

УДК 628.35

О. В. САВВОВА, Е. В. БАБИЧ, А. И. ФЕСЕНКО, И. В. ЗИНЧЕНКО**ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА АКТИВНЫЙ ИЛ КОМПЛЕКСА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ «БЕЗЛЮДОВСКИЙ» Г. ХАРЬКОВ**

Определен высокий уровень риска загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами. Проанализировано влияние ионов тяжёлых металлов на микроорганизмы активного ила в процессе очистки городских и промышленных сточных вод. Исследовано изменение дегидрогеназной активности микроорганизмов активного ила при его взаимодействии с растворами, содержащими катионы тяжёлых металлов. Установлено токсическое воздействие катионов олова, серебра и кадмия на микроорганизмы активного ила. Подтверждена безопасность использования в качестве биоцидного агента в составе стекломатериалов оксида цинка.

Ключевые слова: активный ил, дегидрогеназная активность, тяжёлые металлы, экологическая безопасность.

Проанализовано вплив іонів важких металів на мікроорганізми активного мулу в процесі очищення міських та промислових стічних вод. Досліджено зміну дегідрогеназної активності мікроорганізмів активного мулу при його взаємодії з розчинами, які містять катіони важких металів. Встановлено токсичну дію катіонів стануму, аргентуму і кадмію на мікроорганізми активного мулу. Встановлено можливість використання в якості біоцидного агента у складі скломатеріалів оксиду цинку.

Ключові слова: активний мул, дегідрогеназна активність, важкі метали, екологічна безпека.

The effect of heavy metal ions on the microorganisms of activated sludge in the process of cleaning urban and industrial wastewater was analyzed. The change in the dehydrogenase activity of microorganisms of activated sludge during its interaction with solutions containing cations of heavy metals was investigated. The toxic effect of cations of tin, silver and cadmium on the microorganisms of activated sludge was established. The prospects of using zinc oxide as a biocidal agent, which has a negligible impact on the biota and will reduce the technogenic burden on the ecosystem as a whole, has been established. The safety of using as a biocidal agent in the composition of glass materials of zinc oxide was confirmed.

Keywords: activated sludge, dehydrogenase activity, heavy metals, environmental safety.

Введение

Проблемы экологической безопасности за последнее время привлекают значительное внимание общества. Техногенная нагрузка на среду обитания при современном уровне производства в будущем может иметь катастрофические последствия [1].

Тяжёлые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдение за которыми обязательно во всех средах (табл. 1). По одной из классификаций, на сегодняшний день к тяжёлым металлам относят более 40 элементов периодической системы, при этом оценивается их высокая токсичность для живых организмов при относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации [2].

Таблица 1. Распределение источников экологической опасности и риска по их вкладу на техногенную нагрузку в среду обитания

Источники экологической опасности и риска	Относительная доля, %
Тяжелые металлы и мышьяк	28
Органические токсиканты	27
Смешанные отходы (органические и неорганические)	20
Пестициды	15
Радионуклиды	6
Газы (диоксид серы, оксид азота и др.)	3
Микроорганизмы, созданные генной инженерией	1

Комплексный подход в проведении биологического мониторинга при систематическом наблюдении позволяет судить о перспективах изменения структуры сообществ, продуктивности

популяций и устойчивости экосистем по отношению к антропогенным факторам.

В настоящее время для определения токсичности сточных вод, загрязнённых, в том числе тяжёлыми металлами, применяются как физико-химические методы, так и методы биологического контроля среды [3].

Как правило, в литературе [4] описано действие тяжёлых металлов на жизнедеятельность отдельных микроорганизмов, которое изучается в лабораторных условиях без учёта условий работы реальных очистных сооружений. Полученные данные о токсичности тех или иных металлов зачастую носят противоречивый характер. Достоверная информация о действии таких веществ на состояние биомассы активного ила (АИ), полученная для условий конкретных очистных сооружений, является необходимой и актуальной.

Различные модификации очистки сточных вод активным илом в системе биологических очистных сооружений являются самыми распространёнными и по производительности наиболее совершенным среди процессов очистки городских и промышленных стоков сложного химического состава. Проведённые ранее авторами [5] исследования на очистных сооружениях показали, что губительное действие на свойства АИ оказывают концентрации веществ в диапазоне $1 \div 5$ мг/дм³. В связи с этим исследования проводились при усреднённой концентрации 3 мг/дм³. По результатам исследований проведено сравнение токсического действия металлов $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ марки «хч». на АИ и предложен ряд токсичности металлов: $\text{Cr} < \text{Zn} < \text{Cu}$.

Установлено, что снижение концентрации ионов меди в сточных водах в результате биологической очистки достигает 88 %.

В аэробной зоне во всех случаях происходит увеличение значения pH среды, что оказывает благоприятный эффект на процессы биохимической очистки. Активный ил, регулярно подвергаемый воздействию солей металлов, имеет высокую степень адаптации.

Проведённые исследования позволили получить достаточное количество информации о состоянии и свойствах АИ. Это позволит в дальнейшем прогнозировать эффективность биологической очистки при различных техногенных нагрузках, а также вовремя принимать соответствующие меры для снижения токсичного воздействия на АИ, и в последующем восстановить количественный и качественный состав биомассы.

В работе [6] рассмотрено влияние ионов тяжёлых металлов Cr^{6+} , Ni^{2+} на микрофлору биоплёнки, полученной на основе микроорганизмов адаптированного активного ила в слое загрузки лабораторного биофильтра. Следует отметить, что для микроорганизмов биоплёнки в настоящих исследованиях критические концентрации токсикантов, ингибирующих биологические процессы, составили $3 \div 5$ мг/дм³, в отличие от АИ, для которого ингибирующий эффект отмечался при концентрации токсикантов свыше 6 мг/дм³, а в определенных случаях до 18 мг/дм³. Исходя из результатов оценки дегидрогеназной активности микроорганизмов биоплёнки выявлено, что добавление ионов Ni^{2+} в количествах до 3 мг/дм³ в систему биофильтрации сточных вод приводит к развитию гетеротрофной микрофлоры; однако, процесс нитрификации в этом случае развит слабо.

Количественно оценено токсическое влияние хрома и никеля на микроорганизмы биоплёнки. Показано, что микроорганизмы-нитрификаторы наиболее чувствительны к воздействию тяжёлых металлов, и на их адаптацию требуется большее время.

Выявлено, что ионы Cr^{6+} оказывают подавляющее действие на процесс нитрификации в биоплёнке. Наличие тяжёлых металлов меди и железа в сточных водах оказывает непосредственное токсическое действие на АИ при очистке в режиме продлённой аэрации при концентрациях более 10 мг/дм³, хотя в сообществе микроорганизмов АИ есть формы, устойчивые к концентрации меди, в субстрате, до 100 мг/дм³. Жизнеспособность клеток микроорганизмов активного ила сохраняется при концентрациях в сточных водах, очищаемых в режиме продлённой аэрации, в том числе и при периодических залповых концентрациях. Однако степень очистки сточных вод от ионов меди по сравнению с контрольным вариантом ниже [6].

На сегодняшний день в связи с распространением эпидемий различной этиологии важным является получение новых видов материалов, характеризующихся биоцидными свойствами. Наиболее перспективными среди них,

благодаря своей нетоксичности и высокой химической стойкости, являются стекломатериалы. Биоцидные свойства данных материалов могут быть обеспечены за счёт введения в их состав тяжёлых металлов, которые ингибируют ферментативную активность патогенных микроорганизмов. Возможность их применения реализуется при одновременном обеспечении высоких антибактериальных характеристик, и санитарно-гигиеническими норм, в частности, их допустимые концентрации миграции (ДКМ) должны находиться в пределах допустимых норм. Поэтому, в рамках создания антибактериальных стекломатериалов необходимым является установление влияния токсического действия тяжёлых металлов, выщелачиваемых из материала в водные растворы при очистке сточных вод.

Массовое применение тяжёлых металлов, в том числе в качестве биоцидных агентов, может привести к их попаданию в сточные воды, что в свою очередь может вызвать патологические нарушения строения и работы внутренних систем и органов живых организмов, среды их обитания [1].

Цель работы – исследование влияния соединений тяжёлых металлов по отношению к микроорганизмам активного ила сооружений очистки сточных вод.

Методика проведения эксперимента. Одним из индикаторов загрязнения сточных вод является снижение исходной дегидрогеназной активности (ДГА) ила. Установлено, что токсичной для процессов биологической очистки воды является такая концентрация токсикантов, при которой ДГА ила снижается на 20 % [7].

1. Выбор соединений тяжёлых металлов

В качестве металлов-токсикантов были выбраны, наиболее распространённые, катионы Zn^{2+} , Sn^{4+} , Ag^{+} , Cd^{2+} , применяемые в стекольной технологии для придания биоцидных свойств. Для получения растворов с исходной концентрацией $Zn^{2+} = 1$ мг/л, $Sn^{4+} = 0,1$ мг/л, $Ag^{+} = 0,01$ мг/л, $Cd^{2+} = 0,001$ мг/л, соответствующей ДКМ в качестве соединений были выбраны ZnO , SnO , $AgNO_3$, $CdSe$ [8].

2. Биотест – микроорганизмы активного ила.

Активный ил – биоценоз зоогенных скоплений (колоний) бактерий и простейших организмов, который представляет собой взвешенную в воде активную биомассу, осуществляющую процесс очистки сточных вод в аэробных био-окислителях. Он формируется под влиянием химического состава обрабатываемой сточной воды, растворенного в ней кислорода, температуры, pH и окислительно-восстановительного потенциала. Представляет собой хлопья светло-серого, желтоватого или темно-коричневого цвета, густо заселённые микроорганизмами, заключёнными в слизистую массу. Биотестовый образец АИ был отобран из регенератора азротенка комплекса биологической очистки «Безлюдовский». Концентрация активного ила по сухому веществу составляла 4 г/л.

3. Метод исследования. Токсичные свойства исследуемых образцов определялись по ДГА микроорганизмов АИ в лаборатории городских и производственных сточных вод Украинского научно-исследовательского института экологических проблем (г. Харьков).

Определение основано на способности ферментов микроорганизмов – дегидрогеназ восстанавливать за счёт дегидрирования субстрата бесцветный трифенилтетразолийхлорид (ТТХ) до формазана (трифенилформазана), имеющего темно-красный цвет. Трифенилтетразолийхлорид играет роль акцептора водорода, переносимого от окисляемых субстратов ферментами – дегидрогеназами [9]. Дегидрогеназы высоко чувствительны к действию токсинов, в присутствии которых их активность снижается. Это позволяет путем сравнения количества восстановленного дегидрогеназами АИ ТТХ в опытах и контроле оценить степень токсичности исследуемого вещества.

4. Условия и проведение исследования. В стеклянную центрифужную пробирку к 10 мл воды, смешанной с исследуемым образцом, добавляли 1 мл 0,5 %-ного водного раствора ТТХ и 1 мл иловой жидкости и, с целью ускорения процесса, добавляли 1 мл 0,5 %-ного раствора пептона. Одновременно готовили две контрольные пробы, которые содержали те же компоненты, но без исследуемого образца, взамен добавляют 10 мл водопроводной воды (контроль активного ила $K_{a.и.}$) и те же компоненты, с исследуемым образцом, но без добавления иловой жидкости (K1 (ZnO), K2 (SnO), K3 (CdSe) и K4 (AgNO₃)). Пробирки, перемешивали содержимое пробирки стеклянной палочкой, закрывали резиновыми пробками и устанавливали на инкубацию в термостат при температуре 37±1 °С. Время экспозиции – 40 минут. По истечению инкубации пробирки центрифугировали 3 минуты при 3000 об/мин, надосадочную жидкость сливали, к осадку добавляли по 10 мл этанола, тщательно перемешивали и отстаивали 10 минут до обесцвечивания осадка. После чего вновь центрифугировали пробирки 3 минуты при 3000 об/мин. Надосадочную жидкость сливали и определяли её оптическую плотность на фотоколориметре ФЭК-М, при $\lambda = 440$ нм, чувствительности = 2, в кюветах – 5,0 мм. По полученным результатам, соответствующим длине волны (D), по калибровочному графику находили соответствующие значения формазана (Cx, мг).

Для построения калибровочной кривой в 50 мл мерные колбы вносили 15, 10, 5, 2,5 и 1 мл основного раствора, что соответствовало концентрациям 30, 20, 10, 5 и 2 мг формазана в 1 л спирта. Объёмы растворов доводили до метки спиртом и перемешивали.

Измеряя оптическую плотность растворов на фотоэлектроколориметре, строили калибровочную кривую зависимости оптической плотности от концентрации формазана, мг/л (рис.1).

Концентрацию формазана рассчитывали по формуле (1), а общую ДГА (мг/л) рассчитывали по формуле (2):

$$C_x = (41,224 \cdot D + 0,0362) \cdot 25 / V_{пр}, \quad (1)$$

где C_x – концентрация формазана, мг/л;
 D – оптическая плотность;
 $V_{пр}$ – объём пробы, мл.

$$ДГА = C \cdot P \text{ мг/л}, \quad (2)$$

где C_x – концентрация формазана, мг/л;
 P – разведение (принимается $P = 1$).

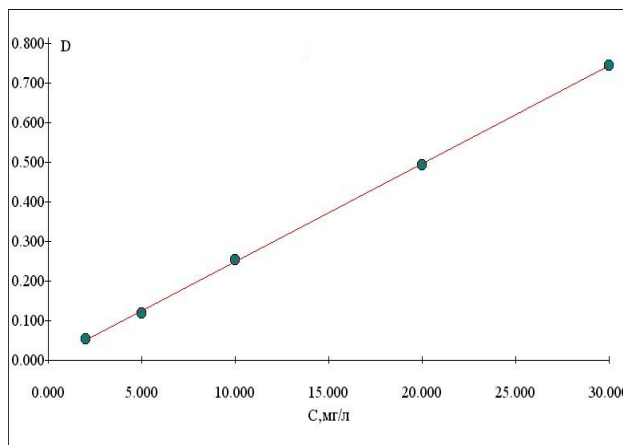


Рис.1. Калибровочная кривая зависимости длины волны от концентрации формазана

Результаты эксперимента и их обсуждение.

Отсутствие окраски в опытной пробирке или уменьшение ее интенсивности по сравнению с контролем ($K_{a.и.}$) свидетельствовало о наличии токсичного действия испытуемого образца на микроорганизмы активного ила. Результаты исследований и обсуждения В контрольной пробе активного ила ($K_{a.и.}$) содержание ДГА соответствует максимальным значениям (табл.1), что свидетельствует о достаточно высокой ферментативной активности микроорганизмов активного ила. Визуально отмечалось окрашивание пробы в яркий малиновый цвет.

Таблица 2. Дегидрогеназная активность активного ила после взаимодействия с опытными образцами и контрольных образцов

№	D, нм			Cx, мг формазана в 1 г ила				ДГА, %
	1	2	3	1	2	3	Σср	
1	0,950	1,000	1,000	39,20	41,26	41,26	40,57	1,7
2	0,750	0,740	0,745	30,95	30,54	30,55	30,68	25,6
3	0,075	0,075	0,075	3,13	3,13	3,13	3,13	92,1
4	0,900-0,120*)	0,950-0,120*)	0,950-0,120*)	32,19	34,25	34,25	33,56	19,7
K1	0	0	–	–	–	–	–	–
K2	0	0	–	–	–	–	–	–
K3	0	0	–	–	–	–	–	–
K4	0,120	0,120	–	4,98	4,98	–	4,98	–
$K_{a.и.}$	1,000	1,000	1,050	41,26	41,26	41,26	41,26	–

*длина волны исходного раствора CdSe

При контакте активного ила с образцом №1, содержащим ZnO, ДГА практически не изменилась. Проба также была малинового цвета. Для образцов №2 и 3 содержащих SnO и CdSe соответственно, ДГА снизилась незначительно, что свидетельствует об угнетении ферментативной активности микроорганизмов ила и снижении интенсивности окраски раствора.

Следует отметить, что на интенсивность окраски образца №4 содержащего CdSe оказал влияние изначально окрашенный раствор, что было учтено при расчёте ДГА. В образец содержащем AgNO₃, наблюдалось самое значительное снижение ДГА по сравнению с контролем, что свидетельствует о высокой токсичности активного вещества на микроорганизмы АИ. Визуально раствор был окрашен в слабозеленый цвет. Высокие значения ДГА могут быть объяснены значительной

токсичностью катиона Ag⁺ в растворе на микроорганизмы активного ила.

Выводы.

Исследовано влияния соединений тяжёлых металлов по отношению к микроорганизмам активного ила.

Установлено, что растворы, содержащие AgNO₃, SnO и CdSe оказали токсическое воздействие на микроорганизмы активного ила, что указывает на их возможное негативное влияние на окружающую среду.

По результатам исследований перспективным для использования в качестве биоцидного агента является ZnO, который оказывает незначительное влияние на биоту и позволит снизить техногенную нагрузку на экосистему в целом.

Список литературы

1. *Тарасов А.В.* Основы токсикологии: учебное пособие [для студентов вузов ж.-д. транспорта.] / А.В. Тарасов, Т.В. Смирнова. – М.: Маршрут, 2006. – 160 с.
2. *Мелехова О.П.* Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева [и др.]. – М.: Издательский центр «Академия». 2007. – 288 с.
3. *Халилова А.А.* Биоиндикация процесса очистки металлсодержащих сточных вод в условиях непрерывного культивирования биопленки / А.А. Халилова, А.В. Яковлева, А.С. Сироткин // Вестник Казанского технологического университета. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет. 2012. – № 16. – Т 15. – С. 191–194.
4. *Бугаева Т.В.* Влияние структуры поверхности микроорганизмов на процессы биосорбции ионов металлов из растворов / Т.В. Бугаева, Е.Е. Зинурова // Вода: химия и экология. 2010. – №1. – С. 21–26.
5. *Хмарская Л.А.* Исследование влияния некоторых тяжелых металлов на активный ил очистной станции г. Алчевска / Л.А. Хмарская, Л.А. Доманская // Харчова наука і технологія. Технологія і безпека продуктів харчування. – Одеса: Євротройз. 2013. – № 3 (24). – С. 73–77.
6. *Фролова С.И.* Влияние тяжелых металлов на активный ил при очистке сточных вод в режиме продленной аэрации / С.И. Фролова, Г.А. Козлова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия: Химическая технология и биотехнология. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т. 2010. – № 11. – С. 182–191.
7. *Шаталаев И.Ф.* Влияние β-лактамовых антибиотиков на дегидрогеназную активность активного ила / И.Ф. Шаталаев, З.Е. Мащенко, А.В. Воронин, [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. – № 1(8). – С. 2157–2160. 8. Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гос-анэпиднадзора Минздрава России, 2000. – 55 с.

9. МДК 3-01.2001. Методические рекомендации по расчёту количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населённых пунктов. – Введ. 04. 06.01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 32 с.

References (transliterated)

1. *Tarasov A.V.* Osnovy toksikologii: uchebnoe posobie [dlya studentov vuzov zh.-d. transporta.] / A.V. Tarasov, T.V. Smirnova. – M.: Marshrut, 2006. – 160 p.
2. *Melekhova O.P.* Biologicheskij kontrol' okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie: ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy / O.P. Melekhova, E.I. Egorova, T.I. Evseeva [et al.]. – M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademija». 2007. – 288 p.
3. *Khalilova A.A.* Bioindikatsiya protsessa ochistki metallsoederzhashchikh stochnykh vod v usloviyakh nepreryvnogo kul'tivirovaniya bioplenki / A.A. Khalilova, A.V. Yakovleva, A.S. Sirotkin // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. Kazan': Kazanskiy natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnologicheskij universitet. 2012. – № 16. – Т 15. – P. 191–194.
4. *Bugaeva T.V.* Vliyanie struktury poverkhnosti mikroorganizmov na protsessy biosorbtsii ionov metallov iz rastvorov / T.V. Bugaeva, E.E. Zinurova // Voda: khimiya i ekologiya. 2010. – №1. – P. 21–26.
5. *Khmarskaya L.A.* Issledovanie vliyaniya nekotorykh tyazhelykh metallov na aktivnyy il ochistnoy stantsii g. Alchevska / L.A. Khmarskaya, L.A. Domanskaya // Kharchova nauka i tehnologiya. Tekhnologiya i bezpeka produktiv xarchuvannya. – Odessa: Yevrotrojz. 2013. – № 3 (24). – P. 73–77.
6. *Frolova S.I.* Vliyanie tyazhelykh metallov na aktivnyy il pri ochistke stochnykh vod v rezhime prodlennoy aeratsii / S.I. Frolova G.A. Kozlova // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Seriya: Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya. – Perm': Perm. gos. tekhn. un-t. – 2010. – № 11. – P. 182–191.
7. *Shatalaev I.F.* Vliyanie β-laktamnykh antibiotikov na degidrogenaznuyu aktivnost' aktivnogo ila / I.F. Shatalaev, Z.E. Mashchenko, A.V. Voronin, [et al.]. // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2010. T. 12. – № 1(8). – P. 2157–2160.

8. Predel'no dopustimye kolichestva khimicheskikh veshchestv, vydelyayushchikhsya iz materialov, kontaktiruyushchikh s pishchevymi produktami: Gigienicheskie normativy. – M.: Federal'nyy tsentr gos-anepidnadzora Minzdrava Rossii, 2000. – 55 p.
9. MDK 3-01.2001. Metodicheskie rekomendatsii po raschetu kolichestva i kachestva prinimaemykh stochnykh vod i zagryaznyayushchikh veshchestv v sistemy kanalizatsii naseleennykh punktov. – Vved. 04. 06.01. – M.: Izd-vo standartov, 2001. – 32 p.

Поступила (received) 10.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Влияние ионов тяжелых металлов на активный ил комплекса биологической очистки «Безлюдовский» г. Харьков / О. В. Саввова, Е.В. Бабич, А.И. Фесенко, И.В. Зинченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 18 (1240). – С. 62–66. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2220-4784.

Влияние ионов тяжелых металлов на активный ил комплекса биологической очистки «Безлюдовский» г. Харьков / О. В. Саввова, О.В. Бабич, О.И. Фесенко, И.В. Зинченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 18 (1240). – С. 62–66. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2220-4784.

Effect of heavy metal ions on the active sludge of the biological treatment complex «Bezlyudovsky», Kharkiv / O. Savvova, O. Babich, O. Fesenko, I. Zinchenko // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 18 (1240). – P. 62–66. Bibliog.:9 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Саввова Оксана Вікторівна – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: (057) 707-68-78; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Саввова Оксана Вікторівна – доктор технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: (057) 707-68-78; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Savvova Oksana – Doctor of Technical Sciences, Associate professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Senior research officer at the Department of the Ceramics, Refractories, Glass and Enamel Technology; tel.: (050) 707-68-78; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Бабич Олена Вікторівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: (057) 707-68-78; e-mail: lenysjababich@ukr.net.

Бабич Елена Викторовна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: (057) 707-68-78; e-mail: lenysjababich@ukr.net.

Babich Olena – candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Research officer the Department of the ceramics, refractories, glass and enamel technology; tel.: (057) 707-68-78; e-mail: lenysjababich@ukr.net.

Фесенко Олексій Ігорович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: (057) 707-68-78; e-mail: fesenco_alex@mail.ru.

Фесенко Алексей Игоревич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: (057) 707-68-78; e-mail: fesenco_alex@mail.ru.

Fesenko Olexsii – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», postgraduate student the Department of the ceramics, refractories, glass and enamel technology; tel.: (057) 707-68-78; e-mail: fesenco_alex@mail.ru.

Зинченко Ирина Васильевна – НДУ «Науково-дослідний інститут екологічних проблем», науковий співробітник лабораторії міських і виробничих стічних вод, тел.: (057) 702-16-07; e-mail: iz5454@mail.ru.

Зинченко Ирина Васильевна – НИУ «Научно-исследовательский институт экологических проблем», научный сотрудник лаборатории городских и производственных сточных вод, тел.: (057) 702-16-07; e-mail: iz5454@mail.ru.

Zinchenko Irina – Research institution «Scientific Research Institute of Environmental Problems», Research officer of the laboratory of urban and industrial wastewater; tel.: (057) 702-16-07; e-mail: iz5454@mail.ru.