

ИННОВАЦИОННАЯ КЕРАМИЧЕСКАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, СПОСОБЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРЕИМУЩЕСТВА

Платова Раиса Абдулгафаровна

кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и товарной экспертизы РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», 117997, Москва, Стремянный пер., д. 36.

E-mail: raisa.platova@yandex.ru

Рыжакова Алла Владимировна

доктор технических наук, профессор кафедры товароведения и товарной экспертизы РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», 117997, Москва, Стремянный пер., д. 36.

E-mail: aryzhakova@list.ru

Платов Юрий Тихонович

доктор технических наук, профессор кафедры товароведения и товарной экспертизы РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», 117997, Москва, Стремянный пер., д. 36.

E-mail: Platov.YT@rea.ru

В статье представлен обзор работ по биологическому воздействию на керамические массы. Определены основные направления и различия в технологии биообработки в зависимости от вида микроорганизмов, способа получения и состава культуральной жидкости, условий и способа биообработки и природного ценоза керамических масс. Исследовано влияние культуральных жидкостей с бактериями на реологические свойства керамического шликера. Поверхностная активность культуральной жидкости обеспечивает снижение текучести и тиксотропного упрочнения керамического шликера. Увеличение массы отливки при литье обусловлено гидрофобизацией поверхности глинистых частиц керамического шликера. Рассмотрен опыт применения биообработки в керамической промышленности.

Ключевые слова: керамическая масса, биологическая обработка, культуральная жидкость, питательная среда, микроорганизмы.

INNOVATION CERAMIC BIOTECHNOLOGY: KEY DIRECTIONS, WAYS OF UTILIZATION AND ADVANTAGES

Platova, Raisa A.

PhD, Assistant Professor of the Department for Commodity Research and Commodity Expertise of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 117997, Russian Federation.

E-mail: raisa.platova@yandex.ru

Ryzhakova, Alla V.

Doctor of Technical Science, Professor of the Department for Commodity Research and Commodity Expertise of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 117997, Russian Federation.

E-mail: arzhakova@list.ru

Platov, Yuriy T.

Doctor of Technical Science, Professor of the Department for Commodity Research and Commodity Expertise of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 117997, Russian Federation.

E-mail: Platov.YT@rea.ru

The article gives a review of works dealing with biological impact on ceramic masses. The authors identify key directions and differences in technology of bio-treatment depending on the type of microorganisms, ways of obtaining and composition of cultural liquid, conditions and method of bio-treatment and natural coenosis of ceramic masses. The impact of cultural liquids with bacteria on rheological properties of ceramic masses was investigated. Surface activity of cultural liquid causes reduction in fluidity and thixotropic strengthening of ceramic dross. Increasing mass of casting is stipulated by rendering hydrophobic to surface of clayish particles of ceramic dross. The experience of using bio-treatment in ceramic industry was discussed.

Keywords: ceramic mass, biological treatment, cultural liquid, nutrient medium, microorganisms.

Биологическая обработка керамических масс – один из инновационных способов улучшения их технологических свойств и потребительских свойств керамических изделий [1; 3].

Микроорганизмы в составе керамических масс продуцируют образование ряда метаболитов и в комплексе обладают большим биотехнологическим потенциалом изменения ее свойств.

Цель нашего исследования – определить основные направления керамической биотехнологии, способы биообработки и условия культивирования бактерий-продуцентов биосурфактантов, регулирующие свойства керамических масс.

Основные направления керамической биотехнологии

Исследования по керамической биотехнологии сводятся к двум направлениям [6]:

– использование микроорганизмов-продуцентов биосурфактантов для улучшения реологических свойств керамических масс;

– биохимический способ удаления примесей железа из керамических масс.

В XX в. были проведены исследования, связанные как с изучением природы и механизма действия микрофлоры – продуцентов биологических поверхностно-активных веществ (биоПАВ, биосурфактантов), так и с разработкой технологических процессов биообработки керамических масс [1; 2; 6]. Биологические поверх-

ностно-активные вещества имеют ряд преимуществ перед синтетическими сурфактантами: низкая токсичность, биоразлагаемость, улучшенные функциональные характеристики, возможность получения из возобновляемых источников сырья [10], что делает их перспективными для разработки новых экологически безопасных керамических биотехнологий.

Химически синтезированные сурфактанты обычно классифицируют согласно природе полярной группы (катионные, анионные и неполярного типа). Биосурфактанты классифицируют по их химическому составу и/или продуценту. В настоящее время известно 5 классов биосурфактантов [14].

Структура биоПАВ включает гидрофильную часть, состоящую из аминокислотных или пептидных анионов и катионов; моно-, ди- или полисахаридов, а также гидрофобную часть, включающую ненасыщенные или насыщенные жирные кислоты.

Низкомолекулярные биоПАВ, или биосурфактанты, имеют тенденцию связываться между собой, образуя мицеллы, и активно взаимодействовать с поверхностями различной полярности, снижая поверхностное и межфазное натяжение [7; 10; 14]. Биосурфактанты могут снижать поверхностное натяжение до 30 мН/м (поверхностное натяжение дистиллированной воды составляет 72 мН/м) [14]. При малых концентрациях биоПАВ, диспергируясь до отдельных молекул или ионов, образуют истинные растворы. С ростом концентрации молекулы биоПАВ склонны к их ассоциации в растворе, в результате чего образуются мицеллы.

Одно из успешных направлений применения микроорганизмов – продуцентов биоПАВ – использование культуральной жидкости *Bacillus mucilaginosus* [1; 2; 6]. В настоящее время изучена биохимическая и биологическая природа процессов при обработке керамических масс под воздействием микроорганизмов и их метаболитов [1-3].

В последние десятилетия были проведены исследования процесса удаления железа из состава алюмосиликатов [4; 11; 13; 16]. Для этого используют два способа, включающие разные биологические и биохимические процессы. В первом варианте используют добавки культуральной жидкости бактерий, например *Bacillus cereus* [11], или грибов *Aspergillus niger* [13; 16], которые вырабатывают органические кислоты, способные к растворению (гидр)оксидов и комплексообразованию с участием соединений железа. Во втором варианте в состав керамической массы вводят питательную среду, включающую различные источники углерода и азота и способствующую развитию трофической цепи микробного сообщества, где основную функцию выполняют железовосстанавливающие бактерии [4].

Биотехнология и способы биообработки керамических масс

Результаты исследований биологической обработки керамических масс показывают, что действия микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности имеют как отличия, так и многочисленные сходства. Отличия прежде всего зависят от:

- использования разных штаммов бактерий, различающихся по способам их культивирования, составу метаболитов и поверхностной активности веществ при биообработке;
- состава естественного ценоза (сообщества) микроорганизмов в составе керамических масс;
- способа биоактивации керамических материалов.

Подготовка культуральной жидкости с клетками бактерий. Получение штаммов бактерий – продуцентов биоПАВ является важнейшим фактором интенсификации биообработки керамических масс. На состав и выход биосурфактантов влияют состав питательной среды и условия культивирования микроорганизмов [5; 7; 10; 14]. Большинство исследований посвящено образованию биоПАВ в аэробных условиях. Рамнолипиды и липопептиды культиви-

руют в процессе денитрофикации в анаэробных условиях [9]. Максимальное накопление рамнолипидов бактерией *Pseudomonas aer.* наблюдается при лимите по азоту [12].

Способность продуцировать биоПАВ микроорганизмами оценивают по изменению поверхностного и межфазного натяжения, а также по индексу эмульгирования. Так, например, к концу периода культивирования двух штаммов бактерий – *Acinetobacter johnsonii* str. J221 и *Pseudomonas aeruginosa* str. G. d. – наблюдается значительное снижение поверхностного натяжения среды на границе среда – воздух: до 38,7 и 55,7 мН/м против контрольного значения 72,0 мН/м. Культуральная среда, содержащая *Acinetobacter johnsonii* str. J221, проявляла более высокую эмульгирующую активность ($E_{24} = 50,0\%$), что коррелирует с низкой величиной межфазного натяжения, равной 11,1 мН/м [5].

Аборигенный ценоз микроорганизмов в составе глинистых материалов. Недавно было признано, что множество разных микроорганизмов населяют глинистые образования, которые представляют собой уникальные области их обитания. Следовательно, при введении питательной среды или культуральной жидкости бактерий необходимо учитывать развитие и рост аборигенной микрофлоры керамических масс.

Динамика развития микроорганизмов в фарфоровых массах при хранении показала, что в контрольных образцах и в образцах опытных масс с добавками питательной среды или жидкой культуры с клетками бактерий *B. mucilagenosus* присутствуют аэробные гетеротрофные микроорганизмы, представленные в основном бактериями, численность которых достигает 10^6 клеток/г массы [3]. Численность анаэробных микроорганизмов не превышает 10–100 клеток/г. Это аборигенная микрофлора, которая попадает в фарфоровую массу одновременно с исходными компонентами.

В процессе вылеживания контрольной массы изменений в количестве и составе основных учитываемых групп микроорганизмов не было обнаружено.

Добавление к массе питательной среды или жидкой культуры *B. mucilagenosus* способствовало количественному росту микроорганизмов и сопровождалось резкой дифференциацией микрофлоры внутренних и наружных слоев коржа. В наружных слоях коржа преобладали аэробные и факультативно-анаэробные бактерии, численность которых к концу первого месяца хранения массы возрастала до 10^8 – 10^9 клеток/г массы. Во внутреннем слое численность аэробных микроорганизмов снижалась до 10^3 – 10^4 клеток/г, а к концу эксперимента – до 10–100 клеток/г массы, но возрастало число сульфатредуцирующих бактерий и бродильщиков, численность которых составляла соответственно 10^4 и 10^6 клеток/г через месяц хранения и 10^8 и 10^6 клеток/г к концу эксперимента.

Добавление к фарфоровой массе жидкой культуры *B. mucilagenosus* стимулировало развитие в ней микрофлоры, так как среда, на которой проводили культивирование штамма *B. mucilagenosus*, была идентична питательной среде, внесенной в фарфоровую массу. Численность культуры *B. mucilagenosus* в процессе хранения фарфоровой массы не менялась и составляла 10^4 – 10^5 клеток/г как во внутренних, так и в наружных слоях коржа.

Таким образом, количественный учет микроорганизмов показал, что фарфоровая масса содержит разнообразные группы микроорганизмов, рост и жизнедеятельность которых возможны только при добавлении к ней питательного субстрата. При его наличии происходят развитие и дифференциация микрофлоры в наружном и внутреннем слоях коржа.

Способы биоактивации. В настоящее время известно и опробовано несколько способов биоактивации керамических масс, сущность которых заключается в следующем:

1. Культуру бактерий из выбранной коллекции, выращенную на подобранной

питательной среде, вводят непосредственно в обрабатываемые керамические массы с определенной влажностью и температурой с последующей выдержкой суспензии при ее постоянном перемешивании в емкости. Далее путем частичного обезвоживания суспензии получают коржевую массу для формования или литья изделий [1-3].

2. Культуру бактерий, выделенную непосредственно из природных источников (каолины, глины местных залегающих, почвы и подземные воды), выращивают на подобранной питательной среде и вводят в нестерильную керамическую массу [5].

3. Устойчивый ценоз бактерий в инокулюме, выращенный на питательной среде, вводят в определенном порядке в нестерильные керамические массы. Состав микроорганизмов в инокулюме со временем изменяется: от преимущественно аэробного до преобладания анаэробных бактерий. При введении ценоза бактерий учитывается их трофическое взаимодействие с аборигенной микрофлорой, содержащейся в керамической массе.

4. Биообработку нестерильных керамических масс осуществляют введением подобранной питательной среды, содержащей источники углерода, азота и фосфора для обеспечения развития аборигенной микрофлоры сырья, представленной аэробными и анаэробными бактериями [3].

5. Осуществляют пассивное вылеживание керамической массы, содержащей аборигенную микрофлору, в сырых и теплых помещениях, массохранилищах, шихтозапасниках для последующего формования роликами или приготовления литейного шликера.

Во всех приведенных способах биообработки общим является либо введение в обрабатываемые глинистые дисперсии наиболее активных штаммов бактерий (способы 1-3), либо активация аборигенной микрофлоры в керамических массах (способы 4 и 5).

Роль компонентов культуральной жидкости при биообработке керамических масс

Культуральная жидкость с клетками бактерий представляет собой сложную смесь, включающую: а) клетки бактерий или комплекс клеток бактерий; б) продукты жизнедеятельности бактерий – экзо- и эндометаболиты; в) остатки неиспользованных компонентов питательной среды [5-7]. При ее введении в состав керамической массы роль и механизмы действия каждого компонента различаются следующим образом: 1) бактерии продуцируют биоПАВ, ассоциированные с клеточной стенкой (эндотип) и внеклеточные (экзотип); так, бактерии *Pseudomonas aeruginosa* str. G. d. продуцируют биоПАВ экзо- и эндотипов, а штамм бактерий *Phodococcus ruber* 14Н – эндотипа; 2) эндо- и экзометаболиты культуральной жидкости в зависимости от их состава являются биосурфактантами или биоэмульгаторами и выполняют различные функции: метаболиты изменяют рН и Eh дисперсионной среды, модифицируют дисперсионную фазу (происходит дезагрегация частиц, пептизация глинистых минералов, гидрофобизация поверхности и т. д.), образуют эмульсии и мицеллы; 3) компоненты питательной среды культуральной жидкости используются естественной микрофлорой: происходит развитие различных функциональных групп аборигенных микроорганизмов, преимущественно анаэробных.

Влияние биосурфактантов на реологические свойства керамической массы. В настоящее время выделено более 150 штаммов-продуцентов биоПАВ. БиоПАВ характеризуются структурным разнообразием, что обуславливает широкий спектр их функциональных особенностей [15]. Диспергирующие биоПАВ или эмульгаторы способны не только уменьшать размеры частиц керамической массы, но и изменять свойства поверхности: гидрофобизировать поверхность глинистых частиц и склеивать их в агрегаты. Несмотря на аналогичные результаты, полученные разными способами обработки, механизмы процессов не

всегда идентичны. Улучшение текучести шликера сразу после введения культуральной жидкости с бактериями *Acinetobacter johnsonii* str. J221 и *Pseudomonas aeruginosa* str. G. d., а также с клетками бактерий *B. mucilaginosus* связано с наличием в их составе биосурфактантов, так как в первые сутки сразу же изменяются его свойства: уменьшается фильтруемость, повышается порог и интенсивность структурообразования [3; 5]. Изменение значений одновременно трех показателей свидетельствует, с одной стороны, об уменьшении степени агрегации глинистых частиц и увеличении степени диспергации частиц глинистых минералов керамической суспензии при превалировании процесса деагрегации, а с другой – о гидрофобизации поверхности глинистых частиц керамической суспензии.

Разрушение агрегатов глинистых частиц объяснено влиянием биоПАВ – метаболитов жизнедеятельности этих бактерий, которые обладают поверхностно-активными свойствами. За счет диспергации глинистых частиц керамической суспензии биосурфактантами происходит увеличение плотности их упаковки на стенках гипсовой формы, что снижает фильтруемость керамической суспензии. Гидрофобизация поверхности глинистых частиц керамического шликера снижает сопротивление дисперсионной среды при ее движении через отливку массы, в результате чего увеличивается масса отливки на стенках гипсовой формы.

Необходимо отметить, что в качестве продуктов жизнедеятельности сообщества бактерий в составе керамических масс образуются клеящие вещества – полимеры, имеющие трехмерную структуру, которые способны склеивать частицы и образовывать флоккулы, что приводит к улучшению фильтрации жидкотекучих масс [3].

Биоэмульгаторы также продуцируются широким рядом микроорганизмов [8].

Бактерии ряда *Acinobacter* продуцируют биоэмульгатор эмульсан [15]. Эмульсан – это анионный гетерополисахаридный белковый комплекс. Биоэмульгаторы, обладающие высокой эмульгирующей способностью, склонны к образованию эмульсий в составе керамической суспензии, которые при сушке способствуют образованию микропор в керамической отливке и снижению ее плотности.

Выводы и перспективы на будущее

В керамической биотехнологии выделяют два направления: первое – активация микробиологических процессов и образование микробных метаболитов непосредственно в керамической массе (при подготовке массы непосредственно в карьерах сырьевых материалов или на площадках вылеживания керамической массы) за счет деятельности аборигенных микроорганизмов при внесении питательной среды; второе – производство биомассы и продуктов метаболизма микроорганизмов с последующим введением в состав керамической массы по известным технологиям.

Наиболее перспективным подходом представляется применение бактерий, продуцирующих биосурфактанты, благодаря их биоразлагаемости и низкой токсичности. Биосурфактанты снижают поверхностное и межфазное натяжение на границе «вода – частицы силикатных минералов», что делает их эффективными для изменения реологических и технологических свойств керамических масс.

Коммерческий успех биосурфактантов пока ограничен их высокой себестоимостью. Оптимизация условий роста бактерий-продуцентов биосурфактантов с использованием дешевых возобновляемых субстратов – агропромышленных отходов, а также разработка методов выделения и очистки биосурфактантов могут сделать их использование более экономически целесообразным.

Список литературы

1. Власов А. С. Биологические методы обогащения минерального сырья и технологических смесей при производстве керамики // Химия и технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. – Л., 1989.
2. Дятлова Е. М., Какошко Е. С., Бирюк В. А., Маркевич Р. М. Улучшение реологических свойств глинистых суспензий, обработанных культуральной жидкостью *Bacillus mucilaginosus* // Стекло и керамика. – 2010. – № 3. – С. 29–32.
3. Масленникова Г. Н., Платов Ю. Т., Халилуллова Р. А., Авакян З. А., Шелоболдина Е. С., Каравайко Г. И. Влияние микроорганизмов на свойства фарфоровых масс при вылеживании // Стекло и керамика. – 1999. – № 10. – С. 15–22.
4. Платова Р. А. Оценка эффективности удаления железа при биохимическом способе обработки каолина // Стекло и керамика. – 2014. – № 12. – С. 31–37.
5. Платова Р. А., Соколова Д. Ш., Платов Ю. Т. Реологические свойства фарфорового шликера с биосурфактантами // Стекло и керамика. – 2016. – № 2. – С. 18–23.
6. Платова Р. А., Чернышов А. Н., Масленникова Г. Н. Биологическая обработка глинистых материалов и керамических масс: основные направления, способы и опыт применения (обзор) // Стекло и керамика. – 2012. – № 7. – С. 15–22.
7. Соколова Д. Ш. Образование поверхностно-активных веществ аэробными органотрофными бактериями нефтяных пластов : дис. ... канд. биол. наук. – М., 2013.
8. Banat I. M. Biosurfactants Production and Possible Uses in Microbial Enhanced Oil Recovery and Oil Pollution Remediation: a Review // Bioresource Technology. – 1995. – Vol. 51. – N 1. – P. 1–12.
9. Davis D. A., Lynch H. C., Varley J. The Production of Surfactin in Batch Culture by *Bacillus Subtilis* ATCC 21332 is Strongly Influenced by the Conditions of Nitrogen Metabolism // Enzyme Microbiology Technology. – 1999. – Vol. 25. – P. 322–329.
10. Desai J. D., Banat I. M. Microbial Production of Surfactants and their Commercial Potential // Microbial Mol. Biol. Res. – 1997. – Vol. 61. – P. 47–64.
11. Dong H., Jaisi D. P., Kim J. W. Microbe–Clay Mineral Interactions // American Mineralogist. – 2009. – Vol. 94. – N 11–12. – P. 1505–1519.
12. Guerra-Santos L. Dependents of *Pseudomonas aer.* Continuous // Applied Microbiology Biotechnology. – 1986. – Vol. 24. – P. 443–448.
13. Hosseini M. R., Pazouki M., Ranjbar M. Bioleaching of Iron from Highly Contaminated Kaolin Clay by *Aspergillus Niger* // Applied Clay Science. – 2007. – Vol. 37. – N 3–4. – P. 251–257.
14. Pacwa-Plociniczak M., Plaza G. A., Piotrowska-Seget Z., Cameotra S. Environmental Applications of Biosurfactants: Recent Advances // International Journal of Molecular Science. – 2011. – Vol. 12. – N 1. – P. 633–654.
15. Rosenberg E., Ron E. Z. High- and Low-Molecular-Mass Microbial Surfactants // Applied Microbiology Biotechnology. – 1999. – Vol. 52. – N 2. – P. 154–162.
16. Volkan A., Oktay B. Removal of Fe from Kaolin by Chemical Leaching and Bioleaching // Clay and Clay Minerals. – 2009. – Vol. 57. – N 6. – P. 787–794.

References

1. Vlasov A. S. Biologicheskie metody obogashcheniya mineral'nogo syr'ya i tekhnologicheskikh smesey pri proizvodstve keramiki [Biological Methods of Enriching Mineral Raw Materials and Technological Mix in Ceramics Production]. *Khimiya i tekhnologiya*

silikatnykh i tugoplavkikh nemetallicheskih materialov [Chemistry and Technology of Silicate and High-Heat Non-Ferrous Metals]. Leningrad, 1989. (In Russ.).

2. Dyatlova E. M., Kakoshko E. S., Biryuk V. A., Markevich R. M. Uluchshenie reologicheskikh svoystv glinistyykh suspenziy, obrabotannykh kul'tural'noy zhidkost'yu *Bacillus mucilaginosus* [Improvement of the Rheological Properties of Clayey Suspensions Treated with *Bacillus mucilaginosus* Culture Liquid]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceram], 2010, No. 3, pp. 29–32. (In Russ.).

3. Maslennikova G. N., Platov Yu. T., Khalilullova R. A., Avakyan Z. A., Shelobolina E. S., Karavayko G. I. Vliyanie mikroorganizmov na svoystva farforovykh mass pri vylezhivanii [The Effect of Microorganisms on the Properties of Porcelain Mixtures in Maturing (A review)]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceram], 1999, No. 10, pp. 15–22. (In Russ.).

4. Platova R. A. Otsenka effektivnosti udaleniya zheleza pri biokhimicheskom sposobe obrabotki kaolina [Evaluation of the Efficiency of Iron Removal in the Biochemical Treatment of Kaolin]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceram], 2014, No. 12, pp. 31–37. (In Russ.).

5. Platova R. A., Sokolova D. Sh., Platov Yu. T. Reologicheskie svoystva farforovogo shlikera s biosurfuktantami [Rheological Properties of Porcelain Slip with Biosurfactants]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceram], 2016, No. 2, pp. 18–23. (In Russ.).

6. Platova R. A., Chernyshov A. N., Maslennikova G. N. Biologicheskaya obrabotka glinistyykh materialov i keramicheskikh mass: osnovnye napravleniya, sposoby i opyt primeneniya (obzor) [Biotreatment of Clayey Materials and Ceramic Pastes: Directions, Methods and Experience (review)]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceram], 2012, No. 7, pp. 15–22. (In Russ.).

7. Sokolova D. Sh. Obrazovanie poverkhnostno-aktivnykh veshchestv aerobnymi organotrofnymi bakteriyami neftyanykh plastov. Dis. kand. biol. Nauk [Formation of Surface-Active Matters by Aerobic Organotrophic Bacteria of Oil Bed. PhD diss.]. Moscow, 2013. (In Russ.).

8. Banat I. M. Biosurfactants Production and Possible Uses in Microbial Enhanced Oil Recovery and Oil Pollution Remediation: a Review. *Bioresource Technology*, 1995, Vol. 51, No. 1, pp. 1–12.

9. Davis D. A., Lynch H. C., Varley J. The Production of Surfactin in Batch Culture by *Bacillus Subtilis* ATCC 21332 is Strongly Influenced by the Conditions of Nitrogen Metabolism. *Enzyme Microbiology Technology*, 1999, Vol. 25, pp. 322–329.

10. Desai J. D., Banat I. M. Microbial Production of Surfactants and their Commercial Potential. *Microbial Mol. Biol. Res.*, 1997, Vol. 61, pp. 47–64.

11. Guerra-Santos L. Dependents of *Pseudomonas aer.* Continuous. *Applied Microbiology Biotechnology*, 1986, Vol. 24, pp. 443–448.

12. Hailiang Dong, Deb. P. Jaisi, Kim J. Microbe–Clay Mineral Interactions. *American Mineralogist*, 2009, Vol. 94, No. 11–12, pp. 1505–1519.

13. Hosseini M. R., Pazouki M., Ranjbar M. Bioremediation of Iron from Highly Contaminated Kaolin Clay by *Aspergillus Niger*. *Applied Clay Science*, 2007, Vol. 37, No. 3–4, pp. 251–257.

14. Pacwa-Plociniczak M., Plaza G. A., Piotrowska-Seget Z., Cameotra S. Environmental Applications of Biosurfactants: Recent Advances. *International Journal of Molecular Science*, 2011, Vol. 12, No. 1, pp. 633–654.

15. Rosenberg E., Ron E. Z. High- and Low-Molecular-Mass Microbial Surfactants. *Applied Microbiology Biotechnology*, 1999, Vol. 52, No. 2, pp. 154–162.

16. Volkan A., Oktay B. Removal of Fe from Kaolin by Chemical Leaching and Bioremediation. *Clay and Clay Minerals*, 2009, Vol. 57, No. 6, pp. 787–794.