



IV ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 628.316.13: 57.036

© М. Ю. Бабкин, О. В. Захаров, А. А. Агеева, Д. В. Филиппов, 2024

М.Ю. БАБКИН

аспирант

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново

e-mail: babkin@ekopromtekhn.ru

Д.В. ФИЛИППОВ

канд. хим. наук,

доцент кафедры

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново

e-mail: filippov@isuct.ru

О.В. ЗАХАРОВ

заместитель генерального директора

ООО «Технолайн», г. Москва

e-mail: zakharov@ekopromtekhn.ru.

А.А. АГЕЕВА

магистрант

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново

e-mail: ageevanasty2@yandex.ru.

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ОСАЖДЕНИЯ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОАГУЛЯНТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

На примере модельных растворов азокрасителей с применением полимерных коагулянтов, полученных на основе дициандиамида формальдегидной смолы, а также полиоксихлорида алюминия исследована кинетика их обесцвечивания и осаждения. Установлено, что процесс осаждения лучше всего описывается в рамках кинетических уравнений для реакции первого порядка. Определены основные кинетические параметры: константа скорости, степень обесцвечивания и время осаждения. Значения константы скорости для всех красителей варьируются от 0,17 до $3,66 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, степень обесцвечивания — от 31,5 до 91,5 %, время осаждения — от 108 с до 931 с. Выявлены наиболее подходящие комбинации коагулянта и флокулянта для эффективного осаждения модельных красителей. Показано, что для процессов водоочистки от красителей текстильных производств целесообразнее использовать полимерные коагулянты, полученные на основе дициандиамида формальдегидной смолы.

Ключевые слова: КИНЕТИКА ОСАЖДЕНИЯ, АЗОКРАСИТЕЛИ, ПОЛИМЕРНЫЙ КОАГУЛЯНТ, ДИЦИАНДИАМИД, ФЛОКУЛЯНТ.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время текстильная промышленность является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей индустрии [1–5]. Помимо выработки значительных объемов продукции, она также потребляет значительное количество водных ресурсов, которые в последствие превращаются в высоконагруженные источники энергии, в результате загрязнения сточных вод красителями [6–10]. Красители состоят из сложной молекулярной структуры [11–13] и оказывают канцерогенные и токсическое воздействие на окружающую среду [14–16]. Поэтому на текстильных фабриках существует несколько этапов очистки воды [17–18], одним из которых является процесс совместного осаждения коагулянтом и флокулянтом [19–23]. Реагентная очистка представляет собой наиболее распространенный способ перевод поллютантов из растворов в нерастворимый осадок. Следует отметить, что, несмотря на наличие значительного числа работ, направленных на изучение процессов коагуляции сточных вод под действием различных реагентов, в научной литературе наблюдается недостаток публикаций, раскрывающих особенности и механизмы кинетики осаждения. Таким образом, исследования кинетических закономерностей осаждения загрязнителей в сточных водах текстильных производств являются актуальными, а их результаты будут крайне востребованы при подборе оптимальных условий процессов водоочистки.

Цель настоящего исследования — изучение кинетических особенностей процесса осаждения загрязнителей сточных вод текстильного производства на примере растворов модельных красителей при использовании коагулянтов различной природы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы и оборудование. Выбор красителей обусловлен их применением в реальных технологических процессах крашения тканей, проводимых на текстильных предприятиях «Индустриальный парк Родники» Ивановской области. В работе применяли

коммерческие красители, относящиеся к группе азокрасителей, — NOVACRON Deep Cherry S-D, NOVACRON Navy S-G, NOVACRON Ocean S-R, NOVACRON Ruby S-3B, NOVACRON Yellow EC-RG. Для проведения эксперимента была приготовлена серия растворов красителей с исходной концентрацией 0,02 г/л. Полимерный коагулянт TD-5010 и обесцвечивающий агент CW-01, полученные на основе дициандиамида формальдегидной смолы, использовались неразбавленными, в виде коммерческих продуктов. Коагулянт полиоксихлорид алюминия ТРАС использовался с концентрацией 10 % по основному компоненту. В работе использованы растворы катионных флокулянтов TECHNORAM C-3020 и TECHNORAM C-3023 с концентрацией 0,1 %. Для корректировки рН использовался свежеприготовленный 10 % раствор гидроксида кальция.

Растворы реагентов готовили на дистиллированной воде, перемешивание осуществлялось магнитными мешалками. Время приготовления растворов флокулянтов 40–45 минут, коагулянтов 10–15 минут. Контроль рН осуществлялся рН-метром И-160МИ.

Расчет навески флокулянта и коагулянта проводился по формуле:

$$m = \frac{M_{p-ра} \cdot C_{p-ра}}{C} \quad (1)$$

где m — масса навески товарного продукта, г, $M_{p-ра}$ — масса раствора с заданной концентрацией основного вещества, г, $C_{p-ра}$ — содержание основного вещества в приготовленном растворе, %, C — концентрация основного вещества в товарном продукте, %.

Расчет степени обесцвечивания вели по формуле:

$$\alpha = 1 - \left(\frac{C_{ост}}{C_{нач}} \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

где $C_{ост}$ — остаточная концентрация после осаждения в конкретный момент времени, г/л; $C_{нач}$ — начальная концентрация до осаждения, г/л.

Концентрации растворов красителей до и в ходе осаждения определялись с помощью спектрофотометра Unicо 2800 в диапазоне длин волн 300 до 1000 нм.

Кинетика осаждения описывалась в рамках существующих кинетических моделей для различных порядков. Расчет эффективных констант скорости осаждения в случае первого порядка процесса вели по формуле:

$$k = \frac{1}{\tau} \cdot \ln \frac{C_0}{C_{\text{ост}}} \quad (3)$$

где τ — время осаждения, с; C_0 — начальная концентрация, г/л; $C_{\text{ост}}$ — остаточная концентрация после осаждения в конкретный момент времени, г/л.

Расчет времени полупревращения вели по соотношению:

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (4)$$

где k — среднее значение констант скоростей осаждения каждого красителя, рассчитанных в разные моменты времени.

В исследовании приводится два вида времени полупревращения: аналитическое $\tau_{1/2a}$, которое рассчитывается формуле (4), а также экспериментальное $\tau_{1/2э}$, которое определялось как время осаждения 50 % массы образующегося осадка.

В случае реакции первого порядка начальную скорость процесса осаждения определяли по кинетическому закону действующих масс:

$$r_0 = C_{\text{нач}} \cdot k \quad (4)$$

где $C_{\text{нач}}$ — начальная концентрация, г/л; k — среднее значение констант скоростей осаждения каждого красителя, рассчитанных в разные моменты времени.

Конечную скорость реакции осаждения определяли по формуле:

$$r_{\text{кон}} = C_{\text{ост}} \cdot k \quad (5)$$

где $C_{\text{ост}}$ — остаточная концентрация после осаждения в конкретный момент времени, г/л; k — среднее значение констант скоростей осаждения каждого красителя, рассчитанных в разные моменты времени.

Исследование кинетики осаждения

В ходе исследования фиксировалось время осаждения для 100 мл раствора красителя, к которому предварительно было добавлено определенное количество коагулянта и флокулянта. Оптимальные дозы реагентов для осаждения различных красителей были подобраны в ходе предварительных тестовых испытаний, результаты приведены в табл. 1.

Осветленная часть раствора условно определялась высотой h_1 , а осажденная часть — высотой h_2 (рис. 1).

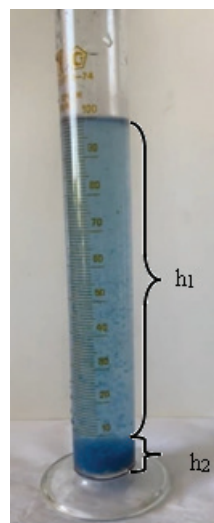


Рис. 1. Определение осветленной и осажденной частей раствора

Таблица 1

Оптимальное количество реагентов

Краситель, 1000 мл	Объем реагента, мл	
	TD-5010 + флокулянт	TPaC+ флокулянт
NOVACRON Deep Cherry S-D	1.1 +4.0	-
NOVACRON Navy S-G	-	0.7+6.0
NOVACRON Ocean S-R	0.9+5.0	-
NOVACRON Ruby S-3B	0.8+5.0	-
NOVACRON Yellow EC-RG	-	0.6+6.0

Время полного осаждения фиксировалось при образовании плотного осадка и наличии в объеме h_1 минимального количества взвешенных частиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 в качестве примера представлена зависимость степени обесцвечивания от времени осаждения красителя NOVACRON Ocean S-R. Для остальных красителей характер полученных кривых аналогичен.

Из рис. 2 следует, что максимальная степень обесцвечивания для раствора NOVACRON Ocean S-R достигается при взаимодействии коагулянта ТРaС с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 80 %, коагулянта TD-5010 с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 88 % и коагулянта TD-5010 с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3023 — 90 % соответственно. С достижением максимальной степени обесцвечивания можно наблюдать выход кривой на плато.

Кроме того, установлено, что максимальная степень обесцвечивания для раствора NOVACRON Deep Cherry S-D достигается при взаимодействии коагулянта TD-5010 с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 73 %, коагулянта ТРaС с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 67 %, коагулянта ТРaС — 60 %, для раствора NOVACRON Navy S-G достигается при взаимодействии коагулянта ТРaС

с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3023 — 87 %, коагулянта TD-5010 с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 83 %, коагулянтом ТРaС с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 82 %, для раствора NOVACRON Ruby S-3B достигается при взаимодействии коагулянта TD-5010 с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 75 %, коагулянта ТРaС с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 72 %, для раствора NOVACRON Yellow EC-RG достигается при взаимодействии коагулянта ТРaС с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3023 — 80 %, коагулянта ТРaС с флокулянтом ТЕСННОРАМ С-3020 — 78 %, коагулянтом TD-5010 — 75 %.

Характер изменения зависимости остаточной концентрации от времени осаждения для всех реагентов аналогичен. Все кривые имеют ярко выраженный начальный участок, отвечающий высоким скоростям обесцвечивания и осаждения, который в дальнейшем выходит на плато (рис. 3).

В ходе работы было установлено, что процесс осаждения лучше всего описывается в рамках кинетических уравнений для реакции первого порядка. Следует отметить, что найденные значения констант скоростей осаждения являются эффективными, их величины, вероятно, должны включать в себя константы диффузионных и сорбционных процессов, протекающих в растворе в ходе осаждения.

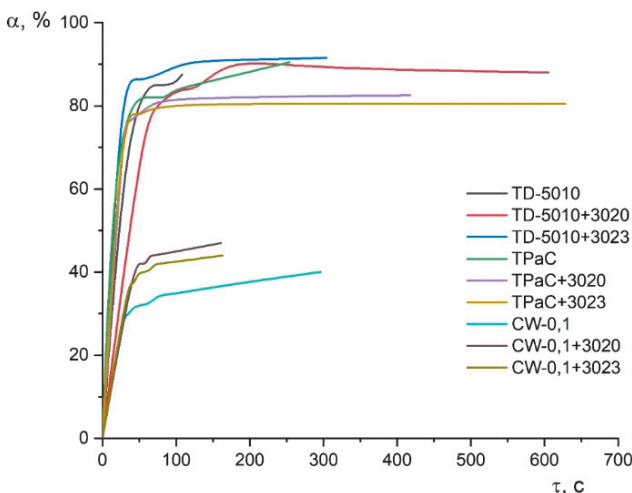


Рис. 2. Зависимость степени обесцвечивания от времени осаждения красителя NOVACRON Ocean S-R

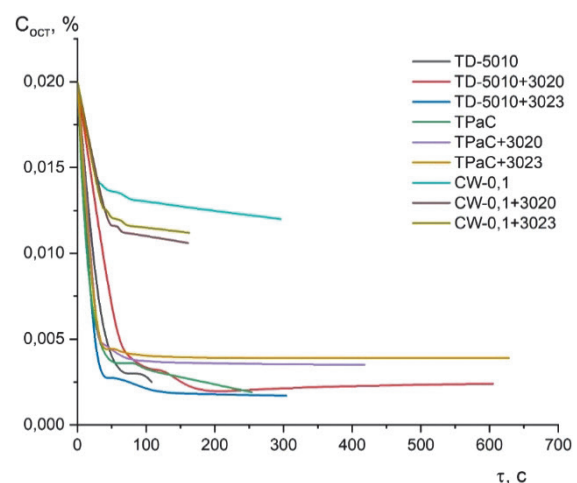


Рис. 3. Зависимость остаточной концентрации от времени осаждения красителя NOVACRON Ocean S-R

Таблица 2

Основные кинетические параметры*

Реагенты	α_{\max}	$C_{\text{ост}} \cdot 10^4$, г/л	$k \cdot 10^2$, с ⁻¹	$\tau_{1/2 \text{ э}}$, с	$\tau_{1/2 \text{ а}}$, с	$r_0 \cdot 10^4$, г/л·с	$r_{\text{кон}} \cdot 10^5$, г/л·с	τ_{\max} , с
NOVACRON Deep Cherry S-D								
TD-5010	75,5	49	1,78	78	39	3,56	8,72	174
TD-5010+C-3020	73,5	53	0,93	137	75	1,86	4,90	737
TD-5010+C-3023	61	78	0,76	95	91	1,50	5,90	164
ТРАС	61,5	77	0,88	97	79	1,76	6,80	453
ТРАС+C-3020	68,5	63	1,60	56	43	3,20	10,10	931
ТРАС+C-3023	63	74	01,61	57	43	3,22	11,90	253
CW-0,1	78	44	1,85	76	37	3,70	8,10	121
CW-0,1+C-3020	24,5	151	0,20	109	347	0,40	3,00	155
CW-0,1+C-3023	49	102	0,77	74	90	1,54	7,90	137
NOVACRON Navy S-G								
TD-5010	78	44	1,53	110	45	3,06	6,70	347
TD-5010+C-3020	75,5	49	0,62	172	112	1,24	3,00	919
TD-5010+C-3023	84	32	1,86	86	37	3,72	6,00	457
ТРАС	83	34	2,33	74	30	4,66	7,90	375
ТРАС+C-3020	86	28	3,66	91	20	7,32	10,20	924
ТРАС+C-3023	87	26	2,90	77	24	5,80	7,50	424
CW-0,1	48	104	0,56	100	124	1,12	5,80	205
CW-0,1+C-3020	48	104	0,78	65	89	1,56	8,10	250
CW-0,1+C-3023	46	108	0,65	74	107	1,30	7,00	254
NOVACRON Ocean S-R								
TD-5010	87,5	25	02,64	88	26	5,28	6,60	108
TD-5010+C-3020	91	750	1,50	127	46	3,00	112,50	605
TD-5010+C-3023	91,5	17	3,25	72	21	6,50	5,50	304
ТРАС	90,5	19	2,84	77	24	5,68	54,00	254
ТРАС+ C-3020	82,5	35	2,86	50	24	5,72	10,00	418
ТРАС+ C-3023	80,5	39	2,46	55	28	4,92	9,60	628
CW-0,1	37	126	0,66	62	105	1,32	8,30	296
CW-0,1+ C-3020	47	106	0,89	53	78	1,78	9,40	161
CW-0,1+ C-3023	44	112	0,91	53	76	1,82	10,20	163
NOVACRON Ruby S-3B								
TD-5010	78	44	1,59	99	44	1,38	7,00	142
TD-5010+C-3020	78,5	43	0,85	133	82	1,70	3,70	514
TD-5010+C-3023	70,5	59	1,09	97	64	2,18	6,40	210
ТРАС	68,5	63	1,34	97	52	2,68	8,40	232
ТРАС+ C-3020	73	54	2,50	53	28	5,00	13,50	193
ТРАС+ C-3023	73	54	0,82	170	85	1,64	4,40	452
CW-0,1	52,5	95	1,13	71	61	2,26	10,70	305
CW-0,1+ C-3020	31,5	137	0,59	51	117	1,18	8,10	110
CW-0,1+ C-3023	49,5	101	0,70	75	99	1,40	7,10	350
NOVACRON Yellow EC-RG								
TD-5010	79,5	41	2,75	86	25	5,50	11,30	255
TD-5010+C-3020	76,5	47	1,11	98	64	2,22	5,20	328
TD-5010+C-3023	61	78	2,15	50	32	4,30	16,80	150
ТРАС	78,5	43	1,65	86	42	3,30	7,10	355
ТРАС+ C-3020	81,5	37	2,71	64	26	5,42	100,00	547
ТРАС+ C-3023	84,5	31	3,81	75	18	7,62	11,80	472
CW-0,1	49	102	0,17	214	408	0,34	1,70	324
CW-0,1+ C-3020	43	114	0,61	107	114	1,22	7,00	130
CW-0,1+ C-3023	39	122	0,33	85	210	0,66	4,00	202

* Погрешности величин в таблице не указаны, они не превышают 5–7 %.

Кинетические кривые для всех красителей имеют аналогичный характер.

Основные кинетические параметры представлены в табл. 2.

Очевидно, что чем выше константа скорости, тем интенсивнее будет протекать процесс. Рассчитанные величины констант скоростей осаждения позволяют осуществить подбор предпочтительных растворов для наиболее быстрого обесцвечивания и осаждения красителя. Однако следует отметить, что при использовании обесцвечивающего агента и коагулянтов без добавления флокулянта плотность, получающегося осадка низкая. Поэтому целесообразно применять данные реагенты в сочетании с флокулянтами. В соответствии с вышесказанным, для красителя NOVACRON Deep Cherry S-D наибольшая константа скорости осаждения наблюдается для коагулянта ТРaС в сочетании с TECHNOPAM C-3023, для NOVACRON Navy S-G — коагулянт ТРaС и флокулянта TECHNOPAM C-3020, для NOVACRON Ocean S-R — с раствором коагулянта TD-5010 и флокулянта TECHNOPAM C-3023, для NOVACRON Ruby S-3B — с раствором коагулянта ТРaС и флокулянта TECHNOPAM C-3020, для NOVACRON Yellow EC-RG — с раствором коагулянта ТРaС и флокулянта TECHNOPAM C-3023.

Максимальное время осаждения τ_{\max} отвечает полному осаждению красителя. Для NOVACRON Deep Cherry S-D полное время осаждения $\tau_{\max}=121$ с при воздействии на него обесцвечивающим агентом CW-0,1. Для NOVACRON Navy S-G полное время осаждения $\tau_{\max}=205$ с при воздействии на него обесцвечивающим агентом CW-0,1. Для NOVACRON Ocean S-R полное время осаждения $\tau_{\max} = 108$ с при воздействии на него коагулянтом TD-5010. Для NOVACRON Ruby S-3B полное время осаждения $\tau_{\max} = 110$ с при воздействии на него раствором обесцвечивающего агента CW-0,1 и флокулянта TECHNOPAM C-3020. Для NOVACRON Yellow EC-RG полное время осаждения $\tau_{\max} = 130$ с при воздействии на него раствором обесцвечивающего агента CW-0,1 и флокулянта TECHNOPAM C-3020.

Максимальная степень обесцвечивания для красителя NOVACRON Deep Cherry S-D достигается при применении коагулянта TD-5010 ($\alpha_{\max} = 75,5$), для NOVACRON Navy S-G — комбинацией коагулянта ТРaС и флокулянта TECHNOPAM C-3023 ($\alpha_{\max} = 87$), для NOVACRON Ocean S-R — комбинацией коагулянта TD-5010 и флокулянта TECHNOPAM C-3023 ($\alpha_{\max}=91,5$), для NOVACRON Ruby S-3B — комбинацией коагулянта TD-5010 и флокулянта TECHNOPAM C-3020 ($\alpha_{\max}=78,5$), для NOVACRON Yellow EC-RG — комбинацией коагулянта ТРaС и флокулянта TECHNOPAM C-3023 ($\alpha_{\max}=84,5$).

Полученные результаты свидетельствуют, что полимерные коагулянты позволяют достичь высоких степеней обесцвечивания при относительно низких количествах реагентов с образованием крупных и устойчивых частиц осадка, имеющих высокую скорость осаждения. Классические неорганические коагулянты требуют больших дозировок для достижения аналогичных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована кинетика осаждения модельных красителей, которые используются в технологических процессах текстильных производств. Определены наиболее подходящие комбинации коагулянта и флокулянта для полного осаждения красителей.

Показано, что процесс образования осадка и его осаждение в случае большинства азокрасителей протекает более интенсивно при применении коагулянтов на основе дициандиамида формальдегидной смолы, чем при использовании «классических» неорганических коагулянтов, например полиоксихлорида алюминия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adane T., Adugna A. T., Alemayehu E. Textile industry effluent treatment techniques // *Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 2021. P. 1–14.
2. Samsami S. et al. Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives // *Process safety and environmental protection*. 2020. Vol. 143. P. 138–163.
3. Slama H. B. et al. Diversity of synthetic dyes from textile industries, discharge impacts and treatment methods // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. No. 14. P. 6255.
4. Ahsan A. et al. Wastewater from the textile industry: Review of the technologies for wastewater treatment and reuse // *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2023. Vol. 40. No. 9. P. 2060–2081.
5. Бабкин М. Ю., Филиппов Д. В., Захаров О. В., Гуцин А. А. и др. Разработка метода синтеза полимерного коагулянта на основе дициандиамида // *Известия высших учебных заведений. Серия «химия и химическая технология»*. 2023. № 66. С. 129–134.
6. Babkin M. Yu., Filippov D. V., Zakharov O. V., Gushchin A. A. & etc. The synthesis method development of polymeric coagulant based on dicyandiamide // *ChemChemTech*. 2023. No. 66. P. 129–134.
7. Gerashchenko A. A., Sakharova A. A., Ignatkina D. O. A Modern integrated approach in the technology of wastewater treatment of dye-printed manufactures of a textile enterprise // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 272. No. 2. P. 022188.
8. Samsami S. et al. Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives // *Process safety and environmental protection*. 2020. Vol. 143. P. 138–163.
9. Sivaram N. M., Gopal P. M., Barik D. Toxic waste from textile industries // *Energy from toxic organic waste for heat and power generation*. 2019. P. 43–54.
10. Mukhtarovna A. M. The application of coagulants and adsorbents for textile production waste water purification // *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. 2022. P. 4740–4746.
11. Arulmathi P. et al. Treatment of textile wastewater by coagulation–flocculation process using gossypium herbaceum and polyaniline coagulants // *Clean–Soil, Air, Water*. 2019. Vol. 47. No. 7. P. 1800464.
12. Artifon W. et al. Dye-stuffs from textile industry wastewaters: Trends and gaps in the use of biofloculants // *Process Biochemistry*. 2021. Vol. 111. P. 181–190.
13. Sahu O., Singh N. Significance of bioadsorption process on textile industry wastewater // *The impact and prospects of green chemistry for textile technology*. 2019. P. 367–416.
14. Kishor R. et al. Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. Vol. 9. No. 2. P. 105012.
15. Tkaczyk A., Mitrowska K., Posyniak A. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review // *Science of the total environment*. 2020. Vol. 717. P. 137222.
16. Islam A. et al. Step towards the sustainable toxic dyes' removal and recycling from aqueous solution-A comprehensive review // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 175. P. 105849.
17. Sharma J., Sharma S., Soni V. Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: A review // *Regional Studies in Marine Science*. — 2021. — Vol. 45. — P. 101802.
18. Lobar K., Jurayev O. Promising Methods for Treating Colored Wastewater in Light Industry Enterprises // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2021. Vol. 9. No. 5. P. 763–765.
19. Melese M. Textile Wastewater and Treatment Technologies: A Review // *OMO International Journal of Sciences*. 2020. Vol. 3. No. 1. P. 33–55.
20. Januário E. F. D. et al. Performance of a hybrid coagulation/flocculation process followed by modified microfiltration membranes for the removal of solophenyl blue dye // *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 2021. Vol. 168. P. 108577.

21. Hadadi A. et al. Comparison of four plant-based bio-coagulants performances against alum and ferric chloride in the turbidity improvement of bentonite synthetic water // *Water*. 2022. Vol. 14. No. 20. P. 3324.
22. Pavithra K. G. et al. Removal of colorants from wastewater: A review on sources and treatment strategies // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019. Vol. 75. P. 1–19.
23. Adane T., Adugna A. T., Alemayehu E. Textile industry effluent treatment techniques // *Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 2021. P. 1–14.
24. Núñez J. et al. Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry // *Journal of hazardous materials*. 2019. Vol. 371. P. 705–711.

UDC 628.316.13: 57.036

© M. Yu. Babkin, O. V. Zakharov, A. A. Ageeva, D. V. Filippov, 2024

M. Yu. BABKIN

Post-Graduate Student

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo

e-mail: babkin@ekopromtekh.ru

O.V. ZAKHAROV

Candidate of Chemical Sciences,

Associate Professor

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo

e-mail: filippov@isuct.ru

A.A. AGEEVA

Deputy General Director

Technoline LLC, Moscow

e-mail: zakharov@ekopromtekh.ru.

D.V. FILIPPOV

Master's Student

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo

e-mail: ageevanasty2@yandex.ru.

THE KINETICS FEATURES OF THE POLLUTANTS DEPOSITION IN THE WASTEWATER OF TEXTILE INDUSTRY WHEN USING VARIOUS NATURE COAGULANTS

On the example of model solutions of azo dyes using polymer coagulants obtained on the basis of dicyandiamide formaldehyde resin, as well as aluminum polyoxochloride, the kinetics of their discoloration and precipitation has been studied. It is established that the deposition process is best described in the framework of kinetic equations for a first-order reaction. The main kinetic parameters are determined: the velocity constant, the degree of discoloration and the deposition time. The values of the rate constant for all dyes vary from 0,17 to $3,66 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, the degree of discoloration is from 31,5 to 91,5 %, the deposition time is from 108 s to 931 s. The most suitable combinations of coagulant and flocculant for effective deposition of model dyes have been identified. It is shown that it is more expedient to use polymer coagulants obtained on the basis of dicyandiamide formaldehyde resin for the processes of water purification from dyes of textile industries

Keywords: PRECIPITATION KINETICS, AZO DYES, POLYMER COAGULANT, DICYANDIAMIDE, FLOCCULANT

REFERENCES

1. Adane T., Adugna A. T., Alemayehu E. Textile industry effluent treatment techniques // *Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 2021. P. 1–14.
2. Samsami S. et al. Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives // *Process safety and environmental protection*. 2020. Vol. 143. P. 138–163.
3. Slama H. B. et al. Diversity of synthetic dyes from textile industries, discharge impacts and treatment methods // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. No. 14. P. 6255.
4. Ahsan A. et al. Wastewater from the textile industry: Review of the technologies for wastewater treatment and reuse // *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2023. Vol. 40. No. 9. P. 2060–2081.
5. Babkin M. Yu., Filippov D. V., Zakharov O. V., Gushchin A. A. and others. Development of a method for the synthesis of a polymer coagulant based on dicyandiamide // *News of higher educational institutions. Chemistry and Chemical Technology Series [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya «Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya»]*. 2023. No. 66. P. 129–134. [In Russ.].
6. Babkin M. Yu., Filippov D. V., Zakharov O. V., Gushchin A. A. & etc. The synthesis method development of polymeric coagulant based on dicyandiamide // *ChemChemTech*. 2023. No. 66. P. 129–134.
7. Gerashchenko A. A., Sakharova A. A., Ignatkina D. O. A Modern integrated approach in the technology of wastewater treatment of dye-printed manufactures of a textile enterprise // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 272. No. 2. P. 022188.
8. Samsami S. et al. Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives // *Process safety and environmental protection*. 2020. Vol. 143. P. 138–163.
9. Sivaram N. M., Gopal P. M., Barik D. Toxic waste from textile industries // *Energy from toxic organic waste for heat and power generation*. 2019. P. 43–54.
10. Mukhtarova A. M. The application of coagulants and adsorbents for textile production wastewater purification // *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. 2022. P. 4740–4746.
11. Arulmathi P. et al. Treatment of textile wastewater by coagulation–flocculation process using gossypium herbaceum and polyaniline coagulants // *Clean–Soil, Air, Water*. 2019. Vol. 47. No. 7. P. 1800464.
12. Artifon W. et al. Dyestuffs from textile industry wastewaters: Trends and gaps in the use of bioflocculants // *Process Biochemistry*. 2021. Vol. 111. P. 181–190.
13. Sahu O., Singh N. Significance of bioadsorption process on textile industry wastewater // *The impact and prospects of green chemistry for textile technology*. 2019. P. 367–416.
14. Kishor R. et al. Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. Vol. 9. No. 2. P. 105012.
15. Tkaczyk A., Mitrowska K., Posyniak A. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review // *Science of the total environment*. 2020. Vol. 717. P. 137222.
16. Islam A. et al. Step towards the sustainable toxic dyes' removal and recycling from aqueous solution-A comprehensive review // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 175. P. 105849.
17. Sharma J., Sharma S., Soni V. Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: A review // *Regional Studies in Marine Science*. — 2021. — Vol. 45. — P. 101802.
18. Lobar K., Jurayev O. Promising Methods for Treating Colored Wastewater in Light Industry Enterprises // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2021. Vol. 9. No. 5. P. 763–765.
19. Melese M. Textile Wastewater and Treatment Technologies: A Review // *OMO International Journal of Sciences*. 2020. Vol. 3. No. 1. P. 33–55.

20. Januário E. F. D. et al. Performance of a hybrid coagulation/flocculation process followed by modified microfiltration membranes for the removal of solophenyl blue dye // *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 2021. Vol. 168. P. 108577.

21. Hadadi A. et al. Comparison of four plant-based bio-coagulants performances against alum and ferric chloride in the turbidity improvement of bentonite synthetic water // *Water*. 2022. Vol. 14. No. 20. P. 3324.

22. Pavithra K. G. et al. Removal of colorants from wastewater: A review on sources and treatment strategies // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019. Vol. 75. P. 1–19.

23. Adane T., Adugna A. T., Alemayehu E. Textile industry effluent treatment techniques // *Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 2021. P. 1–14.

24. Núñez J. et al. Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry // *Journal of hazardous materials*. 2019. Vol. 371. P. 705–711.