman³***

*¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,
bauka2923@gmail.com*, alua2002@yandex.kz, dauletkul_meirzhan@mail.ru*

*² KEGEN District Hospital KSE on PCV, Almaty, Kazakhstan, Zhanatayeva.ainur@mail.ru
ainur@mail.ru

³ Kazakhstan Russian Medical University, Almaty, Kazakhstan, a.toktamys@mail.ru

METHOD OF STRENGTHENING SAND BY MICROBIOLOGICAL METHOD

Abstract

Cement is not only a building material, but also a material that ensures the preservation of cultural heritage in society. Although thousands of structures using cement concrete are built every year in the world, including cultural heritage and historical monuments, over time concrete is destroyed, becomes unusable and dangerous for humans and animals. Therefore, materials with the ability to self-repair can be used to preserve and restore these structures. The use of urease-active bacteria effectively solves these problems, because if bacteria are used in concrete structures, they continue to live and divide in concrete. Urease promotes the mineralization of calcium carbonate by hydrolysis of urea present in the environment. As a result of urease activity, carbon dioxide is released, bacteria can use urea as a nitrogen source, ammonia increases the pH of the medium, which leads to the formation of a precipitate of Ca^{2+} and Co^{3+} Ca_2Co_3 . This unique property makes it particularly suitable for use in the construction industry (concrete structures, plaster mortars, ready-made mixtures, production of refractory elements, bricks).

Microorganisms were isolated from wastewater and then tested for the ability to hydrolyze urea. According to the test results, 7 isolates were tested, 2 strains with high urease activity were selected from them.

In this article, the method of bio-cementation of sand is studied. Rainwater erosion tests were carried out to test the strength of the hardened sand. In addition, when examining reinforced sand under the SEM-BCS microscope, it is possible to clearly see the pregnancy of calcium carbonates in the sand.

Key words: Biocement, urease resistance, sand, SEM microscope, MICP.