

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.64.49.011

УДК 628.3

© М.У. Дао, А.С. Сироткин, С.В. Клементьев, Й.В. Кобелева, Т.А.Т. Нго, Х.И. Хоанг, В.Т. Ле, 2022

**М.У. ДАО**

аспирант  
КНИТУ, г. Казань  
e-mail: myuyen@mail.ru

**А.С. СИРОТКИН**

д-р техн. наук, профессор  
КНИТУ, г. Казань  
e-mail: asirotkin66@gmail.com

**С.В. КЛЕМЕНТЬЕВ**

магистр,  
техник кафедры  
КНИТУ, г. Казань  
e-mail: slava\_klementev3715@mail.ru

**Й.В. КОБЕЛЕВА**

канд. техн. наук,  
ведущий инженер  
КНИТУ, г. Казань  
e-mail: ioldiz-ksu@mail.ru

**Т.А.Т. НГО**

магистр,  
преподаватель  
Хошиминский университет природных ресурсов и  
экологии, Хошимин, Вьетнам  
e-mail: ntatuyet@hcmunre.edu.vn

**Х. И ХОАНГ**

канд. хим. наук  
Центр «передовой химии», Институт исследований и  
разработок, Дуйтанский университет, Вьетнам  
e-mail: hoanghieny201@gmail.com

**В. Т. ЛЕ**

канд. техн. наук,  
директор Центра «передовой химии»,  
Институт исследований и разработок,  
Дуйтанский университет, Вьетнам  
e-mail: levanthuan3@duytan.edu.vn

## ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД АКТИВНЫМ ИЛОМ

В данной работе изучена эффективность биологической очистки сточных вод от красителей и тяжелых металлов активным илом в присутствии углеродного сорбента, полученного из семян *Litsea glutinosa*. Установлено, что в процессе биосорбционной очистки сточных вод повышается эффективность удаления органических веществ и ионов металлов, а также улучшаются седиментационные свойства активного ила. Экспериментально показано, что присутствие исследованного сорбента незначительно повышает дыхательную активность активного ила, и сточные воды после биосорбционной очистки нетоксичны для *Paramecium caudatum*. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что внесение порошкообразного углеродного сорбента в активный ил повышает эффективность удаления загрязняющих веществ, в том числе красителей и тяжелых металлов. Кроме того, следует отметить, что углеродный сорбент оказывает положительное воздействие на процесс биологической очистки и обеспечивает высокую эффективность отделения активного ила.

Ключевые слова: МЕТИЛЕНОВЫЙ СИНИЙ, ИОНЫ НИКЕЛЯ, АКТИВНЫЙ ИЛ, УГЛЕРОДНЫЙ СОРБЕНТ, БИОСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД.

**Введение.** Для текстильной, полиграфической и металлургической промышленности загрязнение воды ионами тяжелых металлов и красителей является серьезной проблемой, которая оказывает большое влияние на питьевое водоснабжение и функционирование экосистем в целом [1–3]. Тяжелые металлы являются высокотоксичными веществами и при попадании в организм вызывают заболевания печени, сердца, щитовидной железы и др. [4]. С другой стороны, красители характеризуются высокой устойчивостью к физико-химическим воздействиям и неспособностью к биологической деградации и обладают мутагенным и канцерогенным действием на организмы [5]. В связи с этим очистка сточных вод от этих веществ является актуальной и практически важной задачей. При этом необходимо отметить, что высокая токсичность сточных вод, содержащих красители и тяжелые металлы, не позволяет сбрасывать их в водоемы и осуществлять совместную очистку с другими промышленными стоками.

Для обезвреживания данных сточных вод используются различные технологии, основанные на применении физико-химических и биологических способов очистки, таких как хи-

мическое окисление, адсорбция, коагуляция, флокуляция, биоокисление и биовосстановление. При этом следует принимать во внимание, что основным способом очистки смешанных сточных вод различного состава является биологическая очистка в аэробных условиях, направленная на биологическое окисление, расщепление и уничтожение загрязнений сточных вод с использованием микроорганизмов активного ила или биопленки. Несмотря на высокую эффективность и экологическую привлекательность, данный метод обладает рядом недостатков, к которым относятся необходимость строгого соблюдения режима очистки и постоянного регулирования рН сточных вод, длительное время обработки. Более того, очистка сточных вод биологическим методом имеет ограничения, связанные с наличием в составе сточных вод высоких концентраций токсичных веществ, таких как красители и тяжелые металлы, оказывающие ингибирующее действие на популяцию микроорганизмов, осуществляющих процесс водоочистки.

Для повышения эффективности и стабилизации процесса биологической очистки в зоне аэрации может быть размещена блочная загрузка из полимерных материалов различ-

ных типов и химической природы, способствующая закреплению и росту микроорганизмов активного ила на её поверхности и накоплению биомассы в объеме сооружения.

Другим весьма эффективным вариантом модернизации процесса биологической очистки в аэротенках является внесение в зону аэрации порошкообразных сорбентов с большой удельной поверхностью, разнообразными функциональными группами и реакционной способностью в широком диапазоне значения рН. Использование таких сорбентов на основе возобновляемого растительного сырья представляется более перспективным, нежели применение полимерной объемной загрузки в биологической очистке сточных вод. Использование адсорбционной емкости сорбционного материала позволяет обеспечить эффективность очистки сточных вод в короткие сроки и удалить различные загрязняющие вещества, обладающие токсичностью.

Целью данной работы является исследование эффективности биологической очистки сточных вод от красителей и тяжелых металлов активным илом (АИ) в присутствии углеродного сорбента, полученного из семян *Litsea glutinosa*.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Углеродный сорбент, использованный в данной работе, был получен из семян *Litsea*

*glutinosa*, являющегося вечнозелёным растением, принадлежащим к семейству камфорных лавровых, который обычно растет в некоторых странах Азии, таких как Китай, Индия, Таиланд, Филиппины и Вьетнам [6]. Плоды и семена *Litsea glutinosa* собирались и использовались в качестве сырья для получения изучаемого углеродного сорбента.

Одним из важнейших признаков технологичности сорбционных материалов является их отделение от очищенной среды. В связи с этим в работе предлагается использование углеродных сорбентов в магнитном порошкообразном виде.

Схема получения магнитного порошкообразного углеродного сорбента из семян *Litsea glutinosa* представлена на рис. 1. Полученные семена после промывания дистиллированной водой и высушивания при 105 °С в течение 24 ч. подвергались гидротермальной обработке раствором  $FeCl_3$  в автоклаве при температуре 150 °С в течение 2 ч. После этого обработанные семена были пропитаны раствором КОН в течение 4 ч. при температуре 60 °С. Затем активированные семена подвергались карбонизации в печи при 450 °С в течение 1 ч. Наконец, полученные сорбенты обрабатывали раствором 0,1 % HCl для удаления растворимых зольных компонентов, а затем несколько раз промывали дистиллированной водой для нейтрализации.

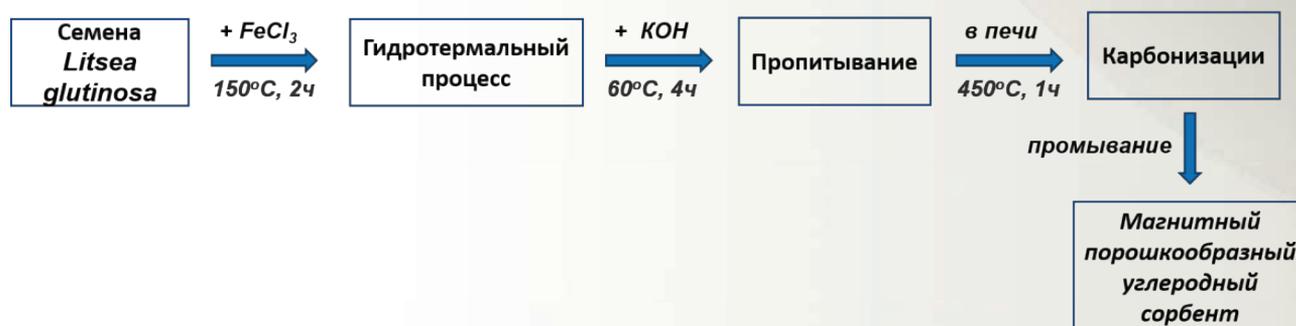


Рис. 1. Схема получения магнитного порошкообразного углеродного сорбента из семян *Litsea glutinosa*

Для изучения процесса биосорбционной очистки сточных вод от красителей и тяжелых металлов в присутствии магнитного углеродного сорбента из семян *Litsea glutinosa*

были использованы сточные воды, поступающие на биологические очистные сооружения г. Зеленодольск, Республика Татарстан. Их характеристика представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика сточных вод (СВ), поступающих на биологические очистные сооружения в г. Зеленодольск

Показатель	Значение показателя
Температура, °С	18±3
Реакция среды pH, ед	7,5±0,2
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм <sup>3</sup>	5,3±0,2
Степень прозрачности, см	0,5
Осадок по объему, см <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	2,33
Осадок по весу, мг/дм <sup>3</sup>	52,13
Взвешенные вещества (105°С), мг/дм <sup>3</sup>	112,67
БПК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	163,33
БПК <sub>20</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	377,33
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	498,33

Для изучения эффективности биосорбционной системы в образец сточной воды объемом 250 см<sup>3</sup> добавляли метиленовый синий и раствор ионов никеля в концентрации 20 мг/дм<sup>3</sup>, смешивали их с активным илом в соотношении 1:1 в стеклянной колбе объемом 500 см<sup>3</sup>. Доза активного ила составляла 2,25 г/дм<sup>3</sup>.

В опытную систему вносили углеродный сорбент в дозировке 1 г/дм<sup>3</sup>. Процесс очистки проводили при комнатной температуре в условиях принудительной аэрации в течение

4,5 часов. Эффективность биосорбционной очистки сточных вод от метиленового синего (МС) и ионов никеля активным илом в присутствии углеродного сорбента оценивалась по изменению концентраций метиленового синего и ионов никеля, а также по основным показателям активного ила и сточных вод, таких как иловый индекс, дыхательная активность микроорганизмов, химическое потребление кислорода и токсичность сточных вод (рис. 2).

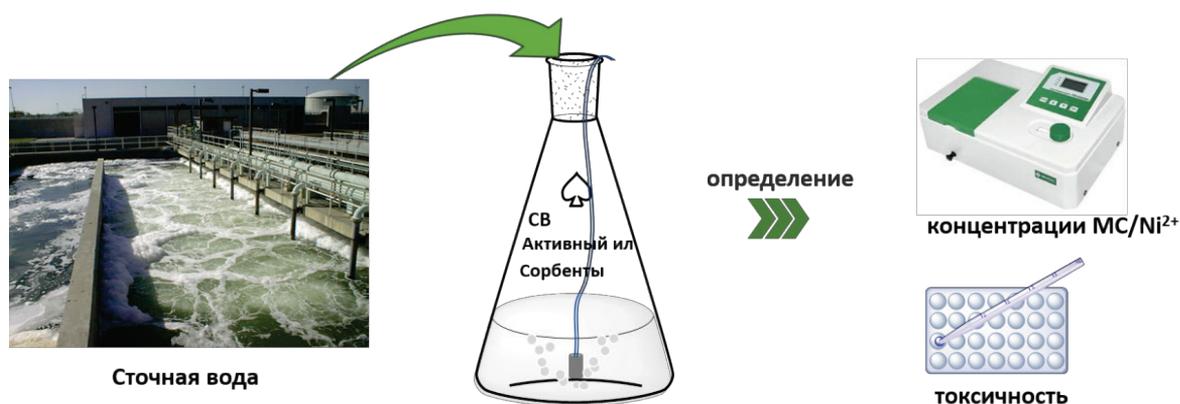


Рис. 2. Биосорбционная очистка сточных вод от метиленового синего и ионов никеля в присутствии углеродного сорбента из семян *Litsea glutinosa*

Эффективность удаления МС и никеля рассчитывалась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{нач}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $C_{\text{нач}}$  и  $C_{\text{кон}}$  — начальная и конечная концентрация МС и ионов никеля в растворе соответственно, мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрация МС и ионов никеля определялась спектрофотометрически [7, 8]. Концентрация МС измерялась при длине волны 645 нм; для определения концентрации ионов никеля с помощью диметилглиоксима (реактив Чугаева) была использована длина волны 470 нм.

Химическое потребление кислорода (ХПК) определялось титриметрически с бихроматом калия по ГОСТ 31859-2012 [9].

Иловый индекс и доза активного ила определялись по стандартным методикам [10]. Иловый индекс — это объем (см<sup>3</sup>), занимаемый 1 граммом сухой массы активного ила по истечении 30 минут отстаивания в 100 см<sup>3</sup> цилиндре, значение которого рассчитывается по формуле:

$$\text{Иловый индекс} = \frac{V_{30}}{(a-b)}, \quad (2)$$

где  $V_{30}$  — объем, занимаемый пробой ила через 30 минут отстаивания, см<sup>3</sup>;  $a$  — вес филь-

тра с осадком, г;  $b$  — вес фильтра без осадка, г.

Дозы активного ила вычислялась по формуле:

$$\text{Доза АИ} = \frac{(a-b) \cdot 1000}{c}, \quad (3)$$

где  $a$  — вес фильтра с осадком, г;  $b$  — вес фильтра без осадка, г;  $c$  — объем профильтрованной жидкости с илом, см<sup>3</sup>; 1000 — коэффициент пересчета к 1 дм<sup>3</sup>.

Дыхательная активность измерялась с помощью оксиметра (Dissolved Oxygen Meter, Ulab, model UP-7041O) [10, 11]. Пробы сточных вод помещали на магнитную мешалку и начинали замер содержания кислорода оксиметром (t<sup>0</sup>); затем производили замер каждые 10 секунд до стабилизации показаний оксиметра. Полученные результаты оформили в виде графика, выбирая линейную аппроксимацию согласно уравнению  $y = -ax + b$ , где  $a$  — численное значение гетеротрофной активности мг O<sub>2</sub>/с.

Токсичность образцов сточных вод определяли по результатам гибели инфузорий *Paramecium caudatum* и дафний *Daphnia magna* (рис. 3) после экспозиции в тестируемой воде в соответствии с методическими указаниями [10] по ФР.1.39.2003.00923 (для *Paramecium caudatum*) и ПРД ФТ.14.1:2:3:4.12-06 (для *Daphnia magna*).



Рис. 3. Тест-объекты: инфузории *Paramecium caudatum* (а) и дафнии *Daphnia magna* (б)

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, ХПК является одним из основных контролируемых параметров, который определяет уровень загрязнения сточных вод. Изменение значения ХПК сточных вод в результате биологической и биосорбционной очистки представлено в табл. 2. Очевидно, что в процессе биосорбционной очистки в аэробных условиях в течение 4,5 ч. Значение ХПК сточных вод заметно уменьшается с 120 мг/м<sup>3</sup> до 20 мг/м<sup>3</sup>. В то же время в процессе биологической очистки значение ХПК

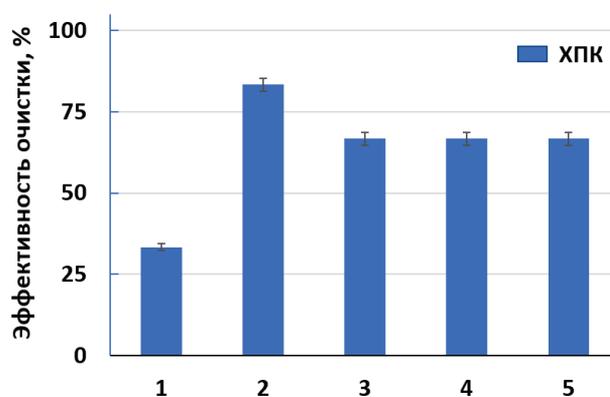
снижалось до 80 мг/м<sup>3</sup>. Наблюдаемый эффект объясняется наличием большой удельной поверхности и разнообразных функциональных групп на поверхности углеродного сорбента, что способствует эффективностью удаления загрязняющих веществ, а именно органических примесей [12].

Необходимо отметить, что присутствие метиленового синего и ионов никеля в сточных водах незначительно влияет на эффективность биосорбционной очистки сточных вод от органических веществ по ХПК (рис. 4).

Таблица 2

Значения ХПК в процессах очистки сточных вод

До обработки		После обработки (4,5 ч.)	
Образцы	Значение ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	Образцы	Значение ХПК, мг/дм <sup>3</sup>
Поступающая сточная вода	120±5	Сточная вода + активный ил	80±4
Поступающая сточная вода (МС)	120±5	Сточная вода + активный ил + сорбент	20±1
Поступающая сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> )	120±5	Сточная вода (МС) + активный ил + сорбент	40±2
		Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил + сорбент	40±3
		Сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил + сорбент	40±2



1 — СВ + АИ; 2 — СВ + АИ + сорбент; 3 — СВ(МС, Ni<sup>2+</sup>) + АИ + сорбент ;  
4 — СВ(МС) + АИ + сорбент; 5 — СВ(Ni<sup>2+</sup>) + АИ + сорбент

Рис. 4. Эффективность очистки сточных вод по ХПК

С целью оценки эффективности биосорбционной очистки сточных вод от метиленового синего и ионов никеля была поставлена

серия экспериментов с изменением состава образцов сточных вод. Полученные результаты приведены на рисунке 5.

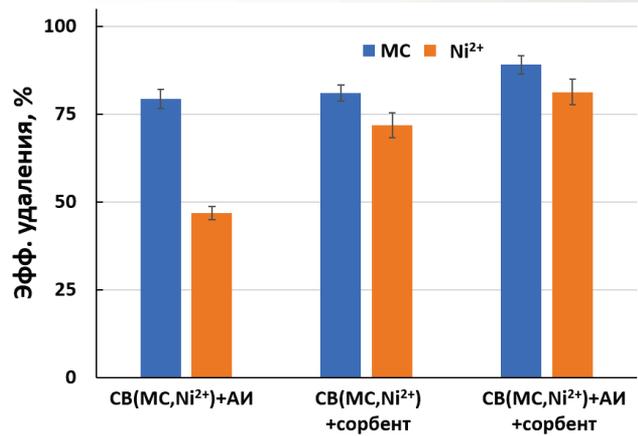
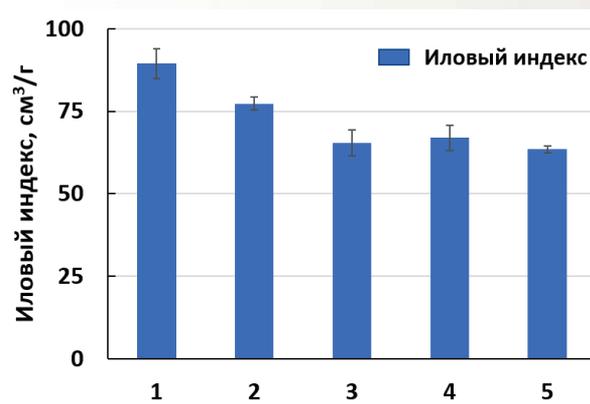


Рис. 5. Эффективность удаления МС и ионов никеля из сточных вод

Из данных рисунка 5 следует, что эффективность очистки сточных вод от ионов никеля активным илом в присутствии углеродного сорбента увеличилась более чем 30 % по сравнению с контрольным случаем биологической очистки.

Это связано с тем, что высокая токсичность ионов никеля обуславливает угнетение микроорганизмов активного ила [13], что, в свою очередь, приводит к снижению эффективности очистки сточных вод. Внесение порошкообразного углеродного сорбента в суспензию активного ила приводит к быстрой сорбции токсикантов на поверхности сорбента. Между тем, пористая структура сорбента также обеспечивает иммобилизацию микроорганизмов, поэтому происходит облегчённое биоокисление доступных адсорбированных примесей. Кроме того, окислительная активность микроорганизмов также способствует ограничению процесса десорбции адсорбированных веществ обратно в раствор [14].

Иловый индекс является одним из основных гидрохимических показателей состояния активного ила, который характеризует работу систем аэробной биологической очистки активным илом [15]. Результаты изучения влияния углеродного сорбента на иловый индекс активного ила представлены на рис. 6, из которого видно, что значение илового индекса снижалось в присутствии сорбента. Таким образом, под влиянием углеродного сорбента процесс седиментации протекает значительно быстрее, что, по-видимому, объясняется электростатическим взаимодействием разноименных зарядов на поверхности микроорганизмов и адсорбента и приводит к хорошему осаждению активного ила. Таким образом, помимо повышения эффективности очистки сточных вод от токсичных загрязняющих веществ, сочетание углеродного сорбента и активного ила в процессе биосорбционной очистки улучшает процесс осаждения активного ила.



1 — СВ + АИ; 2 — СВ + АИ + сорбент; 3 — СВ(МС, Ni<sup>2+</sup>) + АИ + сорбент  
4 — СВ(МС) + АИ + сорбент; 5 — СВ(Ni<sup>2+</sup>) + АИ + сорбент

Рис. 6. Значение илового индекса

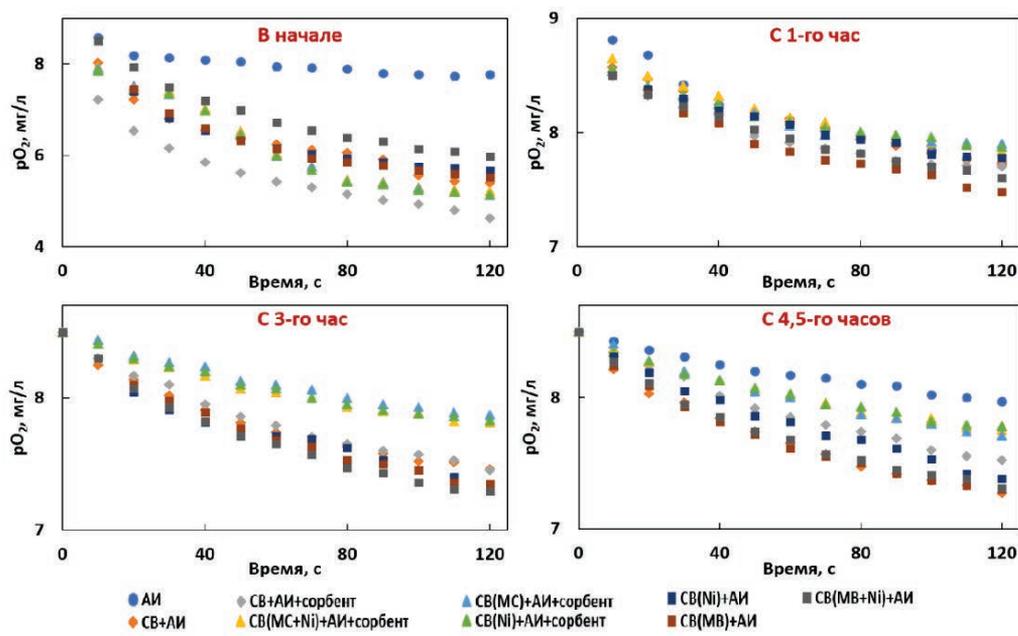


Рис. 7. Потребление растворенного кислорода микроорганизмами активного ила

Дыхательная активность микроорганизмов является одним из важнейших технологических показателей активного ила, позволяющих оценивать биохимические возможности активных илов, рассчитывать очистные сооружения, прогнозировать результаты использования тех или иных технологических операций [16].

Динамика изменения концентрации растворенного кислорода в различных пробах сточных вод с активным илом определялась в интервале 120 секунд по истечению 1, 3 и 4,5 часов процесса очистки (рис. 7). Из линии тренда этого изменения определялась дыхательная активность микроорганизмов активного ила.

Полученные результаты (табл. 3) показали, что в начале процесса микробное дыхание отмечается высокой скоростью, что связано с присутствием легкоокисляемого субстрата. Затем эта скорость стремится к постоянной. Анализируя данные, отражающие эффективность дыхательной активности (табл. 4), можно отметить, что дыхательная активность микроорганизмов активного ила в присутствии МС и ионов никеля в качестве субстрата достаточно высокая, что говорит о хорошей адаптации ила. Следует отметить, что присутствие углеродного сорбента не влияет на дыхательную активность микроорганизмов активного ила.

Таблица 3

Дыхательная активность микроорганизмов активного ила

мг O <sub>2</sub> /с	Исходная	1 час	3 часа	4,5 часов
Активный ил	0,0062	0,0052	0,0045	0,0042
Сточная вода + активный ил	0,0203	0,0078	0,0079	0,0093
Сточная вода + активный ил + сорбент	0,0205	0,0071	0,0081	0,008
Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил	0,0217	0,0051	0,007	0,0069
Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил + сорбент	0,0265	0,0067	0,0069	0,00655

мг O <sub>2</sub> /с	Исходная	1 час	3 часа	4,5 часов
Сточная вода (МС) + активный ил	0,0232	0,0063	0,0064	0,007
Сточная вода (МС) + активный ил + сорбент	0,0269	0,0052	0,00555	0,0064
Сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил	0,0238	0,0057	0,0071	0,0068
Сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил + сорбент	0,0268	0,0063	0,0053	0,0061

Таблица 4

Эффективность дыхания микроорганизмов активного ила

Эффективность дыхания, %	1ч	3ч	4,5ч
Активный ил	16,13	27,42	32,26
Сточная вода + активный ил	61,58	61,08	54,19
Сточная вода + активный ил + сорбент	65,37	60,49	60,98
Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил	76,50	67,74	68,20
Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил + сорбент	74,72	73,96	75,28
Сточная вода (МС) + активный ил	72,84	72,41	69,83
Сточная вода (МС) + активный ил + сорбент	80,67	79,37	76,21
Сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил	76,05	70,17	71,43
Сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил + сорбент	76,49	80,22	77,24

Для определения токсичности сточных вод в данной работе использовались два тест-объекта — *Paramecium caudatum* и *Daphnia magna*. Анализируя полученные данные о гибели *Paramecium caudatum* и *Daphnia magna* (табл. 5, 6), можно отметить, что по сравнению с метиленовым синим оба тест-объекта обнаруживают острую чувствительность к ионам никеля, и сточные воды, содержащие

данный металл, чрезвычайно токсичны для изучаемых инфузорий. Из данных таблиц 5 и 6 видно, что, в целом, высокий процент гибели особей *Daphnia magna* свидетельствует о том, что дафнии обладает большей чувствительностью по сравнению с инфузориями. Аналогичное наблюдение было обнаружено в работе А.А. Халиловой и соавторов [17].

Таблица 5

Результаты определения токсичности сточных вод для инфузорий *Paramecium caudatum*

Образец	Разбавление	Количество не подвергшихся токсическому воздействию <i>Paramecium caudatum</i>			Среднее значение	Гибель особей, %
		1	2	3		
Контроль		10	10	10	10	0
<i>До очистки</i>						
Сточная вода	1:2	5	6	5	5,33	46,7
	1:4	8	7	8	7,67	23,3
	1:8	9	9	10	9,33	6,7

Образец	Разбавление	Количество не подвергшихся токсическому воздействию <i>Paramecium caudatum</i>			Среднее значение	Гибель особей, %
		1	2	3		
<b>Контроль</b>		<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0</b>
Сточная вода (МС)	1:2	5	5	5	5,0	50,0
	1:4	8	7	7	7,3	27,0
	1:8	9	9	8	8,67	13,3
Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> )	1:2	0	0	0	0	100
	1:4	0	0	0	0	100
	1:8	0	0	0	0	100
Сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> )	1:2	0	0	0	0	100
	1:4	0	0	0	0	100
	1:8	0	0	0	0	100
<i>После очистки</i>						
Сточная вода + активный ил + сорбент	1:2	10	10	10	10	0
Сточная вода (МС) + активный ил + сорбент	1:2	10	10	10	10	0
Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил + сорбент	1:2	9	10	10	9,67	3,3
Сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> ) + активный ил + сорбент	1:2	10	10	9	9,67	3,3

Таблица 6

Результаты определения токсичности сточных вод для ракообразных *Daphnia magna*

Образец	Разбавление	Количество не подвергшихся токсическому воздействию <i>Daphnia magna</i>			Среднее значение	Гибель особей, %
		1	2	3		
<b>Контроль</b>		<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0</b>
<i>До очистки</i>						
Сточная вода	1:2	0	0	0	0	100
	1:4	0	0	0	0	100
	1:8	0	0	0	0	100
Сточная вода (МС)	1:2	0	0	0	0	100
	1:4	0	0	0	0	100
	1:8	1	1	1	1	90
Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> )	1:2	0	0	0	0	100
	1:4	0	0	0	0	100
	1:8	0	0	0	0	100
Сточная вода (МС, Ni <sup>2+</sup> )	1:2	0	0	0	0	100
	1:4	0	0	0	0	100
	1:8	0	0	0	0	100

Образец	Разбавление	Количество не подвергшихся токсическому воздействию <i>Daphnia magna</i>			Среднее значение	Гибель особей, %
		1	2	3		
<b>Контроль</b>		<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0</b>
<i>После очистки</i>						
Сточная вода +активный ил +сорбент	1:2	10	10	10	10	0
Сточная вода (МС) +активный ил +сорбент	1:2	10	10	10	10	0
Сточная вода (Ni <sup>2+</sup> ) +активный ил +сорбент	1:2	0	0	0	0	100
	1:4	8	7	6	7	30
	1:8	8	9	8	8,33	16,7
Сточная вода (МС) +активный ил +сорбент	1:2	0	0	0	0	100
	1:4	7	6	7	6,67	33,3
	1:8	8	8	8	8	20

Однако, в результате биосорбционной очистки образцы очищенных сточных вод обнаружили полную безопасность для *Paramecium caudatum*. Между тем, чтобы не вызывать токсического воздействия для *Daphnia magna*, данные сточные воды должны быть разбавлены не менее чем в 4 раза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По совокупности полученных результатов показано, что внесение углеродного сорбента в активный ил повышает эффективность удаления загрязняющих веществ, в том числе красителей и тяжелых металлов, а так-

же улучшает седиментационные свойства активного ила.

С учетом высокой адаптации микроорганизмов активного ила углеродный сорбент незначительно влияет на повышение дыхательной активности в номинальных режимах эксплуатации очистных сооружений.

Установлена нетоксичность образцов сточных вод, содержащих ионы никеля и метиленового синего, после биосорбционной очистки для *Paramecium caudatum*; а также необходимость обеспечения нетоксичности образцов сточных вод для *Daphnia magna* путём разбавления в 4 раза и более.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Elgarahy A.M., Elwakeel K.Z, Mohammad S.H., Elshoubaky G.A. A critical review of biosorption of dyes, heavy metals and metalloids from wastewater as an efficient and green process // Cleaner Engineering and Technology. 2021. Vol. 4. P. 100209.
2. Vipul Bhardwaj, Paresh Kumar, Gaurav Singhal. Toxicity of Heavy Metals Pollutants in Textile Mills Effluents // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2014. Vol. 5. No. 7. P. 664.
3. Maria Visa, Cristina Bogatu, Anca Duta. Simultaneous adsorption of dyes and heavy metals from multicomponent solutions using fly ash // Applied Surface Science. 2010. Vol. 256. No. 17. P. 5486–5491.
4. Черных Н.А., Баева Ю.И. Тяжелые металлы и здоровье человека // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельность. 2004. Вып. 10. № 1. С. 125–134.
5. Bruno Lellis, Cintia Zani, Favaro-Polonio, Joao Alencar Pamphile, Julio Cesar Polonio. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms // Biotechnology Research and Innovation. 2019. Vol. 3. No. 2. P. 275–290.

6. Venkata Ramana K., Solomon Raju A.J. Traditional and commercial uses of *Litsea glutinosa* (Lour.) C.B. Robinson (Lauraceae) // *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2017. Vol. 5. No. 3. P. 89–91.
7. ГОСТ 6965-75. Красители органические. Метод спектрофотометрического испытания. М., 1998. 6 с.
8. ПНД Ф 14.1:2.46-96. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации никеля в природных и сточных водах фотометрическим методом с диметилглиоксимом. М: Издание, 2013 17 с.
9. ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода. Введ. 2014.01.01. М.: Стандартинформ, 2014. 7 с.
10. Учебное пособие к общему курсу «Экологический мониторинг». Казань: КГУ, 2007. 144 с.
11. Гюнтер Л.И., Казаровец Н.М. Методика определения дегидрогеназной активности и окислительно-восстановительного потенциала при технологическом контроле за оаботой аэротенков. М.: ОНТИ АКХ им. К.Д. Памфилова, 1970. 16 с.
12. My Uyen Dao, Hoang Sinh Le, Hien Y Hoang, Vy Anh Tran, Van Dat Doan, Thi Thanh Nhi Le, Alexander Sirotkin, Van Thuan Le. Natural core-shell structure activated carbon beads derived from *Litsea glutinosa* seeds for removal of methylene blue: Facile preparation, characterization, and adsorption properties // *Environmental Research*. 2021. Vol. 198. P. 110481.
13. Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я., Фокина А.И., Лялина Е.И. Химические основы токсического действия тяжёлых металлов (обзор) // *Теоретическая и Прикладная Экология* . 2016. Вып. 1. С. 4–13.
14. Alexander S. Sirotkin, Larisa Yu. Koshkina, Konstantin G. Ippolitov. The BAC-process for treatment of waste water containing non-ionogenic synthetic surfactants // *Water Research*. 2001. Vol. 35. No. 13. P. 3265–3271.
15. Гудков А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод: Учебное пособие. Вологда: ВолГТУ, 2002. 127 с.
16. Веригина Е.Л., Грачев В.А., Селиванов А.В. Изучение дыхательной активности илов различных технологических процессов биологической очистки // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2014. Вып. 3. № 2. С. 68–76.
17. Халилова А.А., Яковлева А.В., Сироткин А.С., Сравнительная оценка токсичности сточных вод, содержащих ионы хрома и никеля с применением различных биотест-объектов // *Вестник технологического университета*. 2010. Вып. 10. С. 392–401.

---

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.64.49.011**

**UDC 628.3**

© M.U. Dao, A.S. Sirotkin, S.V. Klementev, J.V. Kobeleva, T.A.T. Ngo, H.I Hoang, V.T. Le, 2022

**M.U. DAO**

Graduate Student

KNRTU, Kazan

e-mail: myuyen@mail.ru

**A.S. SIROTKIN**

Doctor of Engineering Sciences, Professor

KNRTU, Kazan

e-mail: asirotkin66@gmail.com

**S.V. KLEMENTEV**

Master's Science  
Technician of the Department  
KNRTU, Kazan  
e-mail: slava\_klementev3715@mail.ru

**I.V. KOBELEVA**

Candidate of Engineering Sciences,  
Leading Engineer  
KNRTU, Kazan  
e-mail: ioldiz-ksu@mail.ru

**T.A.T. NGO**

Master's Science,  
Lecturer  
Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment, Vietnam  
e-mail: ntatuyet@hcmunre.edu.vn

**H.Y. HOANG**

Candidate of Chemical Sciences,  
Lecturer, Advanced Chemistry Center, Research and Development Institute, Duytan University,  
Vietnam  
e-mail: hoanghieny201@gmail.com

**V. T. LE**

Candidate of Engineering Sciences,  
Director, Advanced Chemistry Center, Research and Development Institute, Duytan University,  
Vietnam  
e-mail: levanthuan3@duytan.edu.vn

**PREPARATION AND APPLICATION OF SORBENT DERIVED FROM PLANT WASTE IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT BY ACTIVE SLUDGE**

*The study investigated the efficiency of biological wastewater treatment from dyes and heavy metals by activated sludge in the presence of carbonaceous sorbents prepared from Litsea glutinosa seeds. It has been seen that in the treatment of wastewater by biosorption, the removal efficiency of organic substances increased, as well as the sedimentation properties of activated sludge improved. Experiments showed that the presence of obtained sorbents slightly rised respiratory activity of activated sludge and wastewater after biosorption treatment was non-toxic for Paramecium caudatum. The obtained results can conclude that the employment of the powder carbonaceous sorbents with activated sludge increased the removal efficiency of pollutants, including dyes and heavy metals. Besides, it should be noted that the carbonaceous sorbents had positive effect on the biological treatment process and provided high efficiency for seperation of activated sludge.*

Keywords: METHYLENE BLUE; NICKEL IONS; ACTIVATED SLUDGE; CARBONACEOUS SORBENT; BIOSORPTION WASTEWATER TREATMENT

**REFERENCES**

1. Elgarahy A.M., Elwakeel K.Z, Mohammad S.H., Elshoubaky G.A. A critical review of biosorption of dyes, heavy metals and metalloids from wastewater as an efficient and green process // Cleaner Engineering and Technology. 2021. Vol. 4. P. 100209.
2. Vipul Bhardwaj, Paresh Kumar, Gaurav Singhal. Toxicity of Heavy Metals Pollutants in Textile Mills Effluents // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2014. Vol. 5. No. 7. P. 664.

3. Maria Visa, Cristina Bogatu, Anca Duta. Simultaneous adsorption of dyes and heavy metals from multicomponent solutions using fly ash // *Applied Surface Science*. 2010. Vol. 256. No. 17. P. 5486–5491.
4. Chernykh N.A., Baeva Yu.I. Heavy metals and human health // *Vestnik RUDN University. Ser. Ecology and life safety [Vestnik RUDN. Seriya Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nost]*. 2004. Vol. 10. No. 1. P. 125–134. [In Russ.].
5. Bruno Lellis, Cintia Zani, Favaro-Polonio, Joao Alencar Pamphile, Julio Cesar Polonio. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms // *Biotechnology Research and Innovation*. 2019. Vol. 3. No. 2. P. 275–290.
6. Venkata Ramana K., Solomon Raju A.J. Traditional and commercial uses of *Litsea glutinosa* (Lour.) C.B. Robinson (Lauraceae) // *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2017. Vol. 5. No. 3. P. 89–91.
7. GOST 6965-75. Dyes are organic. Spectrophotometric test method. M., 1998. 6 p. [In Russ.].
8. PND F 14.1:2.46-96. Quantitative chemical analysis of waters. Method for measuring the mass concentration of nickel in natural and waste waters by the photometric method with dimethylglyoxime. M: Edition, 2013. 17 p. [In Russ.].
9. GOST 31859-2012. Water. Method for determining the chemical oxygen demand - Introduction. 2014.01.01. M.: Standartinform, 2014. 7 p. [In Russ.].
10. Textbook for the general course «Environmental Monitoring». Kazan: KGU, 2007. 144 p. [In Russ.].
11. Gyunter L. I., Kazarovets N. M. Method for determining dehydrogenase activity and redox potential during technological control over the operation of aerotanks. M.: ONTI AKH named by K.D. Pamfilov, 1970. 16 p. [In Russ.].
12. My Uyen Dao, Hoang Sinh Le, Hien Y Hoang, Vy Anh Tran, Van Dat Doan, Thi Thanh Nhi Le, Alexander Sirotkin, Van Thuan Le. Natural core-shell structure activated carbon beads derived from *Litsea glutinosa* seeds for removal of methylene blue: Facile preparation, characterization, and adsorption properties // *Environmental Research*. 2021. Vol. 198. P. 110481.
13. Skugoreva S.G., Ashihmina T.Ya., Fokina A.I., Lyalina E.I. Chemical groups of toxic effect of heavy metals (review) // *Theoretical and Applied Ecology [Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya]*. 2016. Vol. 1. P. 4–13. [In Russ.].
14. Alexander S. Sirotkin, Larisa Yu. Koshkina, Konstantin G. Ippolitov. The BAC-process for treatment of waste water containing non-ionogenic synthetic surfactants // *Water Research*. 2001. Vol. 35. No.13. P. 3265–3271.
15. Gudkov A.G. Biological treatment of urban wastewater: Textbook. Vologda: VoGTU, 2002. 127 p. [In Russ.].
16. Verigina E.L., Grachev V.A., Selivanov A.V. The study of the respiratory activity of silts of various technological processes of biological treatment // *Izvestiya MSTU «MAMI» [Izvestiya MGTU «MAMI»]*. 2014. Vol. 3. No. 2. P. 68–76. [In Russ.].
17. Khalilova A.A., Yakovleva A.V., Sirotkin A.S. Comparative assessment of the toxicity of wastewater containing chromium and nickel ions using various biotest objects // *Bulletin of the Technological University [Vestnik tekhnologicheskogo universiteta]*. 2010. Vol. 10. P. 392–401. [In Russ.].

**Оформление подписки на журнал «Вестник Научного центра  
ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности»  
осуществляется через Агентство подписки «Урал-Пресс Кузбасс»**

**Подписной индекс 80814**