

Оригинальная статья

УДК 66.067.8.09:66.065.2

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-385-397>

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПУТЕМ ФЛОКУЛЯЦИИ

О. В. Атаманова ^{1✉}, Е. И. Тихомирова ¹, А. С. Романевич ²,
А. С. Глубокая ¹, А. А. Подоксенов ¹

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77

² ООО «Саратовский химический завод акриловых полимеров «АКРИПОЛ»
Россия, 410059, г. Саратов, пл. Советско-Чехословацкой дружбы, ПРОМЗОНА

Поступила в редакцию 14.06.2021 г., после доработки 15.08.2021 г., принята 17.08.2021 г.

Аннотация. К числу наиболее перспективных способов водоочистки стоков предприятий относится флокуляция с использованием полиакриламидов. Целью исследований являлось установление эффективности применения новых видов флокулянтов на основе полиакриламида для очистки производственных сточных вод. Объекты исследования – сточные воды предприятия ООО «Саратовский химический завод акриловых полимеров «АКРИПОЛ», а также флокулянты (водорастворимые полимеры), полученные на основе акриламида, акриловой кислоты и хитозана. Исследованиями установлено, что оптимальная доза неионогенного флокулянта марки Н600 составляет 5 мг/дм³. Исследования эффективности очистки производственных сточных вод проводились на двух образцах слабобактериальных флокулянтов (215-2 и 233-2), синтезированных лабораторным способом, а также на образце неионогенного флокулянта марки Н600. Установлено, что исследованные флокулянты не оказывают существенного влияния на водородный показатель pH и содержание в воде сульфатионов. Наилучшими результатами по показателям химического потребления кислорода, сухого остатка и количества взвешенных веществ обладает флокулянт 233-2 с наибольшим содержанием хитозана; немного худшими показателями – флокулянт 215-2 с наименьшим содержанием хитозана; наихудшими из исследованных флокулянтов показателями обладает неионогенный Н600, не содержащий в своем составе хитозан.

Ключевые слова: сточные воды, очистка, флокулянт, акриламид, хитозан, акриловая кислота

Для цитирования. Атаманова О. В., Тихомирова Е. И., Романевич А. С., Глубокая А. С., Подоксенов А. А. Повышение качества очистки сточных вод путем флокуляции // Поволжский экологический журнал. 2021. № 4. С. 385 – 397. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-385-397>

✉ Для корреспонденции. Кафедра «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

ORCID и e-mail адреса: Атаманова Ольга Викторовна: <https://orcid.org/0000-0002-3220-031X>, O_V_Atamanova@mail.ru; Тихомирова Елена Ивановна: <https://orcid.org/0000-0001-6030-7344>, tichomirova_ei@mail.ru; Романевич Анна Станиславовна: romanevichhhh@mail.ru; Глубокая Александра Сергеевна: aleksag120@gmail.com; Подоксенов Артем Андреевич: hosting-speech@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема недостатка чистой пресной воды на нашей планете за последние десятилетия перешла в разряд одной из самых актуальных проблем современности. Хозяйственная и производственная деятельность людей приводит к потреблению огромного количества воды, загрязняя ее при этом различными токсикантами. Загрязняющие вещества, попадая вместе со сточными водами в окружающую среду, губительно отражаются на состоянии всего живого. Чтобы избежать негативного воздействия токсикантов на живые организмы, необходимо обеспечить качественную очистку сточных вод (Tikhomirova et al., 2019; Politaeva et al., 2018, 2020).

В настоящее время производственные предприятия предусматривают обязательную очистку своих стоков перед сбросом их в городскую канализацию или природный водоем. Несмотря на это довольно часто имеют место факты сброса недоочищенных сточных вод, приводящие к загрязнению природной водной среды (Зибарев и др., 2021; Atamanova et al., 2019, 2020). Решение данной проблемы требует получения новых более эффективных методов очистки производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

В числе наиболее перспективных способов водоочистки признается флокуляция с использованием полиакриламидов, которые обладают такими преимуществами, как качественная очистка водных сред разного состава; возможность применения с минеральными коагулянтами; повышение производительности сооружений водоочистки; минимальные капитальные затраты на реализацию этого метода в производственных условиях (Грязев, Комарова, 2004). Существующие флокулянты, полученные на основе полиакриламида, широко применяются при очистке стоков самого различного состава (Al-Karawi et al., 2011; Lin et al., 2017).

Предприятие ООО «Саратовский химический завод акриловых полимеров «АКРИПОЛ» в настоящее время занимается разработкой и внедрением в производство новых модификаций флокулянтов на основе полиакрилов. На базе данного предприятия подготовлены и синтезированы флокулянты, принятые авторами к исследованиям. В 2019 – 2021 гг. коллективом ученых Научно-образовательного центра «Промышленная экология» СГТУ имени Гагарина Ю. А. совместно с сотрудниками ООО «АКРИПОЛ» проведены лабораторные испытания эффективности очистки производственных сточных вод новыми модификациями флокулянтов, полученными на заводе «АКРИПОЛ».

Целью исследования являлось установление эффективности применения флокулянтов на основе полиакриламида для очистки производственных сточных вод.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись сточные воды предприятия ООО «Саратовский химический завод акриловых полимеров «АКРИПОЛ». Отбор проб воды для исследования выполнялся ежедневно из колодцев предприятия, находящихся около рабочих цехов, согласно ПНД Ф 12.15.1-08 (Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод..., 2008).

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Объектами исследования являлись также флокулянты – водорастворимые полимеры, полученные на основе акриламида, акриловой кислоты и хитозана. В направлении создания такого типа флокулянтов в настоящее время работают ученые многих стран (Fang et al., 2019; Metzler et al., 2015). Новые модификации флокулянтов получены путем прививки на макромолекулы хитозана виниловых и акриловых мономеров, в частности акриламида и акриловой кислоты (Бродский, 2016; Ge et al., 2006; Fang et al., 2018).

Для создания флокулянтов использовались: хитозан (производство ООО «АКРИПОЛ», г. Саратов, партия № 5, ММ = 303 кДа, степень деацетилирования – 61.5%, массовая доля влаги – 7.3%, зольность – 0.065%), водный раствор акриламида (производство ООО «АКРИПОЛ», г. Саратов), акриловая кислота марки «Л» 99 (СТО 12711752-101-2018..., 2018), концентрированная соляная кислота ГОСТ 3118-77 (1979) (партия 122/1), NaOH ГОСТ 4328-77 (1978) квалификации «ХЧ». В качестве иницирующей системы использовались: персульфат аммония ГОСТ 20478-75 (2006) «ХЧ», метабисульфит натрия ГОСТ 11683-76 (1977) «ХЧ», церий серноокислый (IV) четырехводный (ТУ 6-09-1646-77, 1977). Обескислороживание реакционной массы выполнялось с использованием азота чистоты не менее 99.9%.

Анализы количественных показателей исследуемых производственных сточных вод выполнялись до (в исходной воде) и после введения флокулянтов. Химическое потребление кислорода в пробах сточных вод определялось методом титриметрии (ПНД Ф 14.1:2.100-97, 1997). Массовая концентрация сульфат-ионов в пробах сточных вод измерялась турбидиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:159-2000, 2005). Массовая концентрация сухого остатка выполнялась гравиметрическим методом (ПНД Ф 14:1:2:4.114-97, 2004). Содержание взвешенных веществ измерялось гравиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.110-97, 1997). Измерение значений водородного показателя проб воды проводилось потенциометрическим методом согласно ФР 1.31.2018.30110 (2018).

Подготовительную обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.), статистические расчеты выполнены с использованием пакета прикладных программ STATISTICA 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На начальном этапе запланированных исследований выполнялся подбор дозы флокулянта, который проводился на примере неионогенного полимера марки Н600, производимого предприятием ООО «АКРИПОЛ». Для этого к 200 мл воды из отобранной пробы добавляли разные количества флокулянтов в виде 0.1%-ных водных растворов. Перемешав, давали раствору отстояться и проводили анализ по тем же показателям, что для исходной воды. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Анализ результатов, приведённых в табл. 1, показал, что оптимальная доза неионогенного флокулянта марки Н600 – 2 – 5 мг/дм³. Такое количество флокулянта способствует существенному уменьшению значений химического потребле-

ния кислорода, но на остальные показатели особого влияния не оказывает. Увеличение количества взвешенных веществ при добавлении флокулянта может объясняться тем, что при флокуляции имеет место слипание находящихся в сточной воде частиц с частицами флокулянта в более крупные хлопья.

Таблица 1. Характеристики показателей проб сточной воды до и после ввода флокулянта
Table 1. Characteristics of the indicators of waste water samples before and after flocculant injection

Показатель / Indicator	Норма / Norm	Сточная вода без флокулянта / Waste water without flocculant	Сточная вода + 1 мг/дм ³ Н600 / Waste water + 1 mg/dm ³ H600	Сточная вода + 2 мг/дм ³ Н600 / Waste water + 2 mg/dm ³ H600	Сточная вода + 5 мг/дм ³ Н600 / Waste water + 5 mg/dm ³ H600
ХПК, мг/дм ³ / COD, mg/dm ³	2000	512±13	205±15	164±11	41±3
pH	7 – 13	7.5±0.4	8.1±0.6	8.1±0.7	8.12±0.4
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ / SO ₄ ²⁻ , mg/dm ³	650	32±4	35±2	36±4	38±3
СО, мг/дм ³ / DR, mg/dm ³	2000	225±17	280±19	288±21	254±18
ВВ, мг/дм ³ / SS, mg/dm ³	350	25±2	62±5	58±4	52±2

Примечание. ХПК – химическое потребление кислорода, СО – сухой остаток, ВВ – взвешенные вещества.

Note. COD – chemical oxygen demand, DR – dry residue, SS – suspended solids.

Дальнейшим этапом исследований стало определение эффективности катионных флокулянтов при очистке сточной воды предприятия ООО «АКРИПОЛ». Исследования проводились на двух образцах флокулянтов, синтезированных лабораторным способом на базе предприятия ООО «АКРИПОЛ», а также для сравнения на образце неионогенного флокулянта марки Н600. Свойства испытуемых образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Свойства исследуемых флокулянтов
Table 2. Properties of the tested flocculants

Тип флокулянта / Flocculant type	Содержание хитозан, г / 100 см ³ / Chitosan content, g/100 cm ³	Характеристическая вязкость, η, см ³ / г / Intrinsic viscosity, η, cm ³ /g
Неионогенный (Н600) / Nonionic (H600)	–	3.2±0.2
Слабо катионный по хитозану (215-2) / Weakly cationic with respect to CTS (215-2)	0.020±0.001	8.2±0.5
Слабо катионный по хитозану (233-2) / Weakly cationic with respect to CTS (233-2)	0.130±0.011	9.4±0.3

Принятые к исследованиям образцы катионных флокулянтов идентичны по химическому составу и имеют близкие значения характеристической вязкости, но содержат разные количества хитозана.

На основании первого этапа исследований доза флокулянта для неионогенного и для катионных флокулянтов выбрана 5 мг/дм³.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В процессе исследований необходимо было установить, какое влияние оказывают флокулянты на показатели сточной воды: водородный показатель, содержание сульфат-ионов в воде, химическое потребление кислорода (ХПК), сухой остаток (СО) и взвешенные вещества (ВВ).

Полученная по результатам испытаний графическая зависимость изменения водородного показателя для исходной сточной воды и для воды, очищенной флокулянтами, во времени представлена на рис. 1. Видно, что применение флокулянтов не оказывает существенного влияния на водородный показатель pH. При этом в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 (2019) норма показателя pH варьируется в интервале от 7 до 13, что делает проблематичным использование полученных результатов при обосновании эффективности очистки сточной воды.

Изменение содержания сульфат-ионов в исходной воде и воде, очищенной флокулянтами, во времени представлено на рис. 2.

Анализируя изменение содержания сульфат-ионов в исходной воде и воде, обработанной флокулянтами (см. рис. 2), следует отметить, что оно практически идентично, а отклонения результатов находятся в пределах ошибки эксперимента. Это позволяет заключить, что использование флокулянтов не оказывает значимого влияния на изменение данного показателя. Также следует отметить, что фактическое содержание сульфат-ионов в сточных водах предприятия ООО «АКРИПОЛ» на порядок меньше ПДК в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:159-2000 (2005).

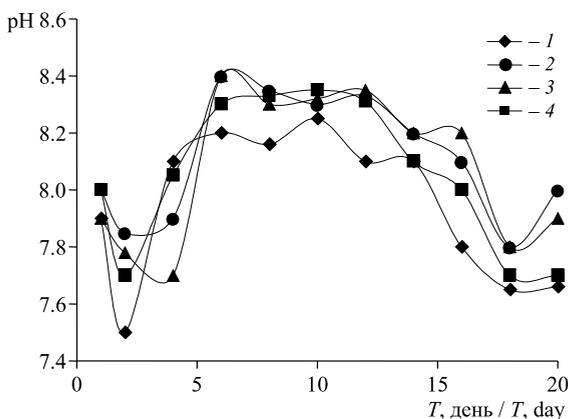


Рис. 1. Изменение водородного показателя pH для исходной воды и воды, очищенной флокулянтами, во времени: 1 – исходная вода, 2 – H600, 3 – 215-2, 4 – 233-2
Fig. 1. pH changes over time for the source water and the water purified by flocculants: 1 – source water, 2 – H600, 3 – 215-2, 4 – 233-2

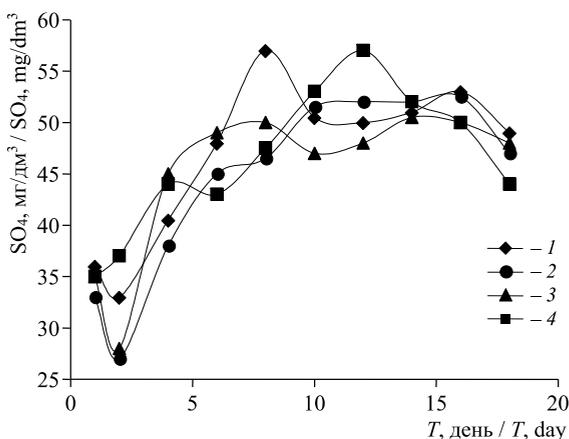


Рис. 2. Изменение содержания сульфат-ионов в исходной воде и воде, очищенной флокулянтами, во времени: 1 – исходная вода, 2 – H600, 3 – 215-2, 4 – 233-2
Fig. 2. Change in the content of sulfate ions over time in the source water and the water purified by flocculants: 1 – source water, 2 – H600, 3 – 215-2, 4 – 233-2

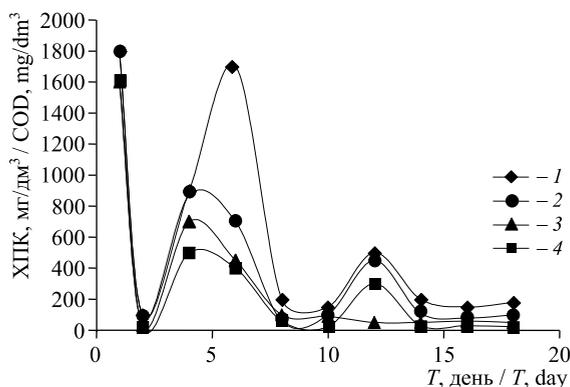


Рис. 3. Изменение показателя химического потребления кислорода в исходной воде и воде, очищенной флокулянтами, во времени: 1 – исходная вода, 2 – Н600, 3 – 215-2, 4 – 233-2

Fig. 3. Change in COD (chemical oxygen demand) over time in the source water and the water purified by flocculants: 1 – source water, 2 – H600, 3 – 215-2, 4 – 233-2

по хитозану 233-2, практически такой же эффект проявляет слабо катионный флокулянт по хитозану 215-2 и совсем незначительный – неионогенный флокулянт Н600.

Результаты влияния изучаемых флокулянтов на сухой остаток сточных вод представлены на рис. 4.

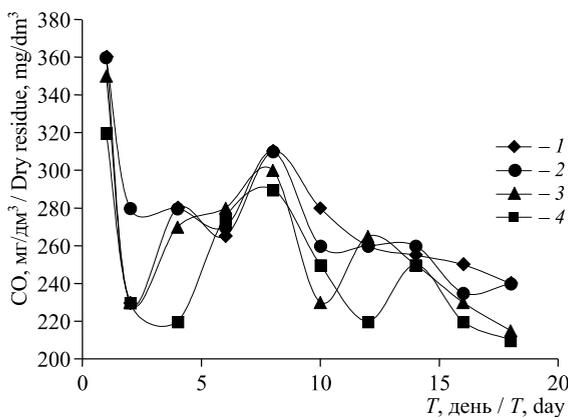


Рис. 4. Изменение показателя сухого остатка в исходной воде и воде, очищенной флокулянтами, во времени: 1 – исходная вода, 2 – Н600, 3 – 215-2, 4 – 233-2

Fig. 4. Change in the dry residue value over time in the source water and the water purified by flocculants: 1 – source water, 2 – H600, 3 – 215-2, 4 – 233-2

Основные характеристики анализируемых сточных вод включают ХПК, сухой остаток и взвешенные вещества. Необходимо было изучить изменение каждого из этих показателей во времени и оценить влияние применения флокулянтов на очистку стоков. На рис. 3 отражено изменение показателя ХПК для исходной воды и воды, обработанной флокулянтами, во времени.

На основании анализа графических зависимостей, приведённых на рис. 3, можно отметить, что наибольший эффект очистки сточной воды по показателю ХПК проявляет слабо катионный флокулянт по хитозану 233-2, практически такой же эффект проявляет слабо катионный флокулянт по хитозану 215-2 и совсем незначительный – неионогенный флокулянт Н600.

На рис. 4 в отдельные дни наблюдалось увеличение значений показателя сухого остатка обработанной флокулянтами сточной воды по сравнению с исходной водой. Это объясняется способностью флокулянтов улавливать органические загрязняющие вещества в отличие от неорганических и твердых веществ, которые проникают через фильтровальную бумагу, увеличивая тем самым значение показателя сухого остатка.

Анализ результатов исследований изменения показателя сухого остатка сточных вод показал, что наиболее эффективно применение слабо

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

катионного флокулянта 233-2, несколько менее эффективно – флокулянта 215-2. Использование в качестве флокулянта неионогенного Н600 неэффективно, поскольку полученные значения сухого остатка стоков при его применении в несколько раз выше, чем при использовании флокулянта 233-2.

Также следует отметить, что фактический показатель сухого остатка в сточных водах предприятия ООО «АКРИПОЛ» находится в пределах установленных нормативов в соответствии с ПНД Ф 14:1:2:4.114-97 (2004).

Оценка эффективности очистки сточных вод предприятия флокулянтами проводилась также по показателю «взвешенные вещества». Результаты исследований показаны на рис. 5.

На графиках, приведённых на рис. 5, наблюдается некоторое превышение значений содержания взвешенных веществ в сточных водах, обработанных флокулянтами, по сравнению со значениями взвешенных веществ в исходной воде. Это можно объяснить слипанием частиц флокулянта с загрязняющими веществами органического происхождения, которые при последующей фильтрации остаются на фильтре.

Сравнительный анализ эффективности использования изучаемых флокулянтов по показателю «взвешенные вещества» позволяет отметить, что значения этого показателя в сточной воде после обработки ее флокулянтами увеличились в 4 – 16 раз при использовании слабо катионного флокулянта 233-2, в 3 – 13 раз при использовании слабо катионного флокулянта 215-2 и в 1.5 – 9 раз при использовании неионогенного флокулянта Н600. Это опять подтверждает целесообразность применения в первую очередь слабо катионного по хитозану флокулянта 233-2.

Для обоснования выбора флокулянта с наилучшим эффектом при очистке сточной воды была составлена табл. 3, в которой оценена результативность работы изученных флокулянтов, установленная на основе результатов проведенных исследований. Видно, что самым эффективным флокулянтом является слабо катионный по хитозану 233-2. Несколько меньшим эффектом обладает слабо катионный флокулянт по хитозану 215-2. Самым малоэффективным является неионогенный флокулянт Н600.

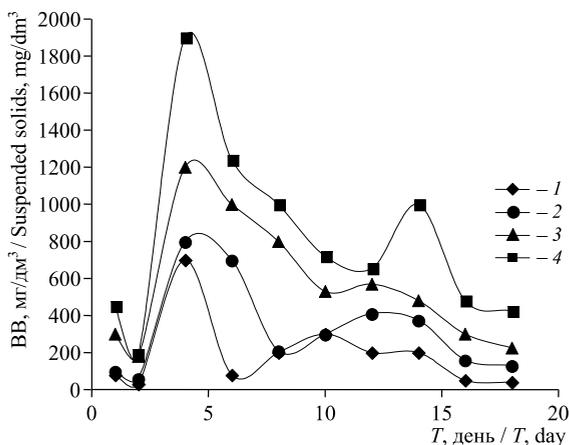


Рис. 5. Изменение содержания взвешенных веществ в исходной воде и воде, очищенной флокулянтами, во времени: 1 – исходная вода, 2 – Н600, 3 – 215-2, 4 – 233-2

Fig. 5. Change in the content of suspended solids over time in the source water and the water purified by flocculants: 1 – source water, 2 – Н600, 3 – 215-2, 4 – 233-2

Таблица 3. Оценка результатов функционирования флокулянтов
Table 3. Evaluation of the results of the functioning of flocculants

Показатель / Indicator	Флокулянт / Flocculant		
	Неионогенный Н600 / Nonionic Н600	Слабо катионный по хитозану 215-2 / Weakly cationic with respect to CTS 215-2	Слабо катионный по хитозану 233-2 / Weakly cationic with respect to CTS 233-2
	Оценка / Grade		
ХПК, мг/дм ³ / COD, mg/dm ³	+	+++	+++
СО, мг/дм ³ / DR, mg/dm ³	+	++	+++
ВВ, мг/дм ³ / SS, mg/dm ³	+	++	+++

Примечание. ХПК – химическое потребление кислорода, СО – сухой остаток, ВВ – взвешенные вещества. +++ – самый эффективный флокулянт, ++ – флокулянт со средним эффектом водоочистки, + – малоэффективный флокулянт.

Note. COD – chemical oxygen demand, DR – dry residue, SS – suspended solids. +++ – the most effective flocculant, ++ – the medium-efficiency flocculant, + – the low-efficiency flocculant.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время одним из перспективных направлений промышленной экологии, занимающимся решением проблемы очистки сточных вод, является применение флокулянтов на основе полиакриламида. Применение модифицированных полиакриламидов для очистки производственных и коммунально-бытовых стоков способствует улучшению характеристик сточных вод и не требует значительных финансовых затрат на постройку массивных очистных сооружений. Предприятием ООО «Саратовский химический завод акриловых полимеров «АКРИПОЛ» была создана методика получения флокулянтов на основе акриламида, акриловой кислоты и хитозана. Образцы новых флокулянтов 215-2 и 233-2 отличались разным содержанием хитозана – 0.02 г/100 см³ и 0.13 г / 100 см³ соответственно.

Экспериментально исследована сравнительная эффективность водоочистки тремя видами флокулянтов: неионогенным Н600 (производство ООО «АКРИПОЛ»), не содержащим хитозана, а также новыми слабо катионными по хитозану флокулянтами – 215-2 и 233-2, отличающимися друг от друга содержанием хитозана. Подобранная оптимальная доза флокулянта составила 5 мг/дм³. Установлено, что исследованные флокулянты не оказывают существенного влияния на водородный показатель рН и содержание в воде сульфат-ионов. Наилучшими результатами по показателям химического потребления кислорода, сухого остатка и количества взвешенных веществ обладает флокулянт 233-2 с наибольшим содержанием хитозана; немного худшими показателями – флокулянт 215-2 с наименьшим содержанием хитозана; наихудшими из исследованных флокулянтов показателями обладает неионогенный Н600 (производство ООО «АКРИПОЛ»), не содержащий в своем составе хитозан.

Авторы статьи выражают благодарность руководству ООО «Саратовский химический завод акриловых полимеров «АКРИПОЛ» за подготовку и модифицирование образцов флокулянтов на основе акриламида, акриловой кислоты и хитозана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бродский А. К.* Общая экология : учебник для студентов высших учебных заведений. М. : Изд. центр «Академия», 2016. 256 с.
- Грязев В. Ю., Комарова Л. Ф.* Использование флокуляции для улучшения качества природных и сточных вод // Ползуновский вестник. 2004. № 2. С. 127 – 131.
- ГОСТ 3118-77. Реактивы. Соляная кислота. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1979. 14 с.
- ГОСТ 4328-77. Реактивы. Натрия гидроокись. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1978. 12 с.
- ГОСТ 20478-75. Реактивы. Аммоний надсерноокислый. Технические условия. М. : Стандартиформ, 2006. 8 с.
- ГОСТ 11683-76. Пиросульфит натрия технический. Технические условия. М. : Госком СССР по стандартам, 1977. 14 с.
- Зибарев Н. В., Политаева Н. А., Андрианова М. Ю.* Использование микроводорослей *Chlorella sorokiniana* (Chlorellaceae, Chlorellales) для очистки сточных вод пивоваренной промышленности // Поволжский экологический журнал. 2021. № 3. С. 262 – 271. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-262-271>
- ПНД Ф 12.15.1-08. Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод. М. : Фед. служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2008. 19 с.
- ПНД Ф 14.1:2.100-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений химического потребления кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом. М. : ГУАК, 1997. 17 с.
- ПНД Ф 14.1:2.110-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений содержания взвешенных веществ и общего содержания. М. : ГУАК, 1997. 17 с.
- ПНД Ф 14.1:2:4.114-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации сухого остатка в питьевых, поверхностных и сточных водах гравиметрическим методом. М. : Фед. служба по надзору в сфере природопользования, 2004. 14 с.
- ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Методические рекомендации по применению методики измерений pH проб вод потенциометрическим методом. М. : Фед. служба по надзору в сфере природопользования, 2019. 26 с.
- ПНД Ф 14.1:2:159-2000. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах природных и сточных вод. М. : Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 2005. 2 с.
- СТО 12711752-101-2018. Кислота акриловая марка Л 99. Проц. Салават : ООО «Акрил Салават», 2018. 11 с.
- ТУ 6-09-1646-77. Церий серноокислый (IV) чистый. М., 1977. 32 с.
- ФР 1.31.2018.30110. Количественный химический анализ вод. Методика измерений pH проб вод потенциометрическим методом. М. : ФГБУ ФЦАО, 2018. 15 с.
- Al-Karawi A. J. M., Al-Qaisi Z. H. J., Abdullaha H. I., Al-Mokarama A. M. A., Al-Heetimi D. T. A.* Synthesis, characterization of acrylamide grafted chitosan and its use in removal of copper(II) ions from water // Carbohydrate Polymers. 2011. Vol. 83, № 2. P. 495 – 500.
- Atamanova O. V., Tichomirova E. I., Politayeva N. A., Podolsky A. L., Istrashkina M. V.* Innovative technologies for industrial wastewater treatment // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 288. Article number 012001.
- Atamanova O. V., Tikhomirova E. I., Koshelev A. V., Aleksashin A. V., Podolsky A. L.* Method of transforming unauthorized dump into municipal solid waste landfill // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 161. Article number 01071. <https://doi.org/10.1051/conf/202016101071>

О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова, А. С. Романевич и др.

Fang S., Wang G., Li P., Xing R., Liu S., Qin Y., Yu H., Chen X., Li K. Synthesis of chitosan derivative graft acrylic acid superabsorbent polymers and its application as water retaining agent // International Journal of Biological Macromolecules. 2018. Vol. 115. P. 754 – 761.

Fang S., Wang G., Xing R., Chen X., Liu S., Qin Y., Li K., Wang X., Li R., Li P. Synthesis of superabsorbent polymers based on chitosan derivative graft acrylic acid-co-acrylamide and its property testing // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. Vol. 132. P. 575 – 584.

Ge H., Pang W., Luo D. Graft copolymerization of chitosan with acrylic acid under microwave irradiation and its water absorbency // Carbohydrate Polymers. 2006. Vol. 66, iss. 3. P. 372 – 378.

Lin Y., Hong Y., Song Q., Zhang Z., Gao J., Tao T. Highly efficient removal of copper ions from water using poly(acrylic acid)-grafted chitosan adsorbent // Colloid and Polymer Science. 2017. Vol. 295, iss. 4. P. 627 – 635.

Metzler M., Chylińska M., Kaczmarek H. Preparation and characteristics of nanosilver composite based on chitosan-graft-acrylic acid copolymer // Journal of Polymer Research. 2015. Vol. 22, iss. 8. Article number 146.

Politayeva N. A., Smyatskaya Y. A., Slugin V. V. Wastewater cleaning in a composite filter after magnetic treatment // Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. 2018. Vol. 71, № 6. P. 766 – 771.

Politaeva N., Smyatskaya Y., Fedyukhin A. Fiber and carbon materials for wastewater purification from petroleum products // Desalination and Water Treatment. 2020. Vol. 174. P. 116 – 122.

Tikhomirova E. I., Plotnikova O. A., Atamanova O. V., Koshelev A. V., Podolsky A. L. The use of multicomponent adsorption filters in water purification systems and luminescent control of ecotoxicant content // Theoretical and Applied Ecology. 2019. Iss. 1. P. 73 – 81.

Improving the quality of waste water treatment by flocculation

O. V. Atamanova ¹✉, E. I. Tikhomirova ¹, A. S. Romanevich ²,
A. S. Glubokaya ¹, A. A. Podoksenov ¹

¹ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

77 Politekhnikeskaya St., Saratov 410054, Russia

² LLC “Saratov Chemical Plant of Acrylic Polymers “ACRIPOL”

Industrial zone, Soviet-Czechoslovak friendship sq., Saratov 410059, Russia

Received: 14 June 2021 / revised: 15 August 2021 / accepted: 17 August 2021

Abstract. Flocculation using polyacrylamides is one of the most promising methods of industrial wastewater treatment. The aim of our research was to estimate the efficiency of the use of new types of polyacrylamide-based flocculants for industrial wastewater treatment. The objects of the study were the wastewaters of the enterprise LLC “Saratov Chemical Plant of Acrylic Polymers “ACRYPOL” and several flocculants (water-soluble polymers) obtained on the basis of acrylamide, acrylic acid and chitosan. It was established that the optimal dose of nonionic flocculant H600™ was 5 mg/dm³. Industrial wastewater treatment efficiency was studied on two samples of weakly cationic flocculants (215-2 and 233-2) synthesized in a laboratory way, as well as on a sample of nonionic flocculant H600™. It was found that the tested flocculants had no significant effect on the pH value and the content of sulfate ions in water. Flocculant 233-2 with the highest chitosan content was the best in terms of chemical oxygen demand, dry residue and the amount of suspended solids. Flocculant 215-2 with the lowest chitosan content had a slightly worse performance. The worst of the tested flocculants was the nonionic H600™, which does not contain chitosan.

Keywords: waste water, purification, flocculant, acrylamide, chitosan, acrylic acid

For citation: Atamanova O. V., Tikhomirova E. I., Romanevich A. S., Glubokaya A. S., Podoksenov A. A. Improving the quality of waste water treatment by flocculation. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 4, pp. 385–397 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-385-397>

REFERENCES

Brodsky A. K. *Obshchaia ekologiya: uchebnik dlia studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy* [General Ecology: Textbook for University Students]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr “Akademiia”, 2006. 256 p. (in Russian).

Gryazev V. Yu., Komarova L. F. The use of flocculation to improve the quality of natural and waste waters. *Polzunovskiy vestnik*, 2004, no. 2, pp. 127–131 (in Russian).

GOST 3118-77. *Reagents. Hydrochloric Acid. Specifications*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1979. 14 p. (in Russian).

✉ *Corresponding author.* Department Ecology and Technosphere safety, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Olga V. Atamanova: <https://orcid.org/0000-0002-3220-031X>, O_V_Atamanova@mail.ru; Elena I. Tikhomirova: <https://orcid.org/0000-0001-6030-7344>, tikhomirova_ei@mail.ru; Anna S. Romanevich: romanevichhhh@mail.ru; Aleksandra S. Glubokaya: aleksag120@gmail.com; Artem A. Podoksenov: hosting-speech@yandex.ru.

GOST 4328-77. *Reagents. Sodium Hydroxide. Specifications*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1978. 12 p. (in Russian).

GOST 20478-75. *Reagents. Ammonium Persulphate. Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 8 p. (in Russian).

GOST 11683-76. *Technical Sodium Pyrosulfite. Specifications*. Moscow, Goskom SSSR po standartam Publ., 1977. 14 p. (in Russian).

Zibarev N. V., Politaeva N. A., Andrianova M. Yu. Use of *Chlorella sorokiniana* (Chlorellaceae, Chlorellales) microalgae for purification of waste water from the brewing industry. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 3, pp. 262–271. (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-262-271>

PND F 12.15.1-08. *Methodological Guidelines for Sampling for Wastewater Analysis*. Moscow, Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru Publ., 2008. 19 p. (in Russian).

PND F 14.1:2.100-97. *Quantitative Chemical Analysis of Waters. Methods for Measuring the Chemical Oxygen Consumption in Samples of Natural and Treated Wastewater by the Titrimetric Method*. Moscow, GUAK Publ., 1997. 17 p. (in Russian).

PND F 14.1:2.110-97. *Quantitative Chemical Analysis of Waters. Measurement Procedure for Suspended Solids and Total Content*. Moscow, GUAK Publ., 1997. 17 p. (in Russian).

PND F 14.1:2.4.114-97. *Quantitative Chemical Analysis of Waters. Methods for Measuring the Mass Concentration of Dry Residue in Drinking, Surface and Waste Waters by the Gravimetric Method*. Moscow, Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniia Publ., 2004. 14 p. (in Russian).

PND F 14.1:2.4.114-97. *Methodological Recommendations on the Application of the Method of Measuring the pH of Water Samples by the Potentiometric Method*. Moscow, Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniia Publ., 2019. 26 p. (in Russian).

PND F 14.1:2.159-2000. *Quantitative Chemical Analysis of Waters. Methods for Measuring the Mass Concentration of Sulfate Ions in Natural and Waste Water Samples*. Moscow, Gosudarstvennyi komitet RF po okhrane okruzhaiushchei sredy Publ., 2005. 2 p. (in Russian).

STO 12711752-101-2018. *Acrylic acid grade L 99. PROTS*. Salavat, OOO "Akril Salavat" Publ., 2018. 11 p. (in Russian).

FR 1.31.2018.30110. *Quantitative Chemical Analysis of Waters. Method for Measuring pH of Water Samples by Potentiometric Method*. Moscow, FGBU FTSAO Publ., 2018. 15 p. (in Russian).

Al-Karawi A. J. M., Al-Qaisi Z. H. J., Abdullaha H. I., Al-Mokarama A. M. A., Al-Heetimi D. T. A. Synthesis, characterization of acrylamide grafted chitosan and its use in removal of copper(II) ions from water. *Carbohydrate Polymers*, 2011, vol. 83, no. 2, pp. 495–500.

Atamanova O. V., Tikhomirova E. I., Politayeva N. A., Podolsky A. L., Istrashkina M. V. Innovative technologies for industrial wastewater treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 288, article number 012001.

Atamanova O. V., Tikhomirova E. I., Koshelev A. V., Aleksashin A. V., Podolsky A. L. Method of transforming unauthorized dump into municipal solid waste landfill. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 161, article number 01071. <https://doi.org/10.1051/conf/202016101071>

Fang S., Wang G., Li P., Xing R., Liu S., Qin Y., Yu H., Chen X., Li K. Synthesis of chitosan derivative graft acrylic acid superabsorbent polymers and its application as water retaining agent. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, vol. 115, pp. 754–761.

Fang S., Wang G., Xing R., Chen X., Liu S., Qin Y., Li K., Wang X., Li R., Li P. Synthesis of superabsorbent polymers based on chitosan derivative graft acrylic acid-co-acrylamide and its property testing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, vol. 132, pp. 575–584.

Ge H., Pang W., Luo D. Graft copolymerization of chitosan with acrylic acid under microwave irradiation and its water absorbency. *Carbohydrate Polymers*, 2006, vol. 66, iss. 3, pp. 372–378.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Lin Y., Hong Y., Song Q., Zhang Z., Gao J., Tao T. Highly efficient removal of copper ions from water using poly(acrylic acid)-grafted chitosan adsorbent. *Colloid and Polymer Science*, 2017, vol. 295, iss. 4, pp. 627–635.

Metzler M., Chylińska M., Kaczmarek H. Preparation and characteristics of nanosilver composite based on chitosan-graft-acrylic acid copolymer. *Journal of Polymer Research*, 2015, vol. 22, iss. 8, article number 146.

Politayeva N. A., Smyatskaya Y. A., Slugin V. V. Wastewater cleaning in a composite filter after magnetic treatment. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*, 2018, vol. 71, no. 6, pp. 766–771.

Politaeva N., Smyatskaya Y., Fedyukhin A. Fiber and carbon materials for wastewater purification from petroleum products. *Desalination and Water Treatment*, 2020, vol. 174, pp. 116–122.

Tikhomirova E. I., Plotnikova O. A., Atamanova O. V., Koshelev A. V., Podolsky A. L. The use of multicomponent adsorption filters in water purification systems and luminescent control of ecotoxicant content. *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, iss. 1, pp. 73–81.