

повышением их биологической ценности, благодаря увеличению содержания незаменимых полиненасыщенных жирных кислот.

Ключевые слова: спреда, водно-масляный экстракт простков овса, товарооборот, повышение биологической и пищевой ценности.

Одарченко Андрій Миколайович, доктор технічних наук, доцент, кафедра управління якістю та екологічною безпекою, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна.

Албатова Яна Юріївна, кафедра управління якістю та екологічною безпекою, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна, e-mail: yanusya-beauty@mail.ru.

Сподар Катерина Вікторівна, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра управління якістю та екологічною безпекою, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна.

Карбівнича Тетяна Василівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра управління якістю та екологічною безпекою, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна.

Одарченко Андрей Николаевич, доктор технических наук, доцент, кафедра управления качеством и экологической без-

опасностью, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.

Албатова Яна Юрьевна, кафедра управления качеством и экологической безопасностью, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.

Сподарь Екатерина Викторовна, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра управления качеством и экологической безопасностью, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.

Карбвинович Татьяна Васильевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра управления качеством и экологической безопасностью, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.

Odarchenko Andrey, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine.

Albatova Yana, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine, e-mail: yanusya-beauty@mail.ru.

Spodar Kateryna, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine.

Karbiwnycha Tetiana, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine

УДК 57.013; 576.52

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.87129

**Горобець С. В.,
Горобець О. Ю.,
Ковальов О. В.,
Шатохіна Ю. В.,
Ковальова С. О.**

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ СУХОГО МАГНІТОКЕРОВАНОГО БІОСОРБЕНТУ В СИСТЕМІ ОЧИЩЕННЯ ГОСПОДАРСЬКО-ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД

Досліджено можливість практичного використання сухого магнітокерованого біосорбента, який отриманий методом магнітогідродинамічного перемішування в схрещених електричному та магнітному полях. Визначено оптимальну дозу біосорбенту, час біосорбції та середній розмір частинок сухого біосорбенту. Також визначено ефективність біосорбції по зменшенню концентрацій таких показників стічних вод, як: хімічне споживання кисню (ХСК), азот амонійний, нітрити, фосфати, залізо загальне.

Ключові слова: сухий магнітокерований біосорбент, біосорбція, наночастинки магнетиту, стічні води, магнітогідродинамічне перемішування.

1. Вступ

Безперервне зростання навантаження на очисні споруди міст і підприємств призводить до недостатньо ефективного очищення стічних вод [1], що робить актуальним розробку нових технологій очищення, зокрема, з використанням біотехнологій. Так, навіть після реагентного традиційного очищення стічних вод в умовах діючої каналізаційно-очисної станції м. Славутич (Україна) показник загального забруднення вод — хімічного споживання кисню (ХСК) — перевищує гранично допустимий скид (ГДС) у 1,7 разів, нітрити — у 11 разів, фосфати і залізо відповідно — у 2,1 і 1,5 разів. Загальнодержавна програма «Питна вода України» на період 2011–2020 рр. визнає потребу у впровадженні розробок із застосуванням новітніх технологій і подальшому вдосконаленні нормативних документів щодо контролю процесу і якості очищення стічних вод.

Важливим напрямом у створенні сучасних систем водовідведення є розробка технологій для локальних очисних споруд, які здатні забезпечити вилучення на

підприємстві токсичних важких і стратегічних металів з використанням біосорбентів, що представлено у роботах [2–9]. Враховуючи накопичений позитивний досвід щодо використання біосорбентів для локальних очисних споруд підприємств, а також існуючу проблему незабезпечення традиційними методами якісного очищення суміші побутових і виробничих стічних вод у даній роботі розглянуто можливість використання сухого магнітокерованого біосорбенту для стічних вод каналізаційно-очисних споруд м. Славутич (Україна).

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження — сорбційна здатність нового сухого магнітокерованого біосорбенту по відношенню до традиційних забруднювачів господарсько-побутових стічних вод, а саме, азоту амонійного, нітритів, фосфатів, заліза загального, а також інших забруднювачів, які оцінюються за узагальненим показником ХСК, запахом, рН). Біосорбент готується змішуванням дріжджової

біомаси *Saccharomyces CEREVISIAE* з розчином магнетиту, згідно методики приготування сухого МКБС. Біосорбент у сухому вигляді може зберігатись на каналізаційно-очисних станціях-споживачах.

Традиційні методи очищення стічних вод не забезпечують достатнє вилучення вказаних забруднювачів або є недосяжними з економічних питань, в той час, як новий сухий магнітокерований біосорбент, який отримується на базі побічного продукту дріжджового виробництва і вперше використовується для очищення побутових стічних вод, при позитивному результаті очищення стічних вод матиме суттєві економічні переваги. Сухий МКБС можна вилучити у швидкісному режимі за допомогою магнітної сепарації та використовувати повторно, що зменшить собівартість очистки стоків.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є визначення можливості поліпшення процесу очищення господарсько-побутових стічних вод з використанням сухого магнітокерованого біосорбенту.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

1. Отримати сухий магнітокерований біосорбент (МКБС) та перевірити його сорбційну здатність.
2. Дослідити вилучення забруднюючих речовин із стічної води сухим МКБС залежно від тривалості контакту та впливу дисперсності біосорбента.

4. Аналіз літературних даних

В літературних джерелах [10–18] представлено результати досліджень щодо розробки біосорбентів і визначення їх властивостей.

Встановлено, що магнітомічені дріжджові клітини можуть використовуватися в якості біосенсорів та біокаталізаторів і застосовуватися в мікрофільтрації токсичних речовин [10]. Також магнітомічені дріжджі використовуються в якості ефективних адсорбентів різних видів органічних і неорганічних ксенобіотиків.

В роботі [11] визначено ефективність використання магнітомодифікованих дріжджів в якості біосорбентів для видалення органічних речовин.

Аналіз методів магнітної модифікації біосорбентів та їх можливе використання для видалення іонів важких металів проводився в [12].

Очищення стічних вод від барвників за допомогою магнітних біосорбентів визнано перспективним в [13].

Також розглядалося ефективне вилучення міді з промислових стічних вод за допомогою модифікованих магнітних наночастинок з бензотриазолом [14].

В роботі [15] біомасу дріжджів *Saccharomyces CEREVISIAE* використали для видалення свинцю, ртуті та нікелю у вигляді іонів, розчинених у воді. У ході дослідження, описаного у цій роботі, було видалено більш високий відсоток свинцю (86,4 %) у порівнянні з ртуттю і нікелем (69,7 і 47,8 % відповідно).

Авторами роботи [16] досліджено новий біосорбент для посилення адсорбції іонів Ni (II) з водних розчинів, в якості якого використано глутаровий альдегід, зшитий хітозаном в кульки, модифіковані гистидином *Saccharomyces CEREVISIAE* (SC-His-БКК). Описані дослідження продовжуються у роботах [3–5, 17, 18]

з використання магнітомічених клітин дріжджів для біосорбції іонів важких металів, зокрема і заліза, міді на модельних розчинах. Властивості біосорбенту визначалися залежно від метода його отримання.

Аналізуючи літературні джерела, можна зробити висновок, що основна увага приділяється вилученню важких металів з водних розчинів та стічних вод (для цього використовуються як нативні дріжджі *Saccharomyces CEREVISIAE*, магнітомічені нативні дріжджі та модифіковані комплекси з дріжджами). При цьому недостатньо вивченими залишаються питання можливості використання сухого магнітокерованого біосорбенту (МКБС), отриманого методом магнітогідродинамічного перемішування (МГДП) в схрещених електричному та магнітному полях, в якості сорбенту для очистки господарсько-побутових стічних вод.

5. Матеріали та методи дослідження

Матеріалами дослідження є зразки сухого магнітокерованого біосорбенту, а також експериментально виміряні показники стічної води каналізаційно-очисної станції м. Славутич (Україна).

В дослідженні використано авторські [17, 18] та традиційні [19–24] методики.

Методика отримання МКБС полягає у наступному:

— змішування дріжджової біомаси *Saccharomyces CEREVISIAE* з розчином магнетиту так, щоб відношення маси біосорбенту до маси магнетиту становило 100:1, при цьому концентрація дріжджових клітин дорівнювала $8 \cdot 10^9$ кл/дм³ (100 мг сухих дріжджів на 1 дм³), а концентрація частинок магнетиту у вихідному розчині — 1 мг/дм³;

— доведення рН отриманого розчину азотною кислотою до 2,5;

— приготування модифікованого біосорбенту у зовнішніх електричному і магнітному полях [18] упродовж 6 хвилин при напруженості магнітного поля 240 кА/м та напруги електричного струму 0,5 В;

— фракціонування суміші МКБС на основі дріжджів *Saccharomyces CEREVISIAE* через високоградієнтні феромагнітні насадки в магнітному полі при 3500 Е порціями по 100 мл. Те, що затрималось на насадках у фільтрі, вимивається невеликим об'ємом дистильованої води;

— отримана суспензія відфільтровується через фільтр «біла стрічка». Осад переноситься у керамічні термостійкі чашки, висушується в сушильній шафі за температури 105 °С протягом 3–4 годин до постійної ваги для отримання абсолютно сухої речовини (АСР). Отриманий сухий МКБС переноситься в скляні тиглі та зберігається в ексикаторі.

Методика визначення ефективності сухого МКБС полягає у розрахунках сорбційної ємності підготовлених подрібнених до розмірів 0,1 мм; 1,0 мм фракцій МКБС з обраною концентрацією сухого МКБС 0,6 г/дм³ по відношенню до іонів Cu²⁺ з початковою концентрацією 50 мг/дм³. Процес біосорбції іонів Cu²⁺ проведено при механічному перемішуванні розчину протягом 60 хв. Кожні 10 хв. відбирали пробу розчину та пропускали через фільтрувальний папір (діаметр пор — 10 нм) для видалення магнітомічених дріжджових клітин і розраховували ефект очистки розчину від іонів міді. По ефекту очистки розчину від іонів міді робили висновок про ефективність МКБС.

Методика дослідження вилучення забруднень полягає у тому, що сухий подрібнений МКБС вноситься по чергово в циліндри, об'ємом 1 дм³ та ретельно перемішується за допомогою магнітної мішалки впродовж 10 хв. Для біосорбції проби витримуються протягом 30 хв., після чого проводиться аналіз стічної води з кожного циліндру по таких показниках, як: запах, рН, ХСК, азот амонійний, нітрити, фосфати, залізо загальне. Результати досліджень визначено як середні значення з трьох паралельних дослідів.

Традиційні методики використано для вимірювання вмісту заліза [19], амоній-іонів [20], нітрит-іонів [21], хімічного споживання кисню [22], розчинених ортофосфатів [23], запаху води [24].

6. Результати дослідження

При дослідженні вилучення забруднень із стічної води протягом 0,5 год. залежно від концентрації МКБС виявлено, що зростання дози сухого МКБС від 1 г/дм³ до 5 г/дм³ ефективно знижує концентрації усіх досліджених показників — ХСК, азот амонійний, нітритів, фосфатів, заліза загального, запаху. Значення рН після біосорбції залишалось в межах ГДС.

Спочатку зростання дози біосорбенту від 1 г/дм³ до 4 г/дм³ приводить до суттєвого зменшення значень показників забруднення води. Наприклад, ХСК зменшується в діапазоні доз МКБС від 1 г/дм³ до 2 г/дм³ або від 2 г/дм³ до 3 г/дм³ на 10–16 %, але подальше збільшення дози МКБС від 4 г/дм³ до 5 г/дм³ не приводить до поліпшення якості стічної води порівняно з попередньою кількістю біосорбенту. Тобто, при біосорбції протягом 0,5 год. оптимальною є доза сухого МКБС, що складає 4,0 г/дм³. Результати експериментів представлені у табл. 1 та на рис. 1–3.

Як видно з рис. 1, зростання дози адсорбента від 1 г/дм³ до 4 г/дм³ забезпечувало зменшення концентрації забруднювачів від 17,7 мг/дм³ до 10,1 мг/дм³ для азоту амонійного і від 8,7 мг/дм³ до 3,4 мг/дм³ для фосфатів, але збільшення дози від 4 г/дм³ до 5 г/дм³ не приводило до суттєвого позитивного ефекту. Стабільною виявляється, як це представлено на рис. 2, при цих же дозах біосорбенту 4–5 г/дм³ і концентрація нітритів та заліза. Також ефективним є вплив біосорбента на різноманітні органічні і неорганічні забруднювачі, які містяться у побутових стічних водах і оцінюються за показником ХСК, як це показано на рис. 3. Представлений графік виявляє, що збільшення дози біоадсорбента доцільно до 4 г/дм³.

Таблиця 1

Вплив дози біосорбенту на якість доочищення стічних вод

Найменування проб	Доза МКБС г/дм ³	Тривалість, год	Показники якості стічних вод, мг/дм ³						
			ХСК	Азот амонійний	Нітрити	Залізо загальне	Фосфати	Запах	рН
Циліндр № 1	—	—	135,3	17,7	0,46	0,59	8,7	V	7,65
Циліндр № 2	1,0	0,5	122,0	14,9	0,39	0,51	7,7	III	7,56
Циліндр № 3	2,0	0,5	111,0	13,3	0,35	0,48	6,7	II	7,51
Циліндр № 4	3,0	0,5	93,0	12,9	0,15	0,39	5,4	I	7,49
Циліндр № 5	4,0	0,5	78,0	10,1	0,04	0,30	3,4	0	7,44
Циліндр № 6	5,0	0,5	78,0	10,0	0,04	0,30	3,2	0	7,43

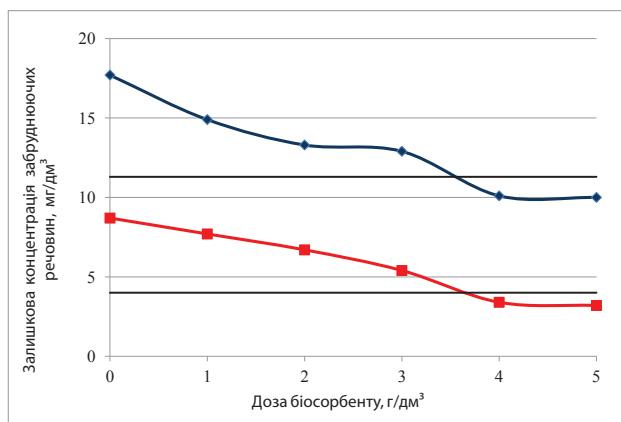


Рис. 1. Залежність сорбційної здатності сухого МКБС від дози сорбенту по відношенню до: —●— азоту амонійного та —■— фосфатів

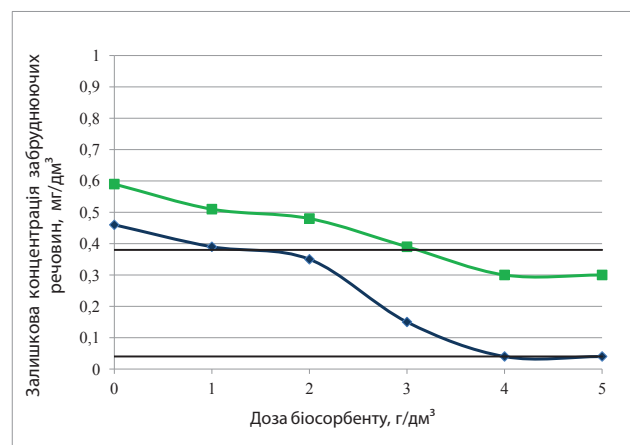


Рис. 2. Залежність сорбційної здатності сухого МКБС від дози сорбенту по відношенню до: —●— нітритів та —■— заліза

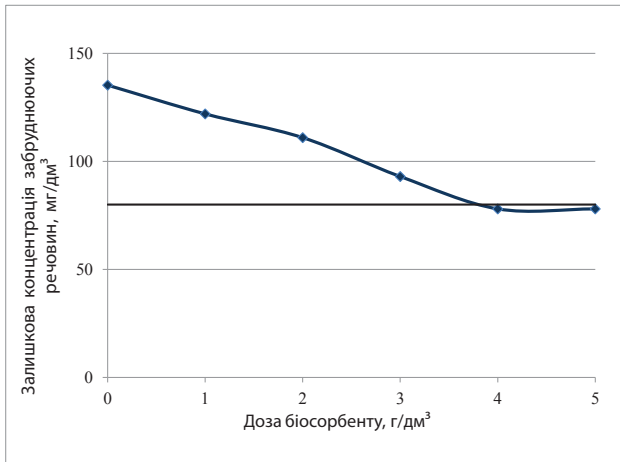


Рис. 3. Залежність сорбційної здатності сухого МКБС від дози сорбенту по відношенню до: — ХСК

При дослідженні ефективності вилучення забруднюючих речовин сухим МКБС залежно від його дис-

персності та тривалості контакту з забрудненою водою виявлено існування певних тенденцій.

Так, запах стічної води зникає в усіх варіантах досліджених діапазонів дисперсності сухого МКБС при використанні біосорбенту. Також в усіх варіантах дослідженні показники стічної доочищеної води задовольняють вимогам ГДС за показниками ХСК, азота амонійного, заліза (для ХСК ГДС = 80 мг/дм³; для азоту амонійного — 11,3 мг/дм³; для заліза — 0,38 мг/дм³). Незначне перевищення ГДС у стічній воді виявлено для нітритів та фосфатів при сорбції МКБС з розміром часточок 0,1 мм і тривалості процесу 10 хв, але при зростанні розміру часточок сорбенту до 1,0 мм при тій же тривалості процесу забезпечується необхідна якість доочищення води.

Зразок доочищеної води в циліндрі № 3 виявився найкращим по зниженню концентрації основних показників, що дає підстави вважати оптимальним час біосорбції, який складає 20 хвилин, а також розмір часточок — 0,1 мм. Результати експериментів представлені у табл. 2 та на рис. 4–6.

Таблиця 2

Вплив дисперсності МКБС та тривалості біосорбції на якість доочищення стічних вод

Найменування проб	Доза МКБС, г/дм³	Середній розмір часток, мм	Тривалість, хв.	Показники якості стічних вод, мг/дм³						
				ХСК	Азот амонійний	Нітрити	Залізо загальне	Фосфати	Запах	pH
Циліндр № 1	4,0	—	—	136,7	18,4	0,48	0,60	8,7	V	7,68
Циліндр № 2	4,0	0,1	10	82,0	10,8	0,08	0,33	4,2	0	7,49
Циліндр № 3	4,0	0,1	20	71,0	9,8	0,04	0,29	3,1	0	7,43
Циліндр № 4	4,0	0,1	30	76,0	10,0	0,04	0,25	3,3	0	7,47
Циліндр № 5	4,0	1,0	10	78,0	10,1	0,04	0,30	3,4	0	7,44
Циліндр № 6	4,0	1,0	20	75,0	10,4	0,04	0,31	3,3	0	7,47
Циліндр № 7	4,0	1,0	30	76,0	10,4	0,04	0,33	3,6	0	7,49

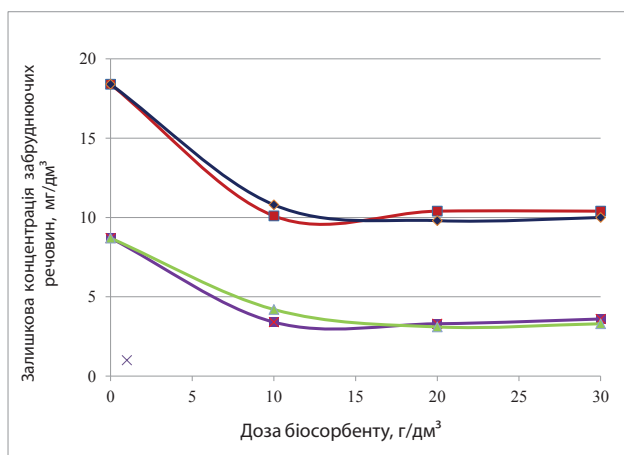


Рис. 4. Залежність сорбційної здатності сухого МКБС від часу біосорбції та дисперсності по відношенню до: — азоту амонійного 1; — азоту амонійного 2 та — фосфатів 1; — фосфатів 2; 1 — дисперсність частинок сорбенту — 0,1 мм; 2 — дисперсність частинок сорбенту — 1,0 мм

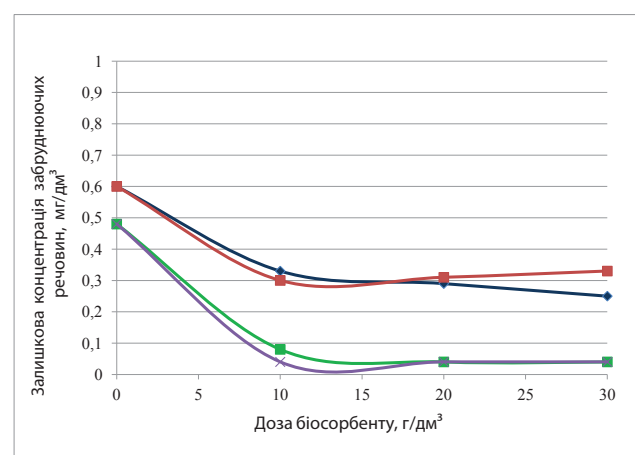


Рис. 5. Залежність сорбційної здатності сухого МКБС від часу біосорбції та дисперсності по відношенню до: — нітритів 1; — нітритів 2 та — заліза 1; — заліза 2; 1 — дисперсність частинок сорбенту — 0,1 мм; 2 — дисперсність частинок сорбенту — 1,0 мм

Аналіз залежності сорбційної здатності від часу біосорбції, представлений на рис. 4, 5, свідчить, що для азоту амонійного, фосфатів, нітритів та заліза найбільша ефективність існує на початку процесу, при тривалості 15–20 хв. В цей період процес стабілізується, а подальше збільшення тривалості процесу нецільове.

На рис. 6 видно, що для ХСК процес очищення стає ефективним при тривалості 20 хв. та дисперсності частинок сорбенту 0,1 мм.

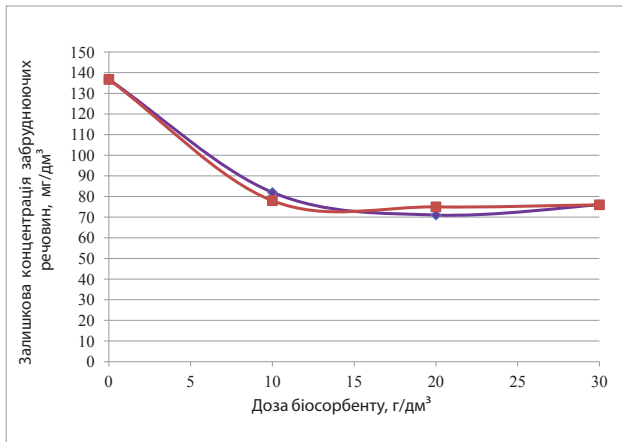


Рис. 6. Залежність сорбційної здатності сухого МКБС від часу біосорбції та дисперсності по відношенню до: — ХСК 1; — ХСК 2; 1 — дисперсність частинок сорбенту — 0,1 мм; 2 — дисперсність частинок сорбенту — 1,0 мм

Ці результати є важливими для розробки технологічного процесу з подальшим вилученням відпрацьованого біосорбенту.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Проведені дослідження виявили, що існуючу проблему в очищенні стічних вод — перевищення нормативів ГДС для таких показників, як: ХСК, азот амонійний, нітрити, залізо загальне, фосфати, запах — можна вирішити шляхом використання отриманого методом МГДП в схрещених електричному та магнітному полях сухого модифікованого біосорбенту. Результати дослідно-лабораторного випробування показали, що сухий МКБС ефективно зменшує концентрацію вище перерахованих показників та доводить їх до рівня ГДС.

Дане дослідження є продовженням попередніх досліджень, які пов'язані з вивченням властивостей нативного та сухого МКБС, отриманого методом механічного перемішування та методом МГДП в схрещених електричному та магнітному полях. Дослідження по використанню сухого МКБС в очистці господарсько-побутових стічних вод відкрили нові можливості біосорбенту в очищенні стоків не тільки від важких металів, а і від біогенних елементів (азот амонійний, нітрити, фосфати), ХСК, запаху. В зв'язку з тим, що отримані результати очищення стічних вод дають підстави для розвитку впровадження, особливої уваги потребує також розвиток нормативних документів щодо контролю процесу з урахуванням своєчасного отримання необхідної інформації. Як відомо [25], не всі етапи процесу очищення стічних вод забезпечені нормативними документами щодо технологій та конструкцій. При розробці методики контролю нового процесу можуть бути

враховані такі чинники, як: концентрація металу, що адсорбується МКБС; дисперсність адсорбенту; площа поверхні МКБС та інше.

В даному дослідженні залишилися неохоплені важливі для роботи каналізаційно-очисних станцій наступне питання — чи існує вплив сухого МКБС на ефективність очистки господарсько-побутових стічних вод від інших видів забруднення (хлориди, нітрати, сульфати, БСК5, завислі речовини, сухий залишок, алюміній). Подальші дослідження необхідно присвятити вивченню впливу процесу біосорбції сухим МКБС на ефективність очистки господарсько-побутових стічних вод від вище перерахованих показників.

Негативна дія на ефективність вилучення таких показників, як: ХСК, азот амонійний, нітрити, фосфати, залізо зі стічних вод, може бути викликана залповими скидами наднормативних забруднень цих показників підприємствами міста на очисні споруди.

8. Висновки

1. Отримано за представленою у роботі методикою сухий магнітокерований біосорбент і виявлено при доочищенні стічних вод щодо ХСК, азоту амонійного, нітритів, фосфатів, заліза загального, запаху, його ефективність, яка полягає у тому, що біосорбент доводить концентрації забруднювачів до рівня ГДС. Даний біосорбент можна вилучити у швидкісному режимі за допомогою магнітної сепарації та використовувати повторно, що зменшить собівартість очистки стоків.

2. В результаті дослідження виявлено, що сухий МКБС, доза якого дорівнює 4 г/дм³, а середній розмір частинок становить 0,1 мм, при тривалості контакту 20 хв. ефективно видаляє забруднення з господарсько-побутових стічних вод м. Славутича (Україна).

Література

- Ковальов, О. В. Лабораторні дослідження озонування стічних вод [Текст] / О. В. Ковальов, І. М. Іванова // Збірник наукових праць за матеріалами VI міжнародної науково-практичної конференції. — Ч.: ЧДЕІУ, 2010. — С. 158–161.
- Wang, J. Biosorbents for heavy metals removal and their future [Text] / J. Wang, C. Chen // *Biotechnology Advances*. — 2009. — Vol. 27, № 2. — P. 195–226. doi:10.1016/j.biotechadv.2008.11.002
- Горобець, С. В. Дослідження сорбції іонів заліза магнітоміченим біосорбентом [Текст]: тези доп. / С. В. Горобець, Т. З. Нгуен, Ю. В. Карпенко // VI Всеукраїнська науково-практична конференція «Біотехнологія XXI століття», 5 квітня 2012 р. — К.: НТУУ «КПІ», 2012. — С. 147.
- Patzak, M. Development of magnetic biosorbents for metal uptake [Text] / M. Patzak, P. Dostalek, R. V. Fogarty, I. Safarik, J. M. Tobin // *Biotechnology Techniques*. — 1997. — Vol. 11, № 7. — P. 483–487. doi:10.1023/a:1018453814472
- Горобець, С. В. Очищення стічних вод від іонів Cu²⁺ (II) магнітокерованим біосорбентом за допомогою високоградієнтних феромагнітних насадок [Текст] / С. В. Горобець, О. Ю. Горобець, О. К. Двойненко та ін. // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. — 2010. — № 3. — С. 21–25.
- Горобець, С. В. Біосорбція іонів міді Cu²⁺ магнітоміченими клітинами *S.cerevisiae* [Текст] / С. В. Горобець, Ю. В. Карпенко, Л. В. Маринченко // *Вісник Донецького національного університету. Сер. А. Природничі науки*. — 2010. — № 1. — С. 230–236.
- Yang, S. H. Interfacing Living Yeast Cells with Graphene Oxide Nanosheets [Text] / S. H. Yang, T. Lee, E. Seo, E. H. Ko, I. S. Choi, B.-S. Kim // *Macromolecular Bioscience*. — 2011. — Vol. 12, № 1. — P. 61–66. doi:10.1002/mabi.201100268

8. Peng, Q. Biosorption of copper(II) by immobilizing *Saccharomyces cerevisiae* on the surface of chitosan-coated magnetic nanoparticles from aqueous solution [Text] / Q. Peng, Y. Liu, G. Zeng, W. Xu, C. Yang, J. Zhang // *Journal of Hazardous Materials*. — 2010. — Vol. 177, № 1–3. — P. 676–682. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.12.084
9. Горобець, С. В. Застосування магнітомічених клітин *S.cerevisiae* як біосорбенту на очисних спорудах [Текст] / С. В. Горобець, Ю. В. Карпенко, О. В. Ковальов, В. В. Олішевський // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. — 2013. — № 3. — С. 42–47.
10. Safarik, I. CHAPTER 10. Magnetic Decoration and Labeling of Prokaryotic and Eukaryotic Cells [Text] / I. Safarik, Z. Maderova, K. Pospiskova, K. Horska, M. Safarikova // *RSC Smart Materials*. — London: Royal Society of Chemistry (RSC), 2014. — P. 185–215. doi:10.1039/9781782628477-00185
11. Safarik, I. Magnetically responsive yeast cells: Methods of preparation and applications [Text] / I. Safarik, Z. Maderova, K. Pospiskova, E. Baldikova, K. Horska, M. Safarikova // *Yeast*. — 2015. — Vol. 32, № 1. — P. 227–237. doi:10.1002/yea.3043
12. Wu, H. Q. Research Progress of Nanomaterials about Removal of Toxic Metal Ions and Organics Used in Water Treatment [Text] / H. Q. Wu, Q. P. Wu // *Advanced Materials Research*. — 2013. — Vol. 662. — P. 207–213. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.662.207
13. Safarik, I. Magnetically Responsive Biological Materials And Their Applications [Text] / I. Safarik, K. Pospiskova, E. Baldikova, M. Safarikova // *Advanced Materials Letters*. — 2016. — Vol. 7, № 4. — P. 254–261. doi:10.5185/amlett.2016.6176
14. Jadidian, R. Removal of Copper from Industrial Water and Wastewater Using Magnetic Iron Oxide Nanoparticles Modified with Benzotriazole [Text] / R. Jadidian, H. Parham, S. Haghatab, R. Asrarian // *Advanced Materials Research*. — 2013. — Vol. 829. — P. 742–746. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.829.742
15. Infante J, C. Removal of lead, mercury and nickel using the yeast *Saccharomyces cerevisiae* [Text] / C. Infante J // *Revista MVZ Córdoba*. — 2014. — Vol. 19, № 2. — P. 4141–4149. — Available at: \www/URL: <http://revistas.unicordoba.edu.co/revistas/index.php/revistamvz/article/view/107>
16. Nguyen, M. L. Improved biosorption of phenol using crosslinked chitosan beads after modification with histidine and *Saccharomyces cerevisiae* [Text] / M. L. Nguyen, R.-S. Juang // *Biotechnology and Bioengineering*. — 2015. — Vol. 20, № 3. — P. 614–621. doi:10.1007/s12257-015-0039-7
17. Горобець, С. В. Ефективність магнітокерованого біосорбенту на основі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* для очищення стічних вод [Текст] / С. В. Горобець, Ю. М. Чиж, О. В. Ковальов, І. О. Шпетний // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. — 2015. — № 3. — С. 14–22.
18. Спосіб отримання магнітокерованого біосорбенту [Електронний ресурс]: Патент України № 101016 / Горобець С. В., Горобець О. Ю., Чиж Ю. М., Ковальов О. В.; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». — № u 2015 00909; заявл. 05.02.2015; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/5-101016-sposib-otrimannya-magnitokerovanogo-biosorbentu.html>
19. КНД 211.1.4.034-95. Методика фотометричного визначення загального заліза з ортофенантроліном в поверхневих і стічних водах [Текст]. — Київ: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, 1995. — 10 с.
20. КНД 211.1.4.030-95. Методика фотометричного визначення амоній-іонів з реактивом Неслера в стічних водах [Текст]. — Київ: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, 1995. — 10 с.
21. КНД 211.1.4.023-95. Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Грісса в поверхневих та очищених стічних водах [Текст]. — Київ: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, 1995. — 10 с.
22. КНД 211.1.4.021-95. Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах [Текст]. — Київ: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, 1995. — 10 с.
23. МВВ 081/12-0005-01. Поверхневі та очищені стічні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації розчинних ортофосфатів фотометричним методом (0,05-100 мг/дм³).
24. Лурье, Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод [Текст] / Ю. Ю. Лурье. — М.: Химия, 1984. — 448 с.
25. Иванова, Ю. В. Оцінка забезпеченості основних етапів життєвого циклу стічних вод нормативними документами [Текст] / Ю. В. Иванова, А. С. Зенкін, Ю. А. Федорченко, Н. С. Мазюк // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. — 2012. — № 3/6 (57). — С. 56–61. — Режим доступу: \www/URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/4044>

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУХОГО МАГНИТОУПРАВЛЯЕМОГО БИОСОРБЕНТА В СИСТЕМЕ ОЧИСТКЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Исследована возможность практического использования сухого магнитоуправляемого биосорбента, полученного методом магнитогидродинамического перемешивания в скрещенных электрическом и магнитном полях. Определена оптимальная доза биосорбента, время биосорбции и средний размер частиц сухого биосорбента. Также определена эффективность биосорбции по уменьшению концентраций таких показателей сточных вод, как: химическое потребление кислорода (ХПК), азот аммонийный, нитриты, фосфаты, железо общее.

Ключевые слова: сухой магнитоуправляемый биосорбент, биосорбция, наночастицы магнетита, сточные воды, магнитогидродинамическое перемешивание.

Горобець Світлана Василівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біоінформатики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Горобець Оксана Юрївна, доктор фізико-математичних наук, професор, кафедра біоінформатики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Ковальов Олексій Вікторович, аспірант, кафедра біоінформатики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна, e-mail: alexej.covalew@yandex.ua.

Шатохіна Юлія Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра публічного управління і менеджменту організацій, Чернігівський національний технологічний університет, Україна.
Ковальова Світлана Олексіївна, Чернігівський колегіум № 11, Україна.

Горобець Светлана Васильевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биоинформатики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина.

Горобець Оксана Юрьевна, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра биоинформатики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина.

Ковалева Алексей Викторович, аспирант, кафедра биоинформатики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина.
Шатохина Юлия Викторовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра публичного управления и менеджмента организаций, Черниговский национальный технологический университет, Украина.

Ковалева Светлана Алексеевна, Черниговский колледж № 11, Украина.

Gorobets Svitlana, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Gorobets Oksana, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Kovalyov Oleksii, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: alexej.covalew@yandex.ua.

Shatohina Julia, Chernihiv National Technological University, Ukraine.
Kovalyova Svitlana, Chernihiv Collegium № 11, Ukraine