

УДК 624.131

В.П. Стабніков,
канд. техн. наук
Національний університет
харчових технологій

БІОТЕХНОЛОГІЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ І МАТЕРІАЛІВ

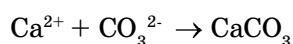
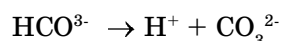
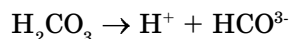
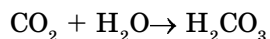
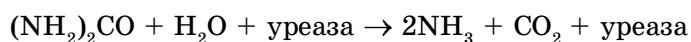
Виробництво нового типу матеріалу, біоцементу, і засоби його використання у будівництві розробляються в біотехнологічних наукових лабораторіях різних країн як альтернатива традиційному цементу. Нова біотехнологія базується на утворенні у ґрунті кристалів кальциту при застосуванні уреаз-синтезуючих бактерій в присутності сечовини та іонів кальцію. В статті показано, що характеристики піску після його біоцементзації залежали від режиму подачі розчину реагентів. Межа міцності при стиску біоцементованого піску досягала 36 МПа, що може бути порівняно зі значенням для вапняка або бетону.

Ключові слова: уреаз-синтезуючі бактерії, біоцемент, біоцементування

Цемент — найбільш поширений будівельний матеріал необхідний у самих різних будівельних роботах, а також для закріплення ґрунтів. Однак, у багатьох випадках застосування цементу обмежено завдяки високій в'язкості його суспензії. Використання цементу в геотехніці для закріплення ґрунтів висококоштовне, крім того виробництво цементу потребує значної витрати електроенергії та є екологічно несприятливим процесом.

Виробництво нового типу матеріалу, біоцементу, і способи його застосування у будівництві розробляються в останні роки в біотехнологічних наукових лабораторіях різних країн як альтернатива традиційному цементу [1—3]. Біоцемент виробляється природними мікроорганізмами при температурі довкілля, і, таким чином, потребує для свого виробництва мінімальної кількості енергії. Використання цього натурального та невичерпного біотехнологічного матеріалу може спростити існуючі будівельні процеси та революціонізувати шляхи закріплення ґрунтів у будівництві.

Біоцементация є новаторська біотехнологія, що базується головним чином на застосуванні уреаз-синтезуючих бактерій. Гідроліз сечовини обумовлює підвищення рН та звільненню діоксиду вуглецю, який у рідкому середовищі переходить у карбонат-іон і в присутності іонів кальцію та високому рН утворює нерозчинний кальцій карбонат у вигляді кристалів кальциту [4]:



Показано, що біоцементация може бути застосована *in situ* для відновлення будівельних конструкцій, лікування тріщин у бетоні, будівництві доріг, а також для закріплення ґрунтів, запобігання ґрунтової ерозії, підвищення стабільності уклонів ґрунту та зменшення потенційного розжиження ґрунтів внаслідок сейсмічної активності [2—3]. Головними перевагами біоцементации є низька в'язкість та висока

проникність біоцементного розчину у бетон або ґрунт, низькі вартість і споживання енергії, а також низький ступінь впливу на довкілля.

В даній роботі показано результати застосування різної техніки біоцементування для можливого використання у будівництві.

В дослідженні був використаний галотолерантний та алкалофільний штам уреаз-синтезуючих бактерій *Bacillus* sp. VS1. Це грам-позитивні, спороутворюючі, нерухомі, аеробні палички (Рис. 1), які вирощували на раніше описаному поживному середовищі [5]. Вирощування відбувалося у періодичних умовах на протязі 4 діб в ферментері Biostat з робочим об'ємом 1,5 л при температурі 30 °С та аерації 3 л/хв. Пальмова олія використовувалася як піногасник у кількості 0,2 % (об./об.). Кінцева концентрація бактеріальної біомаси була 8 г сухої біомаси /л.

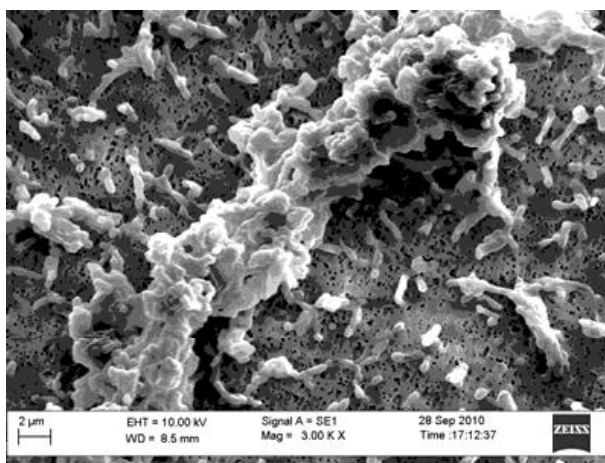


Рис. 1. Вільні та агреговані клітини *Bacillus* sp. VS1.

Уреазна активність визначалась як кількість амонію, що утворилася в 1 л в 1М розчині сечовини за хвилину. Для її вимірювання 1 або 10 мл бактеріальної суспензії додавали до 100 мл 1М розчину сечовини. Концентрацію амонію який утворився з сечовини визначали з допомогою електричного кондуктометра. Молярна концентрація NH_4^+ (Y) лінійно корелювала ($R^2 = 0.99$) з електричною кондуктивністю розчину (X) в mS/cm:

$$Y = 0.0064X - 0.002$$

Біоцементуючий розчин містив 82,5 г/л (0,75 М) хлориду кальцію та 90 г/л (1,5 М) сечовини. Обробці підлягав пісок зі щільністю 2650 кг/м³ та вмістом кремнію 98,9 %. Вміст кальцію у піску після біоцементування визначали за стандартним методом з титруванням етілендіамінтетраацетатом [6].

Межа міцності при стиску зразка піску після біоцементування визначалася за формулою:

$$R = 3P l / 2bh^2$$

де R, межа міцності на розрив, Па; P, руйнуюче навантаження, Н; l, відстань між опорами, м; b, ширина зразка, м; h, висота зразка, м.

Уреазна активність бактеріальної суспензії в стаціонарній фазі росту періодичної культури з концентрацією 8 г сухої біомаси/л була 6,2 мМ прогідролізованої сечовини/хв (або 22,3 г сечовини/л.год). Уреазна активність бактеріального штаму *Bacillus* sp. VS1 була достатньою для гідролізу 90 г сечовини в біоцементуючому розчині за 4 години.

Було визначено, що характер біоцементування піску залежить від рівня біоцементуючого розчину відносно поверхні піску. Якщо рівень розчину на протязі біоце-

ментации тримався над поверхнею піску, осадження кальцію було активним на його поверхні та спостерігалось утворення поверхневого тонкого (висотою приблизно 1 мм) міцного шару карбонату кальцію (Рис. 2). Якщо рівень біоцементуючого розчину тримався нижче поверхні піску, спостерігався більш рівномірний розподіл карбонату кальцію у товщі піску (Рис. 3). Поверхнева біоцементация піску була досягнута при витратах кальцію 6 кг/м². При глибинній біоцементации піску спостерігалось осадження кальцію в межах 1—2 кг/м². В обох випадках водопроникнення піску було зменшено до 10⁻⁷ м/с.



Рис. 2. Твердий поверхневий шар біоцементу на поверхні піску: рівень біоцементуючого розчину тримався над поверхнею ґрунту.



Рис. 3. Глибинна біоцементация піску: рівень біоцементуючого розчину тримався нижче поверхні піску.

Межа міцності на стиск біоцементованого поверхневого шару становила 35,9 МПа, що може бути порівняно зі значенням для вапняка або бетону. Межа міцності піску на стиск при глибинній біоцементации була нижчою та складала 0,32 МПа.

Поверхнева біоцементация може бути використана при конструюванні резервуарів та уплотнення каналів у пісчаному ґрунті, стабілізації уклонів, фіксації пилу в пустельних районах. Глибинна біоцементация може бути використана для фіксації пісчаного ґрунту та уклонів.

Висновки. Біотехнологія будівництва та будівельних матеріалів, зокрема виробництво біоцементу, — нове перспективне напрямлення, яке може спростити існуючі будівельні процеси та революціонізувати шляхи закріплення ґрунтів при будівництві.

Характеристики піску після його біоцементации залежили від режиму додавання реагентів. Межа міцності при стиску біоцементованого піску досягала 36 МПа, що може бути порівняно зі значенням для вапняка або бетону.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Ivanov V., Chu J.* Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil *in situ* // *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. — 2008. — v. 7, № 2. — P. 139—153.
2. *De Jong J.T., Mortensen B.M., Martinez B.C., Nelson D.C.* Bio-mediated soil improvement // *Ecological Engineering*. — 2010. — v.36, № 2. — P. 97—210.
3. *De Muynck W., De Belie N., Verstraete W.* Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review. *Ecological Engineering* // 2010. — v. 36, № 2. — P. 118—136.
4. *Stocks-Fischer S., Galinat J.K., Bang S.S.* Microbiological precipitation of CaCO₃. *Soil Biology and Biochemistry* // 1999. — v. 31, № 11. — P. 1563—1571.
5. *Stabnikov V., Chu J., Naeimi M., Ivanov V.* Formation of water-impermeable crust on sand surface using biocement // *Cement and Concrete Research*. — 2011. — v. 41, № 11. — 1143—1149.
6. *American Public Health Association.* Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. — 1998. — 20th edn, American Public Health Association. — Washington DC, USA.

В.П. Стабников

Биотехнология строительных процессов и материалов

Производство нового типа материала, биоцемента, и способы его применения в строительстве разрабатываются в биотехнологических научных лабораториях разных стран как альтернатива традиционному цементу. Новая биотехнология базируется на образовании в грунте кристаллов кальцита при использовании уреазы-синтезирующих бактерий в присутствии мочевины и ионов кальция. В статье показано, что характеристики песка после його биоцементации зависят от режима подачи раствора реагентов. Предел прочности при сжатии биоцементированного песка достигал 36 МПа, что может быть сравнимо со значениями для известняка или бетона.

Ключевые слова: *уреазы-синтезирующие бактерии, биоцемент, биоцементирование*

V. Stabnikov

Biotechnology of construction processes and materials

Production of biocement, a new type of construction material, and methods for its application in construction industry as an alternative for conventional cement are developing in the biotechnological laboratories of different countries. New biotechnology is based on the formation of calcium carbonate crystals in the soils using the urease-synthesizing bacteria in the presence of urea and calcium ions. It was shown in the paper that characteristics of the biocemented sand depended on the way of reagent solution supply. The module of rupture for biocemented sand was up to 36 MPa, similar to the strength of limestone or concrete.

Key words: *urease-synthesizing bacteria, biocement, biocementation*

e-mail: jimp@ukr.net

Надійшла до редколегії 23.07.2012 р.