

Б.Т. Жанатаев^{1*}, З.Б. Тұнғышбаева¹, А.С. Сарсенова²

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Халықаралық экология академиясы мекемесі, Астана, Қазақстан

*Байланыс үшін автор: bauyrzhan_zhanataev@mail.ru

Микробиологиялық тәсілмен топырақ және құмды нығайтуға *Sporosarcina pasteurii* бактериясын қолдану

Аңдатпа. Бұл мақалада топырақты нығайтудың үнемді және қоршаған ортаға зиян келтірмейтін биологиялық әдістер, микроағзаларды қолдану арқылы биоцемент алуды зерттеу туралы мәліметтер берілген. Зерттеу барасында екі әдіс қолданылды: микроағзалармен инъекциялау және араластыру әдісі. Әр әдістің екі түрі қолданылды, инъекциялау әдісінің фиксациялы және фиксациясыз түрі, ал араластыру әдісінің стиринденген және стиринденбеген түрі. Биоцемент алу барасында *Sporosarcina pasteurii* микроағзасы қолданылып, құмды нығайтуға және де құмның әртүрлі механикалық қасиеттерін жақсартуға бағытталған зерттеу жұмыстары жүргізіліп, нәтиже алынды.

Микробиологиялық әдіспен құмды нығайтуға кальций карбонатын (кальцит) тұндыруды қолдану мүмкіндігі артып, оның кең таралуына және зерттелуіне алып келді. Қазіргі уақытта құмды нығайтуда бұл әдістің биотехнологиялық маңызы зор, басқа технологиялармен салыстырғанда экономикалық жағынан тиімді және болашағы бар әдіс болып табылады. Зерттеу жұмысында *Sporosarcina pasteurii* микроағзаларды қолданып, кальций карбонатын тұндыру арқылы, құмның коллонасы нығайтылды.

Нығайтылған құмды рентгенографиялық және SEM-BSE микроскопы арқылы зерттеу барысында құмдағы кальций карбонаттарының биоцементтелгенін айқын көруге болады. Сонымен, жұмысты қорытындылай келгенде *Sporosarcina pasteurii* микроағзасын құмды нығайту үшін қолдануға болатыны дәлелденді. Зерттеу нәтижесінде микроағзамен фиксациялы инъекция, фиксациясыз инъекциядан құмды нығайтып суға беріктігін арттырды. Ал, араластыру әдісі бойынша стерилденген ортада бактерияларды өсіру, центрифугалау процесісіз микроағзалардың көбею белсенділігі мен кальцит кристалдарының пайда болуына теріс әсер көрсетпейді.

Түйін сөздер: кальцит тұнбасы, *Sporosarcina pasteurii*, бактериялар, құм, нығайту.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-144-3-69-81

Кіріспе

Бүкіл әлемдік проблемалардың бірі тозған топырақтың көбеюі және шөлейттену, желдің әсерінен құм төбелері көшіп, ауылшаруашылық жерлер шөлге айналды және барлығы құммен жабылады. Мұндай жағдайлар Қазақстанда кездеседі мысалы: Ақтау, Қылылорда, Атырау облыстарында. Ондай өңірлерде климаттық жағдайы шаңды дауылдардың пайда болуына өте қолайлы. Оған себеп болатын факторларға жататындар, жаңбырсыз ұзақ кезеңдер, құмды және сазды шөлдердің көлемді аудандарды алуы,

өсімдік флорасының өсуіне қолайсыз болуы. Аталған факторлар еліміздің эконимикалық жағдайларына айтарлықтай зиян келтірді.

Топырақты нығайту үшін геотехникалық жобалауда қолданылатын дәстүрлі әдістер өте үнемсіз, және көбінесе қоршаған ортаны зиянды көміртекті химиялық заттармен ластайды.

Топырақты нығайтудың биологиялық әдісінің бірі микроағзалардың көмегімен биоцементтеу. Біздің жұмысымызда *Sporosarcina pasteurii* бактериясының көмегімен биоцементация жасалынды, құмды нығайтуға және де оның әртүрлі механикалық қасиеттерін жақсартуға бағытталған үш әдіс арқылы фиксациялық инъекция, фиксациясыз инъекция және араластыру әдісі қолданылды. Бұл әдістер топырақты құнарландыру проблемаларын жеңудің ең үнемді инженерлік шешімдерінің бірі [1].

Қазіргі таңда инженерлік мақсаттардың бірі табиғи құмға зиянын тигізбей химиялық, физикалық, биологиялық және аралас әдістерді пайдалана отырып құмның құнарлығын арттыру [2.3].

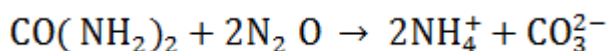
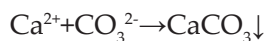
Шет елдерде мысалы, Иран, АҚШ, біріккен Араб Әмірліктері, сомен қатар Қазақстанның кей аудандарында көшкен құммен күрестің кең таралған тәсілінің бірі, тасымалдау әдісі. Бұл тәсілді қолдануда материалдық шығындар өте көп жұмсалады. Сондықтан, бұл мәселені экономикалық тұрғыдан шешу мақсатында, әртүрлі дәстүрлі емес зерттеу әдістері іздестірілді [4].

Біз қарастырған әдебиеттердегі мәліметтер бойынша құмды нығайтуға қолданылған дәстүрлі және кең таралған әдістерге цемент-шлам күлі сияқты өнімдер [5], цемент күлі зола-унос, әк күлі- зола-унос [6], жержаңғақ қабығының күлі және талшық қалдықтары [7], цемент шаңы [1], шлак, зола-унос және темір гидроксидінің қалдықтары [8], Портландцемент пен битум эмульсиясының қоспасы [9], әк қышқылы [10], геотекстильді қалдықтар [11] кальций негізіндегі тұрақтандырғыш [12], магний хлориді [13], сілтілік NaOH және Na_2SO_3 комбинациясынан тұратын активаторлар пайдаланылған [14].

Биоцементация жаңа бағыт болғандықтан құмды нығайтуға, құмды өлкені шөлейттенуден қорғауға және көптеген геотехникалық инженерлік қосымшаларда қолдануға болатын практикалық әдіс ретінде қарастыруға болады [15].

Биоцементтелген құм коллоннасының маңызды сипаттамаларының бірі оның беріктігінің жоғарылауы және су өткізгіштігінің төмендеуі [16,17]. Құм коллоннасының биоцементтеу процесіне аммоний хлоридінің концентрациясын кең ауқымында қолдануға болады [18]. Мочевинаны аммоний карбанотына дейін ыдырата алатын бактериялар құмға отырғызылады, содан кейін мочевиана мен кальций хлориді бар ерітінді қосылады [19,20].

Бактерия мочевианы энергия көзі ретінде пайдаланады және қоршаған ортаның рН деңгейін жоғарылатып, аммоний иондарын (NH_3^+) шығарады да Ca^{2+} және CO_3^{2-} иондарын $CaCO_3$ ретінде тұндырады. Жергілікті рН-тың жоғарылауы көбінесе микроағза жасушаларының кристалдануы үшін нуклеация орталықтарына айналып, кальций тұнбасының түзілуіне себебшісі болады. Кальциттің тұнбасы келесі реакция теңдеуімен сипатталады:



Sporosarcina pasteurii бактериясына бұл салада үлкен қызығушылық туып, АҚШ, Иран, Польша, Нидерланды, Египет мемлекеттерінде кеңінен зерттелген [21,23]. Бірақ, Қазақстанда бұл салада зерттеулер толық жүргізілмеген, соған байланысты осындай зерттеу жүргізуді алдымызға мақсат етіп қойдық.

Зерттеу әдістері

Зерттеу жұмысымызда төрт түрлі материал қолданылды: құм, уреаза активті бактериялар және кальций хлориды (CaCl_2) және мочевина. Құм коллонасы Ақтау қаласына 4 км жетпей орналасқан жерден жиналып алынды. Зерттеуге пайдаланған табиғи құм құрамында ұсақ қиыршық тастар бар, ол орташа ұсақ фракциялы құмға жатады (1-кесте). Қолданылатын құмның физикалық қасиеттері мен химиялық құрамы 1-кестеде көрсетілген. Құм орташа сілтілік типке жатады, құрамында кремний (SiO_2 ; 96,12%) бар, сульфат негізіндегі материал жоқ.

Кесте 1

Қолданылған құмның физикалық-химиялық құрамы

Физика-химиялық қасиеттері	Өлшем бірлігі	Құндылықтары
Үлес салмағы		2.88 BS
Классификациясы		құм
pH		8.18
TDS	ppm	449.5
Cl	ppm	39.5
SO_3	ppm	0.0
SiO_2	%	96.12
	%	0.44
Fe_2O_2	%	1.05
AL_2O_3	%	1.33
	%	2.39
CaO		
CaCO_3		

- TDS- Еріген заттардың жалпы мөлшері.
- Ppm- Концентрация бірліктері арасындағы қатынас.

Бактериялық суспензияны дайындау

Суспензияны дайындау үшін 1 л суға 20 г/л ашытқы экстрактысымен 10 г/л аммоний хлориді және 5 г/л інжір қосылған қышқылдық орта дайындалып, стирілді болу үшін автоклавқа қойылды. Суспензия суыған соң, оған *Sporosarcina pasteurii* микроағзаларын отырғызып, аэробты жағдайда өсірілді (сурет -1). Осы ортаның pH 4-тен өсіру үшін, NaOH сілтісін қосу арқылы pH 9-ға дейін жеткізіліп, бактериялық суспензияның оптикалық тығыздығы 2,3 (OD600) дейін жеткізілді.



Сурет 1. Дайындалған суспензиялық орта, (а) шайқаған кездегі, (б) ауа қысымы

Химиялық ерітінділерді дайындау

Цементтейтін ерітіндінің екі түрі дайындалды: 1. Дистилденген 2 литр суға 1 моль (60,06 г/л) құрғақ ашытқы экстракт мен 1 моль мочевины (147,02 г/л) араластырылып, ерітілді. 2. Нығайтылатын құмға бірте-бірте қосатын ерітіндіні жасау үшін, 1 литр дистилденген суға 0,05 моль (7,35 г/л) құрғақ кальций хлоридін қосу арқылы дайындалды (2-кесте).

Кесте 2

Пайдаланылған ерітіндінің физика-химиялық қасиеттері

Атауы	Дистилденген суға	Кальций хлориді CaCl_2 грам литр	Мочевина (грамм)	Аммоний хлориді	Натрий гидроксиді
Экологиялық тазалығы	100%	98%	99.5%	99.5%	98%
Цементтейтін ерітіндінің 1 түрі	2 литр	-----	294,04 г	---	----
Цементтейтін ерітіндінің 2 түрі	1 литр	7,35 г/л)	----	----	-----
Физикалық қаттылығы 20°C	Тығыз	Тығыз	Тығыз	Тығыз	Тығыз
Иісі	Тән иісі бар	Иіссіз	Иіссіз	Иіссіз	Иіссіз
pH	–	5–8	7.5–9.5	4.5–5.5	13–14
Ерігіштігі (массасы бойынша%)	20% су	Толығымен ериді	Толығымен ериді	Толығымен ериді	111 г / 100 г су
Молекулалық массасы	–	147.02	60.06	53.49	40.0
Молекулалық формула	–	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	NH_2CONH_2	NH_4Cl	NaOH
Түсі	Ашық қоңыр ұнтақ	Ақ ұнтақ	Ақ кристалды	Ақ кристалды	Ақ түйіршікті
Тығыздығы (г / см ³)	–	1.85	1.35	1.53	2.13

Биоцементация әдісі

Биоцементацияның үш әдісі қолданылды:

1. Инъекция әдістері (а. 1А және б. 1С үлгілері)

Бұл әдіс екі түрге бөлінеді, атап айтқанда, фиксациясыз инъекциялар және фиксациялы инъекциялар.

а. Фиксациясыз инъекция – стерильденген ортада бактериялық штамм өсіріледі және 200 айн/мин шайқау жағдайында 30°C температурада 24 сағат инкубацияланады. Бактерияларды қоректік ортадан 4000 айналым/мин центрифугалау арқылы бөліп алып, құм бағанасына енгізілді.

б. Фиксациялы инъекция – стерильденген ортада бактериялық штамм 30°C температурада 24 сағат өсірілді. Бұл әдісте центрифуганы қолданбай бактериялар табиғи өскен түрінде құм бағанасына енгізіледі.

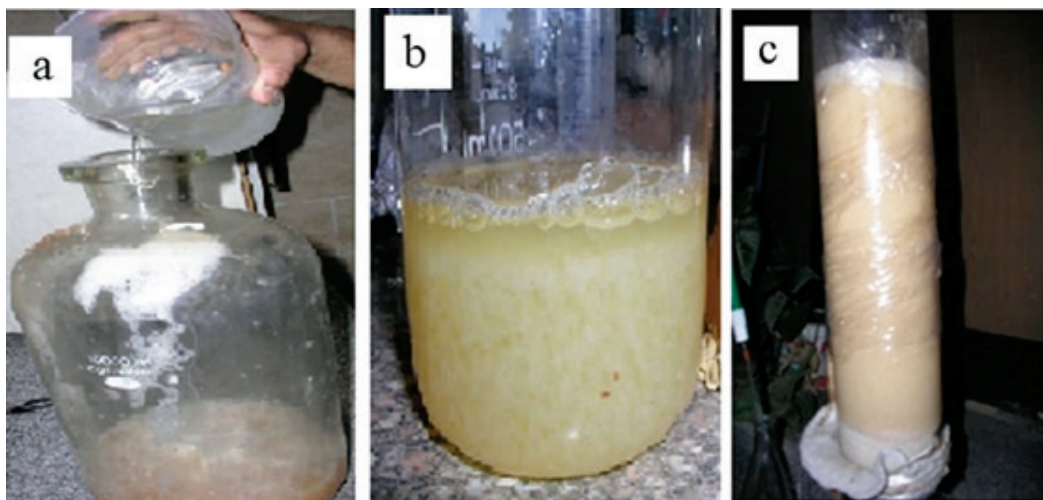
2. Араластыру әдісі, 2 түрден тұрады (а. 2В және б. 2D үлгілері)

а. Бұл түрде бактериялық штаммдар стерильденбеген қоректік ортаға енгізіледі және аэробты жағдайда 30°C температурада 12 сағатқа инкубацияланады. Суспензиялық орта центрифугалаусыз тікелей қолданылды.

б. Бұл түрде бактериялық штаммдар стерильденген қоректік ортаға енгізіледі және аэробты жағдайда 30°C температурада 12 сағатқа инкубацияланады. Суспензиялық орта центрифугалаусыз тікелей қолданылды.

Ол биоцемент ерітіндісімен араластырылып, құм бағанасының ішіне құйылады (2-суретте). Барлық сынақ үлгілері бөлме температурасында (25-2)°C жүргізілді.

Сонымен қатар, әр зерттеу тобына кальций хлормен мочевиная 12 күн бойы, күніне 1 реттен қосылып отырды (сурет -2).

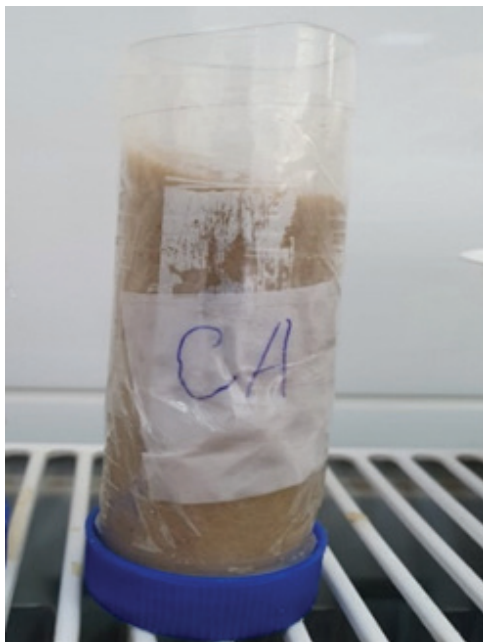


Сурет 2. Түрлі қоспалардың жасалуы (а) биоцемент ерітіндісін суспензиямен араластырғанда, (b) араластырғаннан кейін пайда болған тұнба, (c) алынған ерітіндіні құм бағанасына қосқанда

Құмды нығайту

Ақтау қалсының маңыңдығы ашық жазықтықтан алынған ұсақ түйіршікті құм, лабораторияда (25-28 C⁰) кептірілді. Зерттеуге қолданылған құмның салмағы 550 г, ол диаметрі 50 мм, биіктігі 15 см ПВХ пластикасынан жасалған фальконға орналастырылды (сурет - 3), фальконның үстіңгі беткі қабаты ашық, ал астыңғы бөлігіндегі саңылау тығынмен жабылған. Фальконға салынған құмның биіктігі 12 см жетті. Фальконның үстіңгі бөлігі арқылы мочевиная, кальций хлор, *S. pasteurii* микроағзалары бар суспензия құйылды. 20 минут өткеннен кейін құмда бос кеңістіктер пайда болды. Бос кеңістіктерді жою үшін, құмды арнайы балғамен механикалық соққылау арқылы тығыздадық, соның нәтижесінде

құмның көлемі бастапқысынан 3 см кемеді. Тығыздалған құм микроорганизімдерді сіңіру үшін 24 сағатқа бөлме температурасында ұсталды. Құмның бөліктерін нығайту үшін оған 10 мл CaCl_2 мен 10 мл мочеви́на тәулігіне 1 реттен 12 күн бойы құм коллонасына қосылды және бөлме температурасында кептірілді.

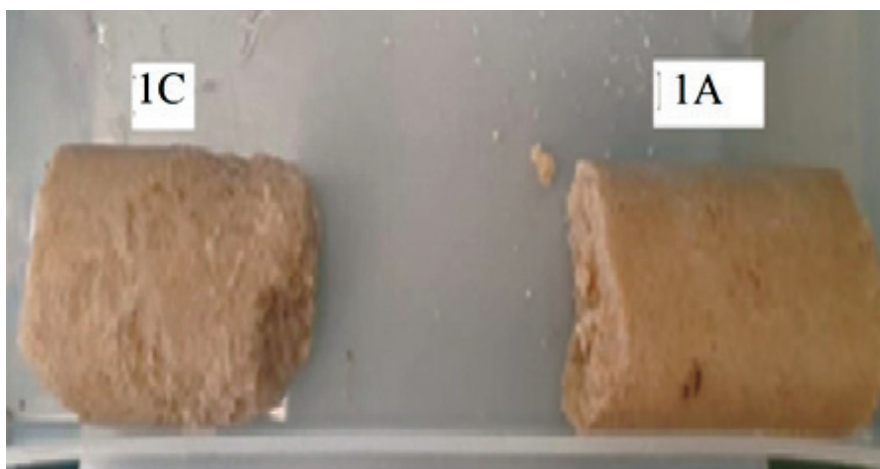


Сурет 3. Суспензияны құмға қосқаннан кейінгі көрінісі

Нәтижелер

Суға тұрақтылығы

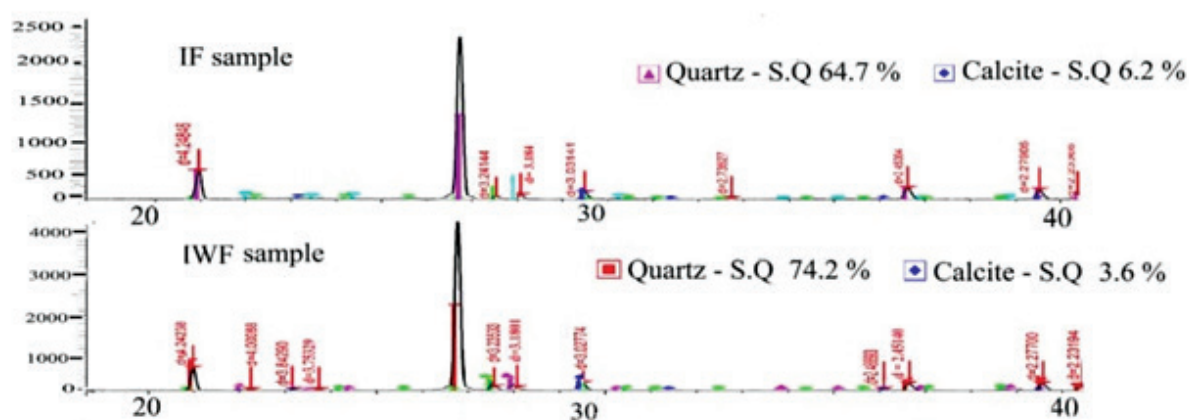
Биоцементтелген құмның үлгілерінің суға тұрақтылығын тексеру үшін фальконнан шығарылып, 0,90 - литр су құйылған көлемі 3 – литрлік темір ыдысқа орналастырылды және 24 сағат бөлме температурасында ұсталды (4-суретте). Суретте көрсетілгендей, барлық үлгілер суға тұрақты екенін көрсетті, бірақ осы зерттеуде 1С үлгілерін басқа үлгілермен салыстырғанда, оның суға тұрақтылығы басым болды. Алынған нәтижелер бұрын шет елде жасалған (Египет) тәжірибелерге сәйкес келеді [33]. Біздің зерттеуімізде суға батырылған құмның зақымдалуы шамалы немесе мүлдем байқалмағаны көрініс береді (сурет 4).



Сурет 4. Су эрозиясына биоцементтің 24 сағаттан кейін алынған құмның тұрақтылығы *S. pasteurii* бактерияларды қолдану құмның нығаюын жоғарлатқан.

Биоцементтелген құмның рентгеннограммалық көрсеткіштері

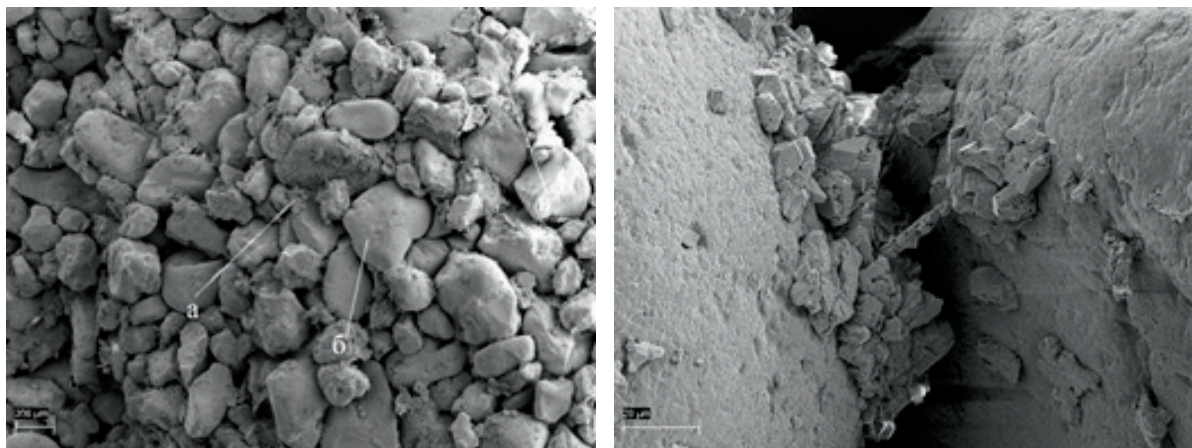
Құмның рентгеннограммалық көрсеткіштерін зерттеу 1С және 1А үлгілерінде жүргізілді. Төменде фиксациялы инъекция және стирелденбеген араластыру әдісімен биоцементация жүргізілген үлгілердің рентгенограммасы көрсетілген. Рентгенограммадан қарағанда табылған негізгі фазалар түрі кварц пен кальцит. Нәтижелер кальциттің жартылай сандық пайызы артқанын көрсетті. Кальциттің жақсы дамуы 1С үлгісінде кездеседі және пайыздық көрсеткіші 6,2 құрайды. Кальциттің төмен дамуы 1А үлгісінде көрініс берді және көрсеткіші 3,6 пайыз құрайды. 1С үлгісінде кальциттің жоғары түзілуіне суспензияны дайындау ерекшелігі әсер көрсетуі мүмкін. Бұл әдісте бактерия *S. pasteurii* өсірілген суспензия центрифугадан өткізілмеген, бактериялардың көбеюіне қолайлы жағдай туған, сондақтан кальциттің жоғарғы дәрежеде түзілуіне алып келген (Сурет -5).



Сурет 5. Құмның рентгендік дифракциясының көрінісі, 1С және 1А үлгілері

SEM микроскопы арқылы нығайтылған құм үлгілерін зерттеу

Ақтау құмы 1С пен 1А үлгісін электронды микроскоп арқылы зерттегенде (6- суретте), пайда болған кальцит кристалдарының морфологиясы, қолданылған биоцементация әдісіне байланысты өзгертіні байқалды. Үлгілер жұқа көміртегі қабатымен жабылған (шамамен 20 нм). Үлгілерден SEM-BSE (кері электрондар) микроскопы арқылы алынған кескіндер Варшава қаласындағы университетің геология факультетінде NANOFUN функционалды Zeiss SIGMA VP наноматериалдардың ұлттық көп салалы аналитикалық зертханасында (20 кВ үдеткіш кернеу, 120 мкм диафрагма жүргізілу арқылы) зерттелді. Микроскоппен тек су эрозиясына тұрақты болып, жақсы нәтиже көрсеткен үлгілерден ғана мәліметтер алып, суретке түсірілді.



1С үлгісі

1А үлгісі

Сурет 6. Үлгі 1С микро сурет, а: кальцит, б: құм түйіршіктері, в: беткейлік қабаты
1А - 2 үлгісінде құмның бір - біріне микроорганизм арқылы біріккенін көруге болады

1С үлгісінде (Сурет-6) көрсетілгендей кальцит фазасының морфологиясы бөлшектердің беткейлігінде, сондай-ақ бөлшектер арасында нашар кристалданған фазаның (гель түрінде) кластерлері ретінде көрінеді және бұл техникалық қасиеттерге оң әсер етеді деп күтілуде. Суретте құмның кальцит кристалдары арқылы жақсы бірігіп, кластерлер немесе өзек тәрізді формалар түрінде болатыны көрініс береді.

Талқылау

Sporosarcina pasteurii бактерияларының коллекциялық штаммдары қолданылды, бұл материал Астана қаласынандағы Назарбаев университетімен бірлескен Экостандарт.kz лабораториясынан алынды.

Sporosarcina pasteurii бактериясының құрамы уреазаға активті, амони мөлшері жоғары болғанда да өз қарқындылығын сақтайды [24]. Биоцементацияға қолданылатын бактериялар уреазаға активті, патогенді емес және басқа да қоршаған ортадағы мироағзалардың патогендік қасиетін қоздырмайды [15].

Бактериялардың тасымалдануына әсер ететін физикалық, химиялық және биологиялық факторлар зерттелген. Соның ішінде, химиялық құрамы мен температура, қышқылдық, ылғалдылық, рН суспензияның жалпы көлемі және электрофорездік әдіспен иондық күші анықталған [25,27], [29,30]. Со нымен қатар бактериялардың саны, метаболикалық белсенділігі, жасушаның пішіні, мөлшері, орналасуы, гидрофобтығы [13], және тығыздығы [28], кеуектік ортаның қасиеттері, беткейлік құрылымы анықталған [30,31].

Мортенсен және басқа да ғалымдар [18] биоцементация бойынша *Sporosarcina pasteurii* 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 [28]. Екінші маңызды фактор мочевианың ыдырау жылдамдығын жатқызған. Сонымен, авторлар *Sporosarcina pasteurii* бактериялары активті түрде мочевианы жоғары қарқындылықта ыдырататынын анықтады. [32].

Қорытынды

Зерттеу жұмысымыз құмды биоцементтеуге бағытталған. Зертханалық жағдайда биоцементация жүргізілген Ақтау құмның беріктігін тексеру үшін физика-химиялық және механикалық эксперименттер жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде бактерия *S. pasteurii* белсенділігін көрсетті, кальций көміртегімен әрекеттесуі арқылы биоцементтелген үлгілердің беріктігін арттыруда маңызды рөл атқарды. Құмның беріктігіне фиксациялы инъекциялау, фиксациясыз инъекция әдісіне қарағанда тиімді болды. Зерттеу нәтижелері бактериялардың адгезиялық белсенділігіне кальцитпен әрекеттесуі ықпал етіп, түйіршіктер бір-бірімен нығыздалып, бөліктер құрды, бұл құмның беріктігін және сыртқы орта факторларына төзімділігін арттыратынын көрсетеді.

Биоцементацияны жүргізу барысындағы алынған нәтижелер Египеттегі Каир университетінің ғалымдары жүргізген зерттеу жұмысының нәтижесімен сәйкес келеді [35].

1С үлгісімен биоцементтелген құмның беткейлік бөлігінде кальцит кристалдарынан қалың қабат пайда болғаны SEM-BSE микроскопы арқылы анықталды. Бұндай қабат нығыздалған биоцементке басқа да сұйықтықтың енуіне жол бермейді. Сол себептен үлгілерге 12 - тәулік бойы қосатын мочеви́на мен кальций хлорлы сұйықтығын бірте - бірте аз мөлшермен қосу ұсынылды. Зерттеу нәтижелері бойынша қоректік ортада бактерияларды 24 сағат бойы инкубациялап, центрифугалық процестерді өткізбей қолданған тиімді. Біз қолданған әдіс көп күш, уақыт пен құралдарды үнемдейді және экономикалық жағынан артықшылықтарға ие, сонымен қатар үлкен аумақтағы құмға биоцементация жүргізу жұмысын жеңілдетеді.

Стерилденген ортада бактерияларды өсіріп, центрифугалау процесінен өткізбеу олардың көбею белсенділігі мен кальцит кристалдарының пайда болуына теріс әсер көрсетпейді. *S. Pasteurii* бактериясын биоцементацияда қолдану құмның беріктігін арттырады, сондықтан ауылшаруашылығында құмды нығайту мақсатында қолдануға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. El Mashad M., Hassan A. Increasing the strength of sandy-silty soils by mixing with cement dust // J. Eng. Sci., Assiut University, Department of Eng. – 2013. – Vol. 41(4). – P. 1-10.
2. Winterkorn H.F., Pamukchu S. Soil Stabilization and Grouting of Joints, in: Si Fang (ed.), Handbook of Foundation Design, Second Edition, Wannostrand Reinhold. – New York: NY, 1991. – 317 p.
3. Sirivitmaitri C., Puppala A., Saride S., Hoyos L. Combined lime-cement stabilization for increasing the service life of small roads, trans. // J. Transp. Res. Board. – 2011. – Vol. 2204(1). – P. 140-147.
4. Fauzi A., Nazmi W.M., Fauzi W.J. Stabilization of Kuantan clay bed using fly ash and bottom ash, in: 8th International Conference on Geotechnology and Transportation Engineering Geotropika. – Kinabalu, Sabah, Malaysia, 2010.
5. Ingunza M.P.D., Pereira C.L., Junior O.F.S. Use of sludge ash as a stabilizing additive in soil-cement mixtures for use in road pavements // J. Mater. Civil Eng. – 2015. – Vol. 27(7). – P. 3-5.
6. Trivedi J.S., Nair S., Iyyunni C. Optimal use of fly ash to stabilize low quality soil using genetic algorithm // Proc. Eng. – 2013. – Vol. 51. – P. 250-258.
7. Krishna T.M. Soil stabilization by peanut shell ash and waste fiber material // Int. J. Innov. Eng. Technol. – 2015. – Vol. 5(3). – P. 52-57.
8. Elmashad M.M.A. Comprehensive research on soil improvement in arid areas using industrial by-products such as slag, fly ash, waste iron hydroxide mixed with desert dune sand, Bentonite, cement and/or lime // Doctoral dissertation, Okayama University, Okayama. – Japan, 2006. – P. 76-82.
9. Baginia M.S., Ismaila A., Heradmand B., Hafezi M.H., Almanso R.A. Possibilities of Portland cement-bitumen emulsion mixture for soil stabilization in road base construction // Journal Technology. – 2013. – Vol. 65(2). – P. 67-72.
10. James J., Pandian P.K. Effect of microceramic dust on plasticity and swelling index of lime stabilized expansive soil // Int. J. Appl. Eng. Res. – 2015. – Vol. 10(42). – P. 30647-30650.

11. Bina C.S. Case studies on the application of coco coir geotextile for soil stabilization, in: International Conference on Case Histories in Geotechnics // Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnics. – 2013. – Vol. 5(2). – P. 67-72.
12. Latifi N., Eisazadeh A., Marto A., Meehan K.L. Tropical residual soil stabilization: a powdered material for soil strength improvement // Const. Build. Mater. – 2017. – Vol. 147. – P. 827-836.
13. Jawad F., Zheng J. Improvement of fine sand by microbial-induced calcite deposition // Brit. J. Appl. Sci. Technol. – 2016. – Vol. 17(2). – P. 1-9.
14. Muhammad N., Siddiqua S., Latifi N. Curing earth bed materials using magnesium leaching: a sustainable construction additive // J. Mater. Civ. Eng. – 2018. – Vol. 30(10). – P. 1-13.
15. Umar M., Kassim K.A., Chiet K.T.P. Biological process of soil improvement in civil engineering: a review // J. Rock Mech. Geotechnical Engineering. Eng. – 2016. – Vol. 8. – P. 767-774.
16. Cheng L., Cord-Ruvish R. In situ soil cementation by ureolytic bacteria through surface percolation // Ecol. Eng. – 2012. – Vol. 42. – P. 64-72.
17. Sun N.W., Lee L.M., Khun T.K., Ling H.S. Factors influencing the improvement of engineering properties of residual soil by microbial-induced calcite deposition // J. Geotech. Geoenviron. Eng. – 2014. – Vol. 140(5). – P. 0401-4006.
18. Mortensen B.M., Haber M.J., Dejong J.T., Kaslake L.F., Nelson D.C. Effect of environmental factors on microbe-induced calcium carbonate deposition // J. Appl. Microbiol. – 2011. – Vol. 111(2). – P. 338-349.
19. Harkes M.P., van Paassen L.A., Buster J.L., Whiffin W.S., van Lausdrecht M.C.M. Fixation and distribution of bacterial activity in sand to induce carbonate deposition for soil stabilization // Ecol. Eng. – 2010. – Vol. 36(2). – P. 112-117.
20. Cardoso R., Pedreira R., Duarte S., Monteiro G., Borges J., Flores-Colen I. Biocementation as a method for rehabilitation of porous materials. New approaches to construction and durability // Build. Pathol. Rehabilitation. – 2016. – Vol. 99-120. – P. 99-120. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-0648-7_5.
21. Yang Z., Cheng H. A study on the effectiveness of a high-strength microbiological mortar obtained by low-pressure grouting of joints to reinforce failing masonry structures // Const. Build. Mater. – 2013. – Vol. 41. – P. 505-515.
22. Grabeca A.M., Starzick J., Stefaniac K., Wierzbicki J., Zavala D. On the possibility of improving compacted silt soils using the biodeposition method // Const. Build. Mater. – 2017. – Vol. 138. – P. 134-140.
23. Li M., Wen C., Li Y., Zhu L. Effect of oxygen availability on microbial-induced calcite deposition (MICP) treatment // Geomicrobiol. J. – 2017. – P. 1-18.
24. Whiffin W.S. Microbial CaCO₃ deposition for biocement production, Ph. D. thesis, Murdoch University, 2004.
25. Jawad F., Zheng J. Improvement of fine sand by microbial induced calcite deposition // Brit. J. Appl. Sci. Technol. – 2016. – Vol. 17(2). – P. 1-9.
26. Sharpe A., Latkar M.V., Chakrabarti T. Microbially assisted cementation-a biotechnological approach to improve the mechanical properties of cement // Const. Build. Mater. – 2017. – Vol. 135. – P. 472-476.
27. Umar M., Kassim K.A., Cheet K.T.P. Biological process of soil improvement in civil engineering: a review // J. Rock Mech. Geotechnical Engineering. Eng. – 2016. – Vol. 8. – P. 767-774.
28. Van Paassen L., Goz R., Vander Linden T., Vander Star W., Van Lausdrecht M. Quantification of biomedical soil improvement by ureolysis: a large-scale biocontamination experiment // J. Geotech. Geoenviron. Eng. – 2010. – Vol. 136. – P. 1721-1728.
29. De Muynck Y., Verbeeken C., De Beli N., Verstraete W. Effect of urea and calcium dosage on the efficiency of bacterially induced carbonate deposition on limestone // Ecol. Eng. – 2010. – Vol. 36. – P. 99-111.
30. Foppen J.W.A., Schijven J.F. Transport of E. coli in columns of geochemically heterogeneous sediments // Water Res. – 2005. – Vol. 39. – P. 3082-3088.
31. Achal V., Li M., Zhang C. Biocement, a recent study in structural engineering: China's status compared to the rest of the world // Adv. Cem. Res. – 2013. – Vol. 26. – P. 281-291.
32. Torkzaban S., Tazehkand S.S., Walker S.L., Bradford S.A. Transport and fate of bacteria in porous media: coupled effects of chemical conditions and pore space geometry // Water Res. Res. – 2008. – Vol. 44. – P. 1-12.
33. Valencia-González Y., Carvalho-Camapum J., Lara-Valencia L.A. Influence of biomineralization on a profile of a tropical soil affected by erosive processes // DYNA. – 2015. – Vol. 82(192). – P. 221-229.
34. Foppen J.W.A., Schijven J.F. Transport of E. coli in columns of geochemically heterogeneous sediment // Water Res. – 2005. – Vol. 39. – P. 3082-3088.
35. ECP 2001, Egyptian code for soil mechanics and design and executing the foundations, Standard test method for slake durability. – 2001. – Part 2/202, section 2-35. – P. 291-293.

Б.Т. Жанатаев¹, З.Б. Тұңғышбаева¹, А.С. Сарсенова²

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

²Учреждение «Международная академия экологии», Астана, Казахстан

Применение бактерии *Sporosarcina pasteurii* для укрепления почвы и песка микробиологическим способом

Аннотация. В данной статье представлены экологически и биологически безвредный метод укрепления почв с использованием микроорганизмов для получения биоцемента. В ходе исследования были использованы два метода: инъекция микроорганизмов и метод смешивания. Были использованы два типа каждого метода: фиксированная и нефиксационная форма инъекции и стерилизованная и нестерилизованная форма метода смешивания. В процессе получения биоцемента был использован микроорганизм *Sporosarcina pasteurii*, проведены исследования, направленные на укрепление песка и улучшение различных механических свойств песка, и получены результаты.

Возможность применения осаждения карбоната кальция (кальцита) для укрепления песка микробиологическим методом возросла, что привело к его широкому распространению и изучению. В настоящее время метод укрепления песка имеет большое биотехнологическое значение, является экономически эффективным и перспективным методом по сравнению с другими технологиями. В исследовательской работе с использованием микроорганизмов *Sporosarcina pasteurii* была укрепленна колонна песка путем осаждения карбоната кальция.

При исследовании биоцемента с помощью микроскопа SEM-BSE и рентгенографии, можно четко увидеть карбонатов кальция. Итак, подводя итоги работы, было доказано, что для укрепления песка можно использовать микроорганизм *Sporosarcina pasteurii*. В исследовании песка на прочность в водной эрозии доказано, что фиксирующая инъекция эффективнее, чем инъекции без фиксации.

По методу смешивания культивирование бактерий в стерильной среде без центрифугирования не оказывает негативного влияния на репродуктивную активность микроорганизмов и образование кристаллов кальцита.

Ключевые слова: кальцит, *Sporosarcina pasteurii*, бактерии, песок, укрепление.

B.T. Zhanatayev¹, Z.B. Tungyshbayeva¹, A.S. Sarsenova²

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²International Academy of Ecology, Astana, Kazakhstan

Application of the bacterium *Sporosarcina pasteurii* for strengthening soil and sand by microbiological means

Abstract. This article presents an ecological and biological harmless method, soil strengthening using microorganisms, to produce biocement. Two methods were used in the study: microbial injection and mixing method. Two types of each method were used: a fixed and non-fixed form of injection and a styrylated and untyrylated form of mixing method. The microorganism *Sporosarcina pasteurii* was used in the process of biocement production, studies were carried out to strengthen the sand and improve various mechanical properties of the sand, and the results were obtained.

The possibility of using calcium carbonate (calcite) precipitation to strengthen sand by microbiological method has increased, leading to its widespread dissemination and study. At present, the method of strengthening sand has a great biotechnological significance, is a cost-effective and promising method compared with other technologies. In the research work using *Sporosarcina pasteurii* microorganisms, a column of sand was strengthened by calcium carbonate precipitation.

When examining the biocement with the SEM-BSE microscope and X-rays, the calcium carbonates can be clearly seen. So, summarizing up the work, it was proved that the microorganism *Sporosarcina pasteurii* can be used to strengthen the sand. The study of sand strength in water erosion proved that the fixing injection is more effective than non-fixing injection.

According to the mixing method, culturing bacteria in sterile medium without centrifugation has no negative effect on reproductive activity of microorganisms and formation of calcite crystals.

Keywords: calcite precipitate, *Sporosarcina pasteurii*, bacteria, sand, strengthening.

References

1. El Mashad M., Hassan A. Increasing the strength of sandy-silty soils by mixing with cement dust, *J. Eng. Sci., Assiut University, Department of Eng.*, 41(4), 1-10 (2013).
2. Winterkorn H.F., Pamukchu S. Soil Stabilization and Grouting of Joints, in: Si Fang (ed.), *Handbook of Foundation Design, Second Edition*, Wannostrand Reinhold (New York: NY, 1991, 317 p.).
3. Sirivitmairi C., Puppala A., Saride S., Hoyos L. Combined lime-cement stabilization for increasing the service life of small roads, *trans. J. Transp. Res. Board.*, 2204(1), 140-147 (2011).
4. Fauzi A., Nazmi W.M., Fauzi W.J. Stabilization of Kuantan clay bed using fly ash and bottom ash, in: *8th International Conference on Geotechnology and Transportation Engineering Geotropika* (Kinabalu, Sabah, Malaysia, 2010).
5. Ingunza M.P.D., Pereira C.L., Junior O.F.S. Use of sludge ash as a stabilizing additive in soil-cement mixtures for use in road pavements, *J. Mater. Civil Engl.*, -27(7), 3-5 (2015).
6. Trivedi J.S., Nair S., Iyyunni C. Optimal use of fly ash to stabilize low quality soil using genetic algorithm, *Proc. Eng.*, 51, 250-258 (2013).
7. Krishna T.M. Soil stabilization by peanut shell ash and waste fiber material, *Int. J. Innov. Eng. Technol.*, 5(3), 52-57 (2015).
8. Elmashad M.M.A. Comprehensive research on soil improvement in arid areas using industrial by-products such as slag, fly ash, waste iron hydroxide mixed with desert dune sand, Bentonite, cement and/or lime, *Doctoral dissertation, Okayama University, Okayama, Japan*, 76-82 (2006).
9. Baginia M.S., Ismaila A., Heradmand B., Hafezi M.H., Almanso R.A. Possibilities of Portland cement-bitumen emulsion mixture for soil stabilization in road base construction, *Journal Technology*, 65(2), 67-72 (2013).
10. James J., Pandian P.K. Effect of microceramic dust on plasticity and swelling index of lime stabilized expansive soil, *Int. J. Appl. Eng. Res.*, 10(42), 30647-30650 (2015).
11. Bina C.S. Case studies on the application of coco coir geotextile for soil stabilization, in: *International Conference on Case Histories in Geotechnics. Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnics*, 5(2), 67-72 (2013).
12. Latifi N., Eisazadeh A., Marto A., Meehan K.L. Tropical residual soil stabilization: a powdered material for soil strength improvement, *Const. Build. Mater.*, 147, 827-836 (2017).
13. Jawad F., Zheng J. Improvement of fine sand by microbial-induced calcite deposition, *Brit. J. Appl. Sci. Technol.*, 17(2), 1-9 (2016).
14. Muhammad N., Siddiqua S., Latifi N. Curing earth bed materials using magnesium leaching: a sustainable construction additive, *J. Mater. Civ. Engl.*, 30(10), 1-13 (2018).
15. Umar M., Kassim K.A., Chiet K.T.P. Biological process of soil improvement in civil engineering: a review, *J. Rock Mech. Geotechnical Engineering. Eng.*, 8, 767-774 (2016).
16. Cheng L., Cord-Ruvish R. In situ soil cementation by ureolytic bacteria through surface percolation, *Ecol. Eng.*, 42, 64-72 (2012).
17. Sun N.W., Lee L.M., Khun T.K., Ling H.S. Factors influencing the improvement of engineering properties of residual soil by microbial-induced calcite deposition, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 140(5), 0401-4006 (2014).
18. Mortensen B.M., Haber M.J., Dejong J.T., Kaslake L.F., Nelson D.C. Effect of environmental factors on microbe-induced calcium carbonate deposition, *J. Appl. Microbiol.*, 111(2), 338-349 (2011).
19. Harkes M.P., van Paassen L.A., Buster J.L., Whiffin W.S., van Lausdrecht M.C.M. Fixation and distribution of bacterial activity in sand to induce carbonate deposition for soil stabilization, *Ecol. Engl.*, 36(2), 112-117 (2010).
20. Cardoso R., Pedreira R., Duarte S., Monteiro G., Borges J., Flores-Colen I. Biocementation as a method for rehabilitation of porous materials. New approaches to construction and durability, *Build. Pathol. Rehabilitation*, 99-120, 99-120 (2016). DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-0648-7_5.
21. Yang Z., Cheng H. A study on the effectiveness of a high-strength microbiological mortar obtained by low-pressure grouting of joints to reinforce failing masonry structures, *Const. Build. Mater.*, 41, 505-515 (2013).
22. Grabeca A.M., Starzick J., Stefaniac K., Wierzbicki J., Zavala D. On the possibility of improving compacted silt soils using the biodeposition method, *Const. Build. Mater.*, 138, 134-140 (2017).
23. Li M., Wen C., Li Y., Zhu L. Effect of oxygen availability on microbial-induced calcite deposition (MICP) treatment, *Geomicrobiol. J.*, 1-18 (2017).

24. Whiffin W.S. Microbial CaCO₃ deposition for biocement production, Ph. D. thesis, Murdoch University, 2004.
25. Jawad F., Zheng J. Improvement of fine sand by microbial induced calcite deposition, Brit. J. Appl. Sci. Technol., 17(2), 1-9 (2016).
26. Sharpe A., Latkar M.V., Chakrabarti T. Microbially assisted cementation-a biotechnological approach to improve the mechanical properties of cement, Const. Build. Mater., 135, 472-476 (2017).
27. Umar M., Kassim K.A., Cheet K.T.P. Biological process of soil improvement in civil engineering: a review, J. Rock Mech. Geotechnical Engineering. Eng., 8, 767-774 (2016).
28. Van Paassen L., Goz R., Vander Linden T., Vander Star W., Van Lausdrecht M. Quantification of biomedical soil improvement by ureolysis: a large-scale biocontamination experiment, J. Geotech. Geoenviron. Eng., 136, 1721-1728 (2010).
29. De Muynck Y., Verbeeken C., De Beli N., Verstraete W. Effect of urea and calcium dosage on the efficiency of bacterially induced carbonate deposition on limestone, Ecol. Eng., 36, 99-111 (2010).
30. Foppen J.W.A., Schijven J.F. Transport of E. coli in columns of geochemically heterogeneous sediments, Water Res., 39, 3082-3088 (2005).
31. Achal V., Li M., Zhang C. Biocement, a recent study in structural engineering: China's status compared to the rest of the world, Adv. Cem. Res., 26, 281-291 (2013).
32. Torkzaban S., Tazehkand S.S., Walker S.L., Bradford S.A. Transport and fate of bacteria in porous media: coupled effects of chemical conditions and pore space geometry, Water Res. Res., 44, 1-12 (2008).
33. Valencia-González Y., Carvalho-Camapum J., Lara-Valencia L.A. Influence of biomineralization on a profile of a tropical soil affected by erosive processes, DYNA, 82(192), 221-229 (2015).
34. Foppen J.W.A., Schijven J.F. Transport of E. coli in columns of geochemically heterogeneous sediment, Water Res., 39, 3082-3088 (2005).
35. ECP 2001, Egyptian code for soil mechanics and design and executing the foundations, Standard test method for slake durability. Part 2/202, section 2-35, 291-293(2001).

Авторлар туралы мәлімет:

Жанатаев Б.Т. – докторант, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қазыбек би 30, Алматы, Қазақстан.

Тұңғышбаева З.Б. – биология ғылымдарының докторы, профессор, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қазыбек би 30, Алматы, Қазақстан.

Сарсенова А.С. – биология ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, Халықаралық экология академиясы мекемесі, Е-15 көш., 3, Астана, Қазақстан.

Zhanatayev B.T. – PhD student, Abai Kazakh National Pedagogical University, 30 Kazybek Bi Street, Almaty, Kazakhstan.

Tungyshbayeva Z.B. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Abai Kazakh National Pedagogical University, 30 Kazybek Bi str., Almaty, Kazakhstan.

Sarsenova A.S. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, International Academy of Ecology, 3 E-15 str., Astana, Kazakhstan.