
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В.А. Матвеевич, Г.Г. Дука, М.В. Гонца, В.Ф. Ямбарцев, Л.В. Мокану

УДАЛЕНИЕ ПРЯМЫХ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОД КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ

*Государственный университет Молдовы,
ул. А. Матеевича, 60, г. Кишинев, МД -2009, Республика Молдова, vmatveevici@yahoo.com*

Введение

Выброс текстильными предприятиями сточных вод, недостаточно очищенных и имеющих низкий биологический индекс (БПК/ХПК < 0,3), в открытые водоемы недопустим, поскольку они являются токсичными для водных живых организмов.

Для удаления текстильных красителей из сточных вод исследователи применяют различные методы: нейтрализацию и коагуляцию [1–2], электрохимическое окисление [3–5], каталитическое окисление с помощью перекиси водорода [6–9], озона или хлора [10–12].

Методы коагуляции являются эффективными в случае удаления текстильных красителей из концентрированных растворов или сточных вод, в которых концентрация красителей доходит до 150–250 мг/л и более, а значение химического потребления кислорода (ХПК) – до 8000–10000 мгО₂/л. Эти методы приводят к эффективному обесцвечиванию красителей (эффект обесцвечивания 90–97%), однако степень превращения и минерализации в результате окисления молекул красителя достаточно низкая (57–62%). При применении алюминиевого коагулянта практически все молекулы красителя исчезают в результате нейтрализации и коагуляции с помощью положительных коллоидных частичек гидроксида алюминия, которые в дальнейшем удаляются в форме осадка при отстаивании. Однако эти методы приводят к образованию и накоплению больших количеств осадка, требующего дальнейшей переработки. Следовательно, с одной стороны, применение только методов коагуляции для удаления красителей из сточных вод приводит к повышению стоимости процесса, поскольку тратится большое количество химических реагентов, с другой – образуется большое количество осадков, которые необходимо перерабатывать и обеззараживать. Применение только окислительных методов не решает вопрос окончательной очистки сточных вод, поскольку с их помощью молекулы красителей окисляются до более простых органических веществ, удаляемых в дальнейшем с помощью активированного угля [13], они могут использоваться только для малозагрязненных сточных вод. Эти методы достаточно дороги, поскольку концентрация красителей в сточных водах высокая и очень быстро утрачивается адсорбционная способность активированных углей, а их регенерация является еще нерешенным вопросом.

В связи с этим необходимо сначала провести обесцвечивание и удаление с помощью коагулянтов алюминия молекул красителей, а потом уже осуществлять процесс окисления для их окончательной деструкции. Кроме того, необходимо на предварительной стадии очистки применять электрокоагуляционные методы с использованием электрогенерированного алюминия, так как известно [14], что этот коагулянт более активный по сравнению с полученным в результате гидролиза соответствующих солей алюминия. В результате электрохимической обработки часть молекул красителя обесцвечивается, а часть молекул окисляется до более простых веществ [15].

С этой целью в работе был исследован процесс удаления прямых текстильных красителей из модельных растворов при их последовательной электрохимической и каталитической окислительной обработке, а также зависимость степени очистки воды от количества электрогенерированного коагулянта, начальной концентрации и природы красителей, расхода окислителя (H₂O₂) и длительности процесса.

Экспериментальная часть

Электрохимические исследования проводили на модельных растворах, приготовленных из

прямых красителей, прямой чистоголубой (ПЧГ) и прямой коричневой (ПК) с добавлением сульфата натрия для поддержания электропроводности [16].

Концентрацию красителей варьировали в пределах 50–200 мг/л, поскольку такие концентрации встречаются в реальных сточных водах текстильных предприятий. Модельные растворы обрабатывали в электрохимической ячейке с растворимыми электродами из алюминия. Площадь рабочих электродов – 8 дм², расстояние между электродами – 4–5 мм, плотность анодного тока – 0,5 А/дм². Количество пропущенного электричества находили расчетным путем в зависимости от требуемой дозы гидроксида алюминия. После электрокоагуляции значение рН каждой пробы изменяли с помощью раствора соляной кислоты или гидроксида натрия до величины 5,0–5,1, отстаивали в течение двух часов, твердую фазу отделяли путем декантации, пробы фильтровали и в растворе определяли остаточную концентрацию красителя на спектрофотометре СФ-46 путем измерения оптической плотности при соответствующей длине волны (для красителя ПЧГ – 590 нм, а для красителя ПК – 490 нм).

Каталитическое окисление молекул красителя осуществляли следующим образом: к 500 мл модельного раствора добавляли разные объемы раствора перекиси водорода для получения концентрации в пределах $3 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л и определенный объем раствора сульфата железа (II), чтобы концентрация ионов железа (II) была в пределах $1 \cdot 10^{-4}$ до $7 \cdot 10^{-4}$ моль/л. С помощью серной кислоты доводили значение рН раствора до 2,0–2,5. Растворы постоянно перемешивали на магнитной мешалке в течение 5, 10, 20, 40 и 60 минут. После окисления молекул красителей пробы анализировали на остаточную концентрацию красителей и образовавшиеся промежуточные продукты окисления при использовании величины „химического потребления кислорода” (ХПК), которую определяли по методике [17]. На основании полученных экспериментальных данных рассчитывали эффект удаления красителей (ЭУК) и степень минерализации красителей (СМК) по формулам:

$$\text{Эффект удаления (\%)} = (C_0 - C_{\text{ост}}) \cdot 100 / C_0$$

$$\text{Степень минерализации (\%)} = (XPK_0 - XPK_{\text{ост}}) \cdot 100 / XPK_0,$$

где C_0 – начальная концентрация красителей в модельном растворе, мг/л; $C_{\text{ост}}$ – остаточная концентрация красителей в очищенных растворах, мг/л; XPK_0 – химическое потребление кислорода в начальном модельном растворе, мгО₂/л; $XPK_{\text{ост}}$ – остаточное значение химического потребления кислорода в окисленных растворах, мгО₂/л.

Результаты и их обсуждение

Обесцвечивание модельных растворов происходит в результате нейтрализации и коагуляции ассоциированных молекул красителей, которые образуются за счет водородных связей между молекулами красителей [18] и постепенно осаждаются при увеличении их размеров в результате электрокоагуляции. После осаждения образовавшихся хлопьев остаточная концентрация красителей уменьшается при постепенном увеличении количества электрогенерированного коагулянта. Эта закономерность наблюдается и при увеличении начальной концентрации красителей (табл. 1).

Однако, как следует из экспериментальных данных, с увеличением начальной концентрации прямых красителей увеличивается и количество электрогенерированного коагулянта, необходимого для удаления красителей до их обесцвечивания. С другой стороны, с увеличением начальной концентрации красителей происходит уменьшение удельных расходов электрогенерированного коагулянта для удаления 1 мг красителя – процесс удаления и очистки становится более эффективным. Эта закономерность наблюдается для обоих красителей, прямого чистоголубого и прямого коричневого. Уменьшение удельного расхода электрогенерированного коагулянта объясняется тем, что при увеличении начальной концентрации прямых красителей наблюдается образование больших ассоциатов в результате возникновения водородных связей между молекулами красителей. Как следствие, уменьшается поверхностный заряд частичек и требуется меньшее количество гидроксида алюминия для их нейтрализации и коагуляции. Поэтому более экономично добавить сначала такое количество электрогенерированного коагулянта, чтобы остаточная концентрация красителей стала равной 18–20 мг/л. В этом случае количество израсходованного коагулянта и полученного осадка уменьшается в 2 раза.

Для дальнейшего уменьшения концентрации прямых красителей до норм, предусмотренных для сброса очищенных вод в открытые водоемы, предлагается использовать каталитический метод окисления с применением перекиси водорода. В этом случае происходит разрушение молекул краси-

телей до углекислого газа и воды, то есть они превращают их в безвредные неорганические вещества.

В связи с этим был исследован процесс удаления красителей из растворов путем их каталитического окисления с применением перекиси водорода в присутствии ионов железа (II). Полученные результаты представлены в табл. 2–4.

Таблица 1. Зависимость эффекта удаления прямых красителей ПЧГ и ПК от количества электрогенерируемого коагулянта и начальной концентрации красителей. $pH=5,0-5,1$. $I=4,0$ А

N п/п	$C_{Al^{3+}}$, мг/л	Краситель ПЧГ			Краситель ПК		
		$C_{ост}$, мг/л	ЭУК, %	$m(Al^{3+})/m_{кр-}$	$C_{ост}$, мг/л	ЭУК, %	$m(Al^{3+})/m_{кр-}$
$C_0 = 50$ мг/л							
1	4,32	1,55	97,0	0,09	2,10	96,6	0,09
2	5,40	1,25	97,5	0,11	1,38	97,4	0,11
3	6,48	1,05	97,9	0,13	0,60	98,9	0,13
4	7,56	0,55	98,8	0,15	0,40	99,2	0,15
$C_0 = 100$ мг/л							
1	4,32	31,42	68,6	0,06	35,60	64,4	0,07
2	5,40	29,57	70,4	0,08	30,10	69,1	0,08
3	6,48	15,56	84,4	0,08	14,50	85,5	0,07
4	7,56	6,15	93,8	0,08	6,10	93,9	0,08
5	8,64	5,25	94,7	0,09	5,20	94,8	0,09
6	9,72	1,30	98,7	0,10	1,35	98,6	0,10
7	10,80	0,55	99,4	0,11	0,55	99,4	0,11
$C_0 = 200$ мг/л							
1	4,32	92,30	53,8	0,04	94,20	52,9	0,04
2	5,40	84,70	57,6	0,05	86,10	56,9	0,05
3	6,48	42,60	78,7	0,04	43,20	78,4	0,04
4	7,56	18,47	90,8	0,04	19,05	90,5	0,04
5	8,64	7,68	96,2	0,04	8,10	95,9	0,04
6	9,72	6,18	96,9	0,05	7,20	96,4	0,05
7	10,80	3,72	98,1	0,05	3,91	98,0	0,05
8	12,96	2,75	98,6	0,06	2,75	98,6	0,06
9	15,12	1,15	99,4	0,08	1,20	99,4	0,08

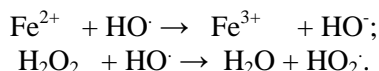
Как видно из табл. 2, с увеличением времени окисления (без кипячения растворов) для всех концентраций ионов железа (II) происходит увеличение степени минерализации молекул красителей. При этом максимальная степень минерализации (78,5 % для ПК и 82,2% для ПЧГ) достигается при оптимальной концентрации ионов железа, равной $3 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Увеличение температуры реакции (при кипячении проб в течение 10 минут) приводит к увеличению степени минерализации для обоих красителей. Максимальная степень минерализации доходит до 98,49% для красителя ПЧГ и до 96,43% для красителя ПК при тех же концентрациях ионов железа (II). Значение максимальной степени минерализации при $t=100^{\circ}C$ указывает на возможное максимальное окисление молекул красителей, и эта величина отличается от значения степени минерализации, полученной после окисления молекул при перемешивании красителей в течение 5, 10, 20, 40 и 60 минут при $t=20^{\circ}C$. Разница в значении степени минерализации красителей ПЧГ и ПК говорит о разной стабильности указанных красителей по отношению к окислителям. Более стабильный краситель ПК окисляется более трудно, а значение степени его минерализации отличается от таковой для ПЧГ только на 1,0–1,5%.

В дальнейшем был исследован процесс каталитического окисления прямых красителей в зависимости от концентрации перекиси водорода. Как следует из данных табл. 3, увеличение концентрации перекиси водорода до $3 \cdot 10^{-3}$ моль/л включительно приводит к росту степени минерализации, а потом эта величина для обоих красителей уменьшается.

Как и в случае использования ионов железа (II), степень минерализации раствора красителей при $20^{\circ}C$ постепенно увеличивается с длительностью окисления при всех концентрациях перекиси

водорода. Максимальная СМК достигается при концентрациях H_2O_2 $2 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}$ моль/л и составляет (при длительности окисления 40 минут) 78,6–78,7%.

Уменьшение степени минерализации красителей с увеличением концентрации перекиси водорода можно объяснить тем, что в этих условиях в модельном растворе появляется избыток перекиси водорода, в результате чего часть образующихся гидроксильных радикалов расходуется в соответствии с реакциями:



Следовательно, при повышении концентрации перекиси водорода степень минерализации красителей уменьшается, так как уменьшается и концентрация активных гидроксильных радикалов. Применяя оптимальную концентрацию перекиси водорода и ионов железа, можно уменьшить концентрацию прямых красителей путем их окисления с помощью перекиси водорода до норм предельно допустимых концентраций (ПДК) по величине ХПК_{ост} при их начальной концентрации до 50 мг/л.

Таблица 2. Зависимость степени минерализации прямых красителей ПЧГ и ПК от времени каталитического окисления при разных концентрациях ионов железа (II). $pH=2,5$, $[H_2O_2]_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ моль/л

№ п/п	t, min	Краситель ПЧГ (ХПК ₀ =41 мгО ₂ /л)				Краситель ПК (ХПК ₀ = 35 мгО ₂ /л)			
		Без кипячения		При кипячении 10 мин		Без кипячения		При кипячении 10 мин	
		ХПК _{ост} , мг О ₂ /л	СМК, %	ХПК _{ост} , мг О ₂ /л	СМК, %	ХПК _{ост} , мг О ₂ /л	СМК, %	ХПК _{ост} , мг О ₂ /л	СМК, %
[Fe²⁺]=1•10⁻⁴ М									
1	5	20,62	49,7	1,25	96,4	13,75	60,7	3,12	91,1
2	10	13,12	68,0	1,25	96,4	12,50	64,3	2,50	92,9
3	20	12,55	69,5	0,62	98,5	11,25	67,9	1,87	94,7
4	40	6,87	82,2	0,62	98,5	10,00	71,4	1,87	94,7
5	60	6,85	83,3	0,62	98,5	9,98	71,5	1,87	94,7
[Fe²⁺]=3•10⁻⁴ М									
1	5	13,37	68,0	1,25	96,4	10,62	69,7	1,25	96,4
2	10	12,50	69,5	1,25	96,4	9,37	73,2	1,25	96,4
3	20	10,78	73,7	0,62	98,5	8,75	75,0	1,25	96,4
4	40	6,87	82,2	0,62	98,5	7,50	78,6	1,25	96,4
5	60	6,80	83,4	0,62	98,5	7,35	79,0	1,25	96,4
[Fe²⁺]=5•10⁻⁴ М									
1	5	12,50	69,5	0,62	98,5	17,50	50,0	8,75	75,0
2	10	11,25	72,6	0,62	98,5	16,25	53,5	8,75	75,0
3	20	10,0	75,5	0,62	98,5	15,62	55,4	8,75	75,0
4	40	8,75	78,7	0,62	98,5	15,00	57,1	1,25	96,4
5	60	8,90	78,3	0,62	98,5	14,50	58,6	1,25	96,4
[Fe²⁺]=7•10⁻⁴ М									
1	5	13,75	68,0	0,62	98,5	16,25	53,6	10,00	71,4
2	10	12,50	69,5	0,62	98,5	15,00	57,1	9,37	73,2
3	20	10,78	73,7	0,62	98,5	13,75	60,7	9,37	73,2
4	40	10,00	75,6	0,62	98,5	12,50	64,3	9,37	73,2
5	60	9,95	75,7	0,62	98,5	12,50	64,3	9,37	73,2

В связи с этим был исследован процесс удаления и минерализации прямых красителей в зависимости от их начальной концентрации (табл. 4). Видно, что при увеличении начальной концентрации прямых красителей незначительно уменьшается степень их минерализации и остаточное значение ХПК превышает значения, предусмотренные для сброса вод в открытые водоемы (до ПДК). Кроме того, окисление красителя прямого коричневого (с увеличением начальной его концентрации) происходит неэффективно и остаются большие остаточные концентрации в растворах.

Таким образом, полученные результаты показывают, что при оптимальных параметрах каталитического окисления можно уменьшить концентрацию прямых красителей из модельных растворов и сточных вод до ПДК только при их начальной концентрации до 50 мг/л.

Более концентрированные растворы и сточные воды можно очистить от прямых красителей до ПДК только комбинированием методов электрокоагуляции и каталитического окисления перекисью водорода.

Таблица 3. Зависимость степени минерализации прямых красителей от времени окисления и концентрации перекиси водорода. $pH=2,5$; $[Fe^{2+}]_0=3 \cdot 10^{-4}$ моль/л

№ п/п	T, мин	Краситель ПЧГ, $XPK_{ост.}=41$ мгО ₂ /л				Краситель ПК, $XPK_{ост.}=35$ мгО ₂ /л			
		Без кипячения		При кипячении		Без кипячения		При кипячении	
		$XPK_{ост.}$, мгО ₂ /л	СМК, %	$XPK_{ост.}$, мгО ₂ /л	СМК, %	$XPK_{ост.}$, мгО ₂ /л	СМК, %	$XPK_{ост.}$, мгО ₂ /л	СМК, %
$[H_2O_2]_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ моль/л									
1	5	10,62	74,1	4,37	89,3	14,37	58,9	7,50	78,5
2	10	10,00	75,6	4,37	89,3	14,37	58,9	6,87	80,4
3	20	10,00	75,6	4,37	89,3	12,50	64,3	7,50	78,6
4	40	8,75	78,7	4,37	89,3	11,87	66,1	7,50	78,6
$[H_2O_2]_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ моль/л									
1	5	12,50	69,5	0,62	98,5	10,62	69,7	1,25	96,4
2	10	11,25	72,6	0,62	98,5	9,87	73,2	1,25	96,4
3	20	10,00	75,6	0,62	98,5	8,75	75,0	1,25	96,4
4	40	8,75	78,7	0,62	98,5	7,50	78,6	1,25	96,4
$[H_2O_2]_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л									
1	5	16,87	58,8	0,62	98,6	23,12	33,9	5,00	85,7
2	10	15,00	63,4	0,62	98,5	21,25	39,1	5,00	85,7
3	20	13,12	68,0	0,62	98,5	20,00	42,9	5,00	85,7
4	40	10,00	75,6	0,62	98,5	18,75	46,4	5,00	85,7
$[H_2O_2]_0 = 7 \cdot 10^{-3}$ моль/л									
1	5	24,37	40,6	6,25	84,6	24,2	29,7	5,00	85,7
2	10	22,50	45,1	6,25	84,6	21,70	38,0	5,00	85,7
3	20	20,62	49,7	6,25	84,6	21,1	39,7	5,00	85,7
4	40	18,75	54,3	6,25	84,6	19,2	45,1	5,00	85,7

Таблица 4. Зависимость степени минерализации прямых красителей от времени окисления и их начальной концентрации. $[Fe^{2+}]_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $pH=2,5$

№ п/п	T, мин	Краситель ПЧГ				Краситель ПК			
		Без кипячения		При кипячении		Без кипячения		При кипячении	
		$XPK_{ост.}$, мгО ₂ /л	СМК, %	$XPK_{ост.}$, мгО ₂ /л	СМК, %	$XPK_{ост.}$, мгО ₂ /л	СМК, %	$XPK_{ост.}$, мгО ₂ /л	СМК, %
$C_0 = 50$ мг/л									
1	5	8,75	78,7	0,625	98,5	10,62	69,7	1,25	96,4
2	10	7,50	81,7	0,625	98,5	9,87	73,2	1,25	96,4
3	20	5,00	87,8	0,625	98,5	8,75	75,0	1,25	96,4
4	40	4,75	88,4	0,625	98,5	7,50	78,6	1,25	96,4
$C_0 = 100$ мг/л									
1	5	31,25	56,9	5,00	93,1	80,00	0,0	52,50	34,4
2	10	25,00	65,5	5,00	93,1	80,00	0,0	47,50	40,6
3	20	14,375	80,3	5,00	93,1	72,50	9,4	42,50	46,9
4	40	13,75	81,0	4,37	94,0	45,00	43,7	37,50	53,1
$C_0 = 150$ мг/л									
1	5	35,00	65,8	4,37	95,7	105,00	0,0	75,00	28,6
2	10	28,125	72,6	4,37	95,7	105,00	0,0	75,00	28,6
3	20	23,75	76,8	4,37	95,7	105,00	0,0	70,00	33,3
4	40	19,375	81,1	4,37	95,7	105,00	0,0	67,50	35,7

Выводы

1. Установлено, что эффект удаления прямых красителей из модельных растворов с помощью электрогенерированных коагулянтов зависит от их начальной концентрации. С повышением концентрации красителей от 50 до 200 мг/л происходит уменьшение удельных расходов коагулянта. Поэтому более экономично удалять указанные красители с помощью электрогенерированного коагулянта до остаточных концентраций, равных 18,0–20,0 мг/л.

2. Удаление прямых красителей с помощью электрогенерированного коагулянта более эффективно и экономно осуществлять из более концентрированных модельных растворов и текстильных сточных вод (начальная концентрация красителей – более 200 мг/л).

3. При применении каталитического окисления можно удалять прямые красители из менее концентрированных растворов (концентрация прямых красителей не должна быть более 50 мг/л).

4. Установлено, что с увеличением времени каталитического окисления от 5 до 60 минут увеличивается степень минерализации для обоих красителей, которая зависит в свою очередь и от концентрации ионов железа (II).

5. С увеличением концентрации ионов железа степень минерализации сначала растёт, проходит через максимум при концентрации ионов $(\text{Fe}^{2+}) = 3 \cdot 10^{-4}$ моль/л, а затем уменьшается.

6. Установлено, что в результате комбинирования метода электрокоагуляции и каталитического окисления перекисью водорода прямых красителей можно очистить модельные растворы и текстильные сточные воды, содержащие более 200 мг/л и более указанных красителей. При этом достигается 97–98% степень очистки и минерализации, а количество затраченного электрогенерированного коагулянта и полученного осадка уменьшается в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Klimiuk E., Kowska U.F., Libecki B. Coagulation of wastewater containing reactive dyes with the use of polyaluminium chloride (PAC) // Polish. Journal of Environmental Studies. 1999. 8. Nr.2. P. 81–88.
2. Vigneswaran S., Chaudhary D.S., Ngo H.H., Shim W.G., Moon H. Application of a PAC- membrane hybrid system for removal of organics from secondary sewage effluent. // Experiments and modelling separ. sci and technol. 2003. 38. Nr.10. P. 2183–2199.
3. Kobotaeva N.S., Sirotkina E.E., Mikubaeva E.V. Electrochemical Oxidation of Tritane Dyes // Russian Journal of Electrochemistry. 2006. 42. Nr.3. P. 268–272.
4. Lechem E.N., Pines D.S., Ergas S.J., Reckhow D.A. Electrochemical oxidation and ozonation for textile wastewater reuse.// Journal of environmental engineering. 2006. 32. Nr.3. P. 324–330.
5. Dogan Dogan and Haluk Turkdemir. Electrochemical oxidation of textile dye indigo // J. Chem. Tehnol. Biotechnol. 2005. 80. P. 916–923.
6. Stanislaw L., Monika S., Renata Z. Biodegradation, decolourisation and detoxication of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes // Journal of Biotechnology. 2001. 89. P. 175–184.
7. Galindo C., Kult A. UV –H₂O₂ oxadation of monoazo dyes in aqueous media: a kinetic study // Dyes and Pigments. 1998. 40. P. 27–35.
8. Nilsun H.J. „Critica” effect of hidrogen peroxide in photochemical dye degradation // Water Research. 1999. 33. P. 1080–1084.
9. Arslan I.A., Isil A.B. Advanced oxidation of raw and biotreated textile industry wastewater with O₃, H₂O₂/ UV-C and their sequential application // J. Chemical Technology and Biotechnology. 2001. 76. P. 53–60.
10. Arslan I.A., Isil A.B. The effect of pre-ozonation on the H₂O₂/ UV-C treatment of raw and biologically pre-treated textile industry wastewater // Water Seience and Technology. 2002. 45. P. 297–304.
11. Arslan I., Buhkanen I.A. Advansed oxidation of synthetic dyehouse effluens by O₃, H₂O₂/O₃ and H₂O₂/UV processes. Enveronmental Technology. 1999. 20. P. 921–931.
12. Tanja K., Alenka M.L.M., Darinko B.V. Comparison of H₂O₂/ UV, H₂O₂/O₃ and H₂O₂/Fe²⁺ processes for the decolorisation of vinylsulphone reactiv dyes // Dyes and Pigments. 2003. 58. P. 245–252.
13. Lupaşcu Tudor. Cărbuni activi din materii prime vegetale. Chişinău. Ştiinţa. 2004. 223 p.
14. Donini J.C., Angle C.W., Kasperski K.I., Preston C.K., Kar K.L., Hassan T.A., Thind S.S. The effect of different parameters on the optimisation of electrocoagulation // Waste Process. Recycl. Min.Metall.Ind.Symp. 1992. P. 119–124.
15. Lin Sheng H., Lai Chang L. Catalytic oxidation of dye wastewater by metal oxide catalyst and granular activated carbon // Environ.Int. 1999. 25. N 4. P. 497–504.

16. *Duca G., Matveevici V., Gonța M., Coptu O.* Înlăturarea coloranților direcți din apele reziduale textile prin metode electrochimice // *Studia Universitates. Științe ale naturii.* 2007. Nr.1. P. 256–261.
17. *Лурье Л.М.* Химия. Унифицированные методы анализа вод. 1968.
18. *Когановский А.М., Лунашку Ф.Т., Клименко Н.А., Ропот В.М.* Исследование ассоциации прямых красителей в разбавленных растворах электролитов // *Коллоид. журн.* 1979. 41. N 1. С. 134–137.

*Поступила 07.04.09
После переработки 22.05.09*

Summary

The process of removal of textile coloring agents from model solutions by means of consecutive electrochemical and catalytic oxidative treatment in the presence of hydrogen peroxide, and its dependence of the amount of electrochemical coagulant, initial concentration and properties of the coloring agent as well as the iron ions (II) content was discussed in current paper. The obtained results prove that removal of direct colorants through electrical generation of coagulants is more effective and economically sound when carried out from more concentrated model solutions of textile residual waters (the initial concentration should be between 150–200 mg/l.) The application of catalytic oxidation procedure can be applied in case of removal of direct colorants of less concentrated solutions (the amount of colorants should not exceed 50 mg/l). From the acquired results was identified that combined methods of electrochemical removal and catalytic oxidation by hydrogen peroxide of direct colorants assure their effective removal from model solutions of residual waters containing up to 200 mg/l of mentioned colorants. The mineralization and residues content was reduced by 97–98%, while the consumption of coagulant was lower by a factor of two in comparison with conventional methods of treatment.
