

УДК 544.544.7:504.06:504.062:04.4.054

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛОКУЛЯНТА «АММИАЧНЫЙ» НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ СТОЧНЫХ ВОД

Е. Ю. ШАЧНЕВА<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет,  
ул. Просвещения, 132, 346428, г. Новочеркасск, Россия

Представлены результаты исследований применения полиакриламидного флокулянта «Аммиачный» для флокуляционной очистки модельных растворов сточных вод. Показана роль физико-химического метода очистки промышленных сточных вод с применением высокомолекулярных флокулянтов. Приведены значения эффективности описываемого метода исследования. Дана краткая характеристика флокулянтов, рассмотрены особенности применения компонентов для таких отраслей промышленности, как химическая и нефтехимическая. Кратко охарактеризован класс полиакриламидных флокулянтов типа АК-631, используемый в качестве объекта исследования. В ходе работы приведены примеры различных типов модельных систем (активированный уголь, углекислый кальций, каолин, кварцевый песок). Описаны параметры, характеризующие процесс флокуляции. Приведены основные уравнения расчета характеристик процесса, определены размеры частиц дисперсной фазы, рассчитана оптимальная концентрация полиэлектролита. Рассмотрены графические зависимости, подтверждающие экспериментальные значения величин. Исследовано влияние природы и концентрации (поли)электролита на скорость флокуляции суспензий активированного угля БАУ и кварцевого песка. Рассчитаны величины мутности, цветности и активности рассматриваемого полиэлектролита. Приведены графические зависимости величины активности от объема введенного реагента. Определены аналогичные значения для полиакриламидных флокулянтов типа АК-631 (А-930 и А-1510). Показано влияние концентрации введенного в систему вещества на величину активности компонента. Приведенные значения представлены в форме графических зависимостей, проведен сравнительный анализ. Исследованы скорости осветления суспензий в присутствии полиэлектролита. Приведены кинетические кривые осветления рассматриваемых суспензий. Рассчитаны величины начальных скоростей осаждения частиц дисперсных фаз для всех рассматриваемых полиакриламидных флокулянтов. Описано влияние величины начальной скорости осаждения частиц от флокуляционной активности полиакриламидных флокулянтов с ростом их концентрации. Рассмотрен процесс очистки модельной системы от ионов цинка для рассматриваемых компонентов. Представлены графические зависимости величины эффективности от объема введенного вещества. Проведен сравнительный анализ применения компонента с полиакриламидными флокулянтами типа АК-631 (А-930 и А-1510).

**Ключевые слова:** флокуляция; цветность; мутность; активность; скорость осветления; очистка; эффективность очистки.

## STUDY OF THE PROCESS OF WATER PURIFICATION USING FLOCCULANT «AMMONIA» ON THE EXAMPLE OF MODEL WASTEWATER SYSTEMS

Е. Yu. SHACHNEVA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>South-Russian State Polytechnic University  
132 Prosveshcheniya Street, Novocherkassk 346428, Russia

---

### Образец цитирования:

Шачнева ЕЮ. Исследование процесса очистки воды с применением флокулянта «Аммиачный» на примере модельных систем сточных вод. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2022;1:94–103.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-1-94-103>

### For citation:

Shachneva EYu. Study of the process of water purification using flocculant «Ammonia» on the example of model wastewater systems. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2022;1:94–103. Russian.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-1-94-103>

---

### Автор:

Евгения Юрьевна Шачнева – кандидат химических наук, доцент, профессор.

### Author:

Evgeniya Yu. Shachneva, PhD (chemistry), docent; professor.  
[evgshachneva@yandex.ru](mailto:evgshachneva@yandex.ru)

The presented material shows the results of studies on the use of polyacrylamide flocculant «Ammonia» for flocculation treatment of model wastewater solutions. The role of the physico-chemical method of industrial wastewater treatment with the use of high-molecular flocculants is shown. The values of the effectiveness of the described research method are given. A brief description of flocculants is presented, the features of the use of components for various industries, such as chemical and petrochemical, are considered. The class of polyacrylamide flocculants of the AK-631 type used as an object of research is briefly characterized. In the course of the work, examples of various types of model systems (activated carbon, calcium carbonate, kaolin, quartz sand) are given. The parameters characterizing the flocculation process are described. The basic equations for calculating the characteristics of the process are given. In the course of the work, the particle sizes of the dispersed phase were determined, and the optimal concentration of polyelectrolyte was calculated. Graphical dependences confirming the experimental values of the quantities are considered. The influence of the nature and concentration of (poly)electrolyte on the flocculation rate of activated carbon suspensions of BAU and quartz sand is investigated. The values of turbidity, chromaticity and activity of the polyelectrolyte under consideration are calculated. Graphical dependences of the activity value on the volume of the injected reagent are given. Similar values were determined for polyacrylamide flocculants of the AK-631 type (A-930 and A-1510). The effect of the concentration of the substance introduced into the system on the activity of the component is described. The given values are presented in the form of graphical dependencies, a comparative analysis is carried out. The rates of clarification of suspensions in the presence of polyelectrolyte are investigated. Kinetic clarification curves of the suspensions under consideration are given. The values of the initial deposition rates of particles of dispersed phases for all considered polyacrylamide flocculants are calculated. The effect of the initial particle deposition rate on the flocculation activity of polyacrylamide flocculants with an increase in their concentration is described. The process of purification of the model system from zinc ions for the components under consideration is considered. Graphical dependences of the efficiency value on the volume of the injected substance are presented. A comparative analysis of the use of the component with polyacrylamide flocculants of the AK-631 type (A-930 and A-1510) was carried out.

**Keywords:** flocculation; color; turbidity; activity; clarification rate; purification; purification efficiency.

## Введение

Современный уровень развития промышленного производства неотъемлемо влияет на состояние окружающей среды, особенно водных объектов, в связи с чем проблема защиты водных систем от загрязнений становится все более актуальной. Выбор того или иного метода очистки зависит от сферы деятельности предприятия, объема его производства и типа сырья, финансовых возможностей, санитарных требований. Весьма широко распространен и достаточно эффективен физико-химический метод очистки промышленных сточных вод с применением высокомолекулярных флокулянтов. Говоря о возможностях метода, необходимо отметить, что его эффективность находится в пределах 98 %, что дает возможность очищать сточные воды предприятий от поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов, тяжелых металлов и ряда других токсикантов [1–6]. Рассматривая значительное многообразие представленных на рынке веществ, обсуждение вопроса поиска наиболее приемлемых как с технологических, так и экономических позиций реагентов весьма актуально.

Флокулянты – это синтетические водорастворимые органические и природные полимеры, применяемые в различных сферах производства, в том числе в химической промышленности и нефтехимическом производстве. Данная группа веществ незаменима в качестве диспергаторов при измельчении твердых тел, бурении твердых пород (понижители твердости), для улучшения смазочного действия, понижения трения и износа, интенсивности нефтеотдачи пластов и т. д. Их применение определяется поверхностной активностью вещества, структурой адсорбционных слоев и объемными свойствами растворов.

В российской промышленности широко используется полиакриламид (ПАА), а также такие полимеры на его основе, как компоненты класса АК-631. Кроме вышеперечисленных веществ, широко применялись вещества производства компаний Германии, США, Франции, Великобритании, Японии, Финляндии и др. Полиакриламид представляет собой высокомолекулярное органическое соединение с молекулярной массой порядка  $0,5 \cdot 10^6$ – $6 \cdot 10^6$ . В исследованиях выбор того или иного флокулянта основан на определенном наборе таких факторов, как заряд скоагулированных частиц, кислотность очищаемой среды, наличие примесей и т. д. Процесс флокулирования дает возможность сократить затраты на производство, минимизировать вторичное загрязнение воды. Кроме того, необходимо отметить способность химического взаимодействия с растворенными примесями сточных вод с образованием нерастворимых соединений. Интересно для рассмотрения взаимодействие флокулянтов с широко встречающимися загрязнителями, например, такими тяжелыми металлами, как цинк и железо, являющимися при этом биогенными элементами. Это способствует упрощению технологии очистки с применением флокулянтов, расширению ее

предметной области, усилению эффективности применения. Все вышесказанное позволит решить проблему обезвреживания сильнозагрязненных сточных вод, в частности металлами [7–9].

Основной целью работы явилось определение величины флокуляционной активности полиакриламидных флокулянтов на примере флокулянта «Аммиачный» для модельных суспензий активированного угля БАУ и кварцевого песка, а также рассмотрение связи значений флокуляционной активности с объемом введенного реагента и проведение анализа полученных результатов в сравнении с флокулянтами типа АК-631 (А-930 и А-1510).

### Материалы и методы исследования

Рассмотрение процесса флокуляции предварительно производят на модельных системах. Достаточно широко применимы суспензии активированного угля ( $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$ ), углекислого кальция ( $\rho = 2,4 \text{ г/см}^3$ ), каолина ( $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ ), кварцевого песка ( $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ ) и т. д. Объектом данного исследования определены были суспензии активированного угля и кварцевого песка ввиду их наибольшей применимости и низкой себестоимости компонентов. Определение устойчивости и флокуляционной активности суспензий производится посредством методов, контролирующих макроскопические параметры систем: скорость седиментации (осаждения), оптическая плотность, изменение концентрации суспензии по высоте и во времени. Это дает возможность детально рассмотреть флокуляционный процесс очистки модельных растворов сточных вод от ионов металла с применением полиакриламидного флокулянта, а также сравнить эффективность процесса очистки с применением различных компонентов [10–14].

В исследовании применялись модельные растворы, приготовленные на дистиллированной воде с использованием химически чистых реактивов флокулянта типа «Аммиачный», А-631 (А-930, А-1510); активированный уголь марки БАУ; кварцевый песок; металлический цинк; соляная кислота (НС1) (конц.); раствор буры; 0,05%-ный раствор сульфарсазена (в 0,05 М растворе буры); 20%-ный раствор натрия сернокислого (свежеприготовленный); 10%-ный раствор сульфосалициловой кислоты; стандартный раствор соли цинка ( $1 \text{ г/дм}^3$ ); раствор известкового молока; фотоколориметр ПЭ-5400в; лабораторное оборудование.

Для приготовления стандартного раствора  $0,5 \text{ г}$  металлического цинка растворяют в  $20 \text{ см}^3$  соляной кислоты и переносят в мерную колбу на  $500 \text{ см}^3$ . Рабочий раствор готовят разбавлением стандартного раствора:  $1 \text{ см}^3$  стандартного раствора переносят в мерную колбу на  $100 \text{ см}^3$  и доводят дистиллированной водой до метки. в процессе изучения использовали 1,0 % растворы флокулянта [10].

### Результаты исследования и их обсуждение

При определении флокуляционной активности полиакриламидного флокулянта «Аммиачный» определяющими факторами служат условия введения реагента, природа и количество добавленного полимера, его молекулярная масса и заряд, содержание в системе дисперсной фазы и электролитов. Необходимо отметить, что происходящие процессы флокуляции и стабилизации дисперсий высокомолекулярными веществами всегда взаимосвязаны. Оценивая параметры флокуляции применяют относительный безразмерный параметр  $D$ , величина которого зависит от:

– скорости седиментации суспензии в присутствии  $V_s$  и в отсутствии добавок флокулянтов  $V_s^0$ :

$$D = \frac{V_s}{V_s^0}, \quad (1)$$

– величин мутности надосадочной жидкости в присутствии  $\tau$  и в отсутствии добавок флокулянтов  $\tau^0$ :

$$D = \frac{\tau}{\tau^0}. \quad (2)$$

Активность флокулянта  $\lambda$  характеризуется отношением флокулирующего эффекта к концентрации флокулянта:

$$\lambda = \frac{D}{C_\phi}. \quad (3)$$

**Определение размеров частиц дисперсной фазы.** Размеры рассматриваемых частиц в изучаемых системах были определены исходя из способа Геллера. В его основе лежит следующее выражение [7; 8]:

$$A = \kappa \cdot \lambda^{-n}, \quad (4)$$

где  $\kappa$  – константа, не зависящая от длины волны,  $A$  – оптическая плотность раствора,  $\lambda$  – длина волны падающего света.

На основании полученных в ходе эксперимента данных производили построение зависимости  $\lg A$  от  $\lg \lambda$ , представленной в виде прямой линии, тангенс угла наклона которой равен показателю степени  $n$  с минусом. Полученное значение показателя степени  $n$  влияет на величину соотношения между размером частицы и длиной волны падающего света, характеризуемого параметром определяемого согласно следующему выражению:

$$Z = 8\pi \cdot r / \lambda, \quad (5)$$

где  $r$  – радиус частиц,  $\lambda$  – среднее значение длины волны падающего излучения.

Исходя из полученных опытным путем данных величины  $n$ , рассчитывают значение  $Z$  по табл. 1 и средний радиус частиц исследуемой дисперсной системы.

Таблица 1

Показатель степени  $n$  в уравнении Геллера в зависимости от параметра  $Z$

Table 1

Index of power  $n$  in Geller's equation in dependence on the  $Z$  parameter

$n$	3,812	3,686	3,575	3,436	3,284	3,121	3,06	2,807	2,657
$Z$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
$n$	2,533	2,457	2,379	2,329	2,075	1,974	1,635	1,584	–
$Z$	6,5	7,0	7,5	8,0	8,01	8,5	9,0	9,5	–

Опираясь на вышеизложенную методику, были получены графические зависимости  $\lg A - \lg \lambda$ , представленные на рис. 1.

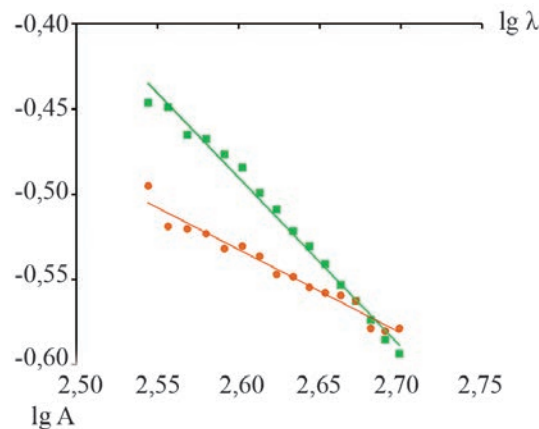


Рис. 1. Графическая зависимость  $\lg A - \lg \lambda$ : ● – для частиц активированного угля БАУ, ■ – для частиц кварцевого песка

Fig. 1. Graphic dependence  $\lg A - \lg \lambda$ : ● – for BAU activated carbon particles, ■ – for high-silica sand particles

Размеры рассмотренных в ходе исследования частиц дисперсной фазы (активированного угля и кварцевого песка) равны 54,65 и 96,45 нм соответственно.

**Изучение оптимальной концентрации полиэлектролита.** Для определения оптимальной величины концентрации вводимого флокулянта необходимо было рассмотреть влияние природы и концентрации (поли)электролита на скорость флокуляции исследуемых суспензий. Применялись модельные дисперсные смеси (системы): 0,01%-ная суспензия активированного угля ( $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$ ) и 0,8%-ная суспензия кварцевого песка ( $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ ) [10; 11]. Для этого проводили приготовление модельных систем, вносили необходимое количество раствора флокулянта, перемешивали в течение 1–1,5 мин с целью равномерного распределения полиэлектролита по всему объему суспензии. Затем систему отстаивали примерно 30 мин и проводили определение оптической плотности надосадочной жидкости относительно дистиллированной воды. На основании полученных в ходе экспериментальных данных производили построение графических зависимостей величин оптических плотностей растворов от концентраций введенных полиэлектролитов для определения оптимальной дозы реагента (рис. 2, 3).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что оптимальными величинами концентрации являются значения 0,1, 0,5 и 1,0 % соответственно. Рассматриваемые величины концентраций будут рассматриваться нами в ходе дальнейших исследований.

**Изучение влияния природы и концентрации (поли)электролита на скорость флокуляции суспензии активированного угля БАУ и кварцевого песка.** С целью исследования влияния природы и концентрации компонента на флокуляционные процессы были определены величины мутности ( $\tau$ ):

$$\tau = \frac{A \cdot 2,3}{l}, \quad (6)$$

где  $A$  – оптическая плотность,  $l$  – длина кюветы, см.

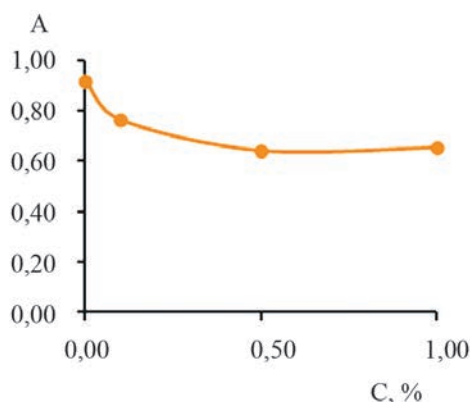


Рис. 2. Зависимость оптической плотности суспензии активированного угля БАУ от концентрации флокулянта «Аммиачный»

Fig. 2. Graphical dependence of the BAC suspension optical density on the concentration of flocculant «Ammonia»

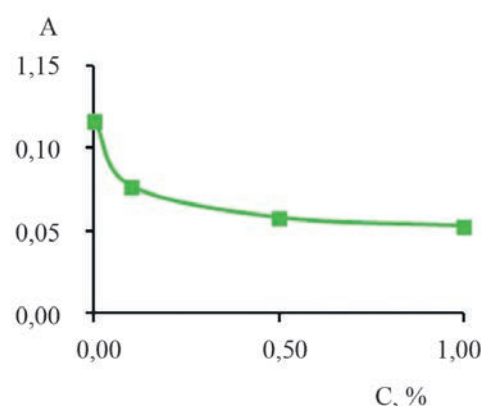


Рис. 3. Зависимость оптической плотности суспензии кварцевого песка от концентрации флокулянта «Аммиачный»

Fig. 3. Graphical dependence of the quartz sand suspension optical density on the concentration of flocculant «Ammonia»

В рамках исследований также проводили определение величины цветности модельных систем на основе ГОСТа 3351-74 (1–70 градусов). Он применяется для оценки содержания взвешенных веществ, которые не были удалены путем отстаивания и фильтрации.

Полученные величины мутности ( $\tau$ ) и цветности позволили определить величины активности флокулянтов  $\lambda$  (рис. 4–6), которые способны послужить в качестве характеристики величины флокулирующего эффекта к объему введенного реагента, а следовательно, и его концентрации в рассматриваемой смеси. В качестве сравнения аналогичные значения были получены и для флокулянтов серии АК-631 (А-930 и А-1510), приведенные на рис. 5, 6.

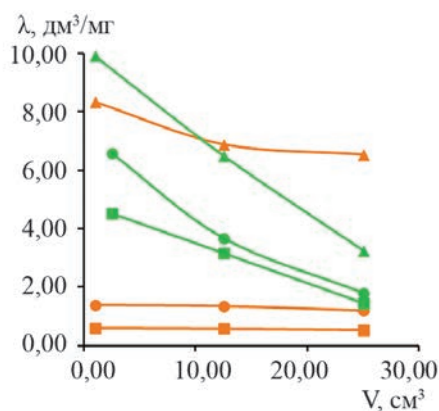


Рис. 4. Графическая зависимость величины активности реагента в растворе в присутствии частиц активированного угля БАУ (оранжевый маркер) и кварцевого песка (зеленый маркер) от объема введенного флокулянта «Аммиачный» (■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % раствор реагента)

Fig. 4. Graphic dependence of the agent-in-solution activity value in the presence of BAU activated carbon particles (orange marker) and high-silica sand (green marker) on the volume of the introduced «Ammonia» flocculant (■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % agent solution)

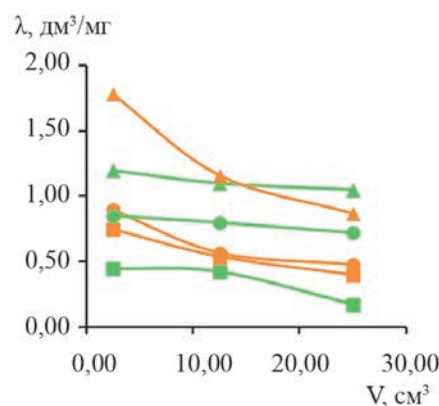


Рис. 5. Графическая зависимость величины активности реагента в растворе в присутствии частиц активированного угля БАУ (оранжевый маркер) и кварцевого песка (зеленый маркер) от объема введенного флокулянта А-930 (■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % раствор реагента)

Fig. 5. Graphic dependence of the agent-in-solution activity value in the presence of BAU activated carbon particles (orange marker) and high-silica sand (green marker) on the volume of the introduced A-930 flocculant (■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % agent solution)



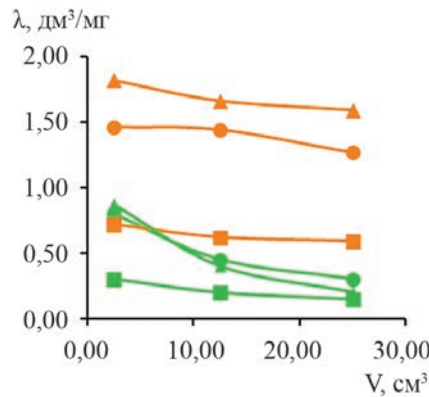


Рис. 6. Графическая зависимость величины активности реагента в растворе в присутствии частиц активного угля БАУ (оранжевый маркер) и кварцевого песка (зеленый маркер) от объема введенного флокулянта А-1510 (■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % раствор реагента)

Fig. 6. Graphic dependence of the agent-in-solution activity value in the presence of BAU activated carbon particles (orange marker) and high-silica sand (green marker) on the volume of the introduced A-1510 flocculant (■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % agent solution)

Проанализировав полученные в ходе исследований значения, можно сделать вывод о том, что при увеличении объема реагента во всех трех случаях происходит уменьшение величин мутности и цветности надосадочной жидкости, что свидетельствует об усилении флокулирующего эффекта. При этом увеличение объема полиэлектролита в растворе способствует уменьшению величины активности флокулянта (в  $\text{dm}^3/\text{mg}$ ). При увеличении концентрации полиэлектролитов в системах происходит уменьшение величин мутности и цветности надосадочных жидкостей, что свидетельствует об усилении флокулирующего эффекта. Кроме того, при введении равных объемов реагента различной концентрации с увеличением концентрации происходит рост величины активности флокулянта.

**Исследование скорости осветления суспензий в присутствии полиэлектролита.** Исходя из полученных в ходе дальнейших исследований значений параметров, были построены графические зависимости величин оптической плотности систем по времени. Определяемая величина наклона начального прямолинейного участка кривых позволяет рассчитать величины начальных скоростей осаждения дисперсий как

$$\left( -\frac{dA}{d\tau} \right)_{\tau \rightarrow 0} \quad [10; 11].$$

Построенные кинетические кривые различны по своей форме, что свидетельствует о разнообразном характере флокуляции. Необходимо отметить, что процесс осветления завершался в течение полутора минут. Говоря о влиянии концентрации на сам процесс осветления суспензий, можно отметить следующую зависимость: с ростом концентрации для каждого рассматриваемого флокулянта процесс осветления усиливался, соответственно, увеличивалась скорость осаждения частиц. Наибольшую активность демонстрировал флокулянт «Аммиачный». Полученные в ходе исследования данные представлены на рис. 7, 8.

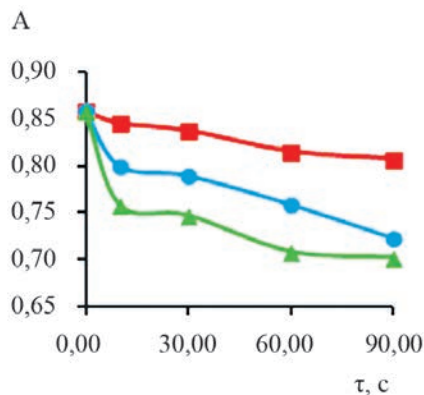


Рис. 7. Кинетические кривые осветления суспензии активного угля БАУ при введении:

■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % (раствор реагента «Аммиачный»)

Fig. 7. Kinetic curves of the BAU activated carbon suspension clarification in case of introduction:

■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % (of the «Ammonia» agent solution)

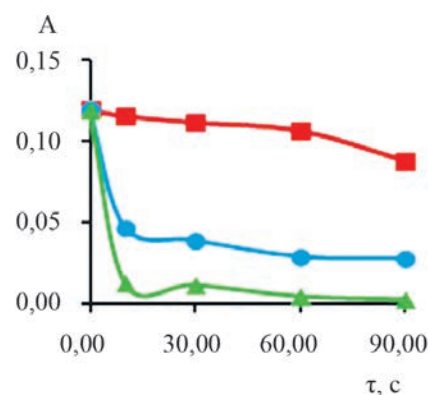


Рис. 8. Кинетические кривые осветления суспензии кварцевого песка при введении:

■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % (раствор реагента «Аммиачный»)

Fig. 8. Kinetic curves of the high-silica sand suspension clarification in case of introduction:

■ – 0,1 %, ● – 0,5 %, ▲ – 1,0 % (of the «Ammonia» agent solution)

Последующие исследования позволили произвести построение зависимостей скорости осаждения дисперсии от концентраций добавляемых высокомолекулярных полиэлектролитов, на основании которых и были рассчитаны величины начальных скоростей осаждения взвесей активного угля БАУ и кварцевого песка в присутствии флокулянтов (табл. 2).

Таблица 2

Величины начальных скоростей осаждения  $\left(\frac{dA}{d\tau}\right)_{\tau \rightarrow 0}$  взвесей активного угля БАУ и кварцевого песка в присутствии флокулянтов «Аммиачный», А-930 и А-1510 ( $n = 6$ ,  $P = 0,95$ ,  $t_p = 2,57$ )

Table 2

Values of the initial precipitation rates of  $\left(\frac{dA}{d\tau}\right)_{\tau \rightarrow 0}$  BAU activated carbon and high-silica sand suspensions in the presence of the «Ammonia», А-930 and А-1510 flocculants ( $n = 6$ ,  $P = 0,95$ ,  $t_p = 2,57$ )

Система	Начальная скорость осаждения, $(-dD/d\tau)_{\tau \rightarrow 0} \cdot 10^3$ , $c^{-1}$		
	Концентрация полиэлектролита, %		
	0,1	0,5	1,0
1	Полиэлектролит «Аммиачный»		
Модельная суспензия активного угля БАУ	0,49	1,11	1,74
Модельная суспензия кварцевого песка	0,36	1,02	1,92
2	Полиэлектролит А-930		
Модельная суспензия активного угля БАУ	0,25	1,99	3,32
Модельная суспензия кварцевого песка	2,13	2,56	3,11
3	Полиэлектролит А-1510		
Модельная суспензия активного угля БАУ	0,10	0,44	0,92
Модельная суспензия кварцевого песка	2,13	2,30	2,89

При рассмотрении полученных в ходе экспериментальных значений можно сделать следующий вывод, при применении флокулянтов «Аммиачный», А-930 и А-150 наибольшей величиной скорости осаждения обладают суспензии кварцевого песка в сравнении с суспензиями активного угля БАУ в присутствии рассматриваемых полиэлектролитов, снижающих оптическую плотность суспензий. Полученные значения начальной скорости осаждения частиц свидетельствуют об усилении флокуляционной активности реагентов с ростом их концентрации. При сравнении величин скоростей осаждения наибольшей величиной обладают полиакриламидные флокулянты серии АК-631. Большей активностью обладает флокулянт А-930, чуть меньшей активностью – флокулянт А-1510. Наименьшую величину скорости осаждения взвеси имеет флокулянт «Аммиачный». Можно предположить, что данная закономерность может быть связана с механизмом процесса флокуляции.

Выделяют два основных механизма процесса флокуляции – это нейтрализационный и мостичный механизмы. Первый механизм всегда сопровождается компенсацией локальных зарядов на поверхности частиц за счет адсорбции на них противоположно заряженных повторяющихся звеньев макроиона полиэлектролита. При этом на поверхности происходит формирование «мозаичной» структуры с большим числом контактов реагента с поверхностью частицы. Данный процесс характерен для одноименно заряженных полиэлектролитов. Второй механизм объясняет процесс флокуляции образованием полимерных мостиков между дисперсными частицами и адсорбированным полиэлектролитом. При таком типе взаимодействия адсорбированные макромолекулы полимеров закрепляются на поверхности небольшим числом контактов, слабо деформируются и при этом могут содержать достаточно длинные петли и хвосты, образуя флокулы. В рамках данного практического исследования предполагается наличие именно этого механизма флокулирования между частицами дисперсной фазы.

**Очистка воды от ионов цинка методом пробного флокулирования.** При рассмотрении флокуляции необходимо отметить, что она является процессом агрегации взвешенных частиц при добавлении высокомолекулярных соединений. Их применение позволяет уменьшить продолжительность процесса очистки, дозы

компонента, повысить скорость осаждения образующихся хлопьев. В основе рассматриваемого фотометрического метода лежит определение, основанное на реакции металла с реагентом сульфарсазеном  $[(HO)_2OAsC_6H_3(NO_2)N=NHC_6H_4N=NC_6H_4SO_3Na]$ . С ионами цинка он образует окрашенные в красно-оранжевый цвет комплексные соединения в слабокислой или слабощелочной среде. Данному определению мешают ионы свинца, их влияние устраняется введением тиомочевины. В исследуемые модельные растворы сточных вод объемом  $500\text{ см}^3$  был добавлен небольшими порциями раствор известкового молока для достижения определенного значения кислотности среды, далее в каждый из них помещали растворы высокомолекулярного соединения и определяли величину эффективности очистки по следующему уравнению [10; 11]:

$$\mathcal{E} = \frac{C_0 - C}{C_0} 100 \%, \quad (7)$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность очистки, %;  $C$  – остаточная концентрация, г/дм<sup>3</sup>,  $C_0$  – исходная концентрация, г/дм<sup>3</sup>.

Результаты расчетов эффективности очистки воды, полученные в ходе исследования, приведены на рис. 9.

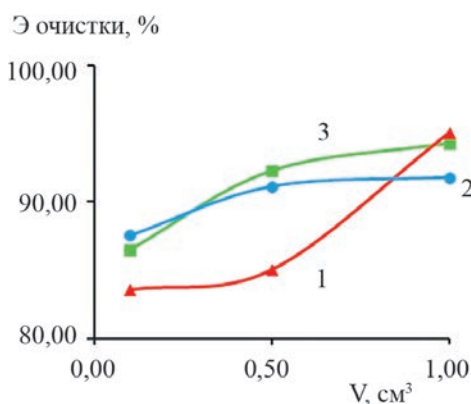


Рис. 9. Графическая зависимость величины эффективности очистки методом пробного флокулирования от объема введенного флокулянта: 1 – «Аммиачный», 2 – А-1510, 3 – А-930

Fig. 9. Graphic dependence of the test flocculation treatment effectiveness value on the volume of the introduced flocculant: 1 – «Ammonia», 2 – А-1510, 3 – А-930

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что эффективность очистки с использованием флокулянта «Аммиачный» находится в пределах величины от 80 до 95 %, что свидетельствует об эффективности рассматриваемого метода очистки СВ от ионов цинка, а также об актуальности рассматриваемой проблемы. Из полученных опытных данных можно сделать вывод о достаточной эффективности рассматриваемого метода.

Кроме того, необходимо отметить, что при применении флокулянтов А-1510 и А-930 также получены весьма эффективные результаты по очистке от ионов цинка. Их величины изменяются в пределах от 86 до 94 % – для флокулянта А-930 и 88 до 92 % – для флокулянта А-1510. Для всех исследуемых систем наблюдается рост эффективности очистки с увеличением концентрации введенного реагента. В ходе дальнейших исследований изучение процесса очистки модельных сточных вод от ионов цинка методом пробного флокулирования будет продолжено. Требуется продолжения сравнительный анализ методов дробного флокулирования с использованием флокулянтов различных классов как синтетической природы, так и натурального происхождения.

### Заключение

Развитие современной промышленности подчас представляет опасность для здоровья населения, постоянно увеличивая уровень загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. В водной среде, применяя различные методы исследования, можно определить широкий спектр загрязнителей как органического, так и неорганического происхождения. Поэтому улучшение состояния окружающей среды, водных экосистем, в частности, является весьма актуальной задачей для исследователей.

В ходе исследования с применением флокулянтов серии АК-631 и флокулянта «Аммиачный» были получены определенные закономерности процесса очистки модельных систем сточных вод. Рассмотрено



влияние природы и концентрации (поли)электролита на скорость флокуляции суспензий, рассчитаны величины скорости величины начальных скоростей осаждения частиц. Проведен сравнительный анализ применения реагента с полиакриламидными флокулянтами типа АК-631 (А-930 и А-1510).

Опираясь на анализ полученных данных, можно сделать следующий вывод: с увеличением объема введенного флокулянта происходит уменьшение величины мутности модельных систем, которая прямо пропорциональна значениям оптической плотности. Рассчитанные величины определяют величину активности флокулянта.

Похожие зависимости можно отметить и для значений величин эффективности процесса очистки. Достаточно высокие значения данной величины свидетельствуют о том, что флокуляция положительно заряженных дисперсных систем, содержащих ионы металлов, возможна с применением анионных флокулянтов. Но нельзя забывать, что основными характеристиками флокуляционной активности веществ, являются значения эффективности очистки и количества введенного компонента. По значениям эффективности можно говорить о предполагаемом механизме действия веществ.

Следовательно, наибольший интерес для исследования представляют полиакриламидные флокулянты, которые получили широкое применение во многих отраслях промышленности. Говоря о технологических процессах необходимо отметить, что их применение имеет сравнительно низкую себестоимость, доступность и эффективность. Таким образом, для дальнейших исследований по подбору типа флокулянта по минимизации затрат на эксплуатацию очистных сооружений предприятий различных отраслей промышленности и повышения эффективность их работы необходимо провести сравнительный анализ с использованием флокулянтов различных классов как синтетической природы, так и натурального происхождения.

### Библиографические ссылки

1. Соколов ОА, Черников ВА. *Атлас распределения ТМ в объектах окружающей среды*. Москва: Пушино; 1999. 164 с.
2. Рубин А, редактор. *Химия промышленных сточных вод*. Москва: Химия; 1983. 360 с.
3. Гандурина ЛВ. *Органические флокулянты в технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадка*. Москва: ВНИИТПИ; 2000. Выпуск 2. 59 с.
4. Аксенов ВИ. Использование флокулянтов в очистке производственных стоков и осадков. *Экономика и экология*. 2004;2:42–44.
5. Запольский АК, Баран АА. *Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды*. Ленинград: Химия; 1987. 208 с.
6. Куликов НИ, Найманов АЯ, Омельченко НП, Чернышев ВН. *Теоретические основы очистки воды*. Макеевка: Донбасская национальная академия гр-ва и архитектуры; 2009. 297 с.
7. Шачнева ЕЮ. *Физико-химия адсорбции флокулянтов и синтетических поверхностно-активных веществ на сорбенте СВ-1-А* [автореферат диссертации]. Махачкала: [б. и.]; 2011. 23 с.
8. Шачнева ЕЮ. *Физико-химия адсорбции флокулянтов и синтетических поверхностно-активных веществ на сорбенте СВ-1-А* [диссертация]. Махачкала: [б. и.]; 2011. 139 с.
9. Шачнева ЕЮ. Применение флокулянтов серии АК-631 для коагуляционно-флокуляционной очистки сточных вод промышленных предприятий. *Вода и экология: проблемы и решение*. 2017;4(72):62–71. DOI 10.23968/2305–3488.2017.22.4.62–71.
10. Бузаева МВ, Семенов ВВ, Осипов ПО, составители. *Основы промышленной экологии: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Основы промышленной экологии»*. Ульяновск: УлГТУ; 2008. 31 с.
11. Дрябина СС, Шулевич ЮВ, составители. *Методические указания к лабораторным работам № 3, 4 к практикуму по коллоидной химии*. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ; 2013. 40 с.
12. *Химия процессов очистки природных и сточных вод*. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС; 2014. 92 с.
13. Малышева ЖН, Дрябина СС, Навроцкий АВ, Мохарам Р, Новаков ИА. Кинетика флокуляции суспензии каолина катионными полиэлектролитами. *Известия ВолГТУ*. 2009;3:128–133.
14. Проскурина ВЕ, Мягченков ВА. *Кинетика седиментации суспензии охры в режиме свободного оседания в присутствии полиакриламидных флокулянтов*. Казань: Казанский государственный технологический университет; 2004. 24 с.

### References

1. Sokolov OA, Chernikov VA. *Atlas raspredeleniya TM v obyektakh okruzhayushchey sredy* [Atlas of heavy metals distribution in environment units]. Moscow: Pushkino; 1999. 164 p. Russian.
2. Rubin A, editor. *Khimiya promyshlennykh stochnykh vod* [Chemistry of industrial waste waters]. Moscow: Khimiya; 1983. 360 p. Russian.
3. Gandurina LV. *Organicheskiye flokulyanty v tekhnologii ochistki prirodnykh i promyshlennykh stochnykh vod i obrabotki osadka* [Organic flocculants in the technique of natural and industrial waste water treatment and the precipitates treatment]. Moscow: VNIINTPI; 2000. Volume 2. 59 p. Russian.
4. Aksenov VI. *Ispolzovaniye flokulyantov v ochistke proizvodstvennykh stokov i osadkov* [The use of flocculants in industrial waste water and precipitates treatment]. *Ekonomika i ekologiya*. 2004;2:42–44. Russian.
5. Zapol'skiy AK, Baran AA. *Koagulyanty i flokulyanty v protsessakh ochistki vody* [Coagulants and flocculants in the water treatment processes]. Leningrad: Khimiya; 1987. 208 p. Russian.

6. Kulikov NI, Naymanov AY, Omelchenko NP, Chernyshov VN. *Teoreticheskiye osnovy ochistki vody* [Theoretical foundations of water treatment]. Makeyevka: Donbasskaja natsionalnaja akademija gr-va i arkhitektury; 2009. 297 p. Russian.
7. Shachneva EY. *Fiziko-khimiya adsorbtsiyi flokulyantov i sinteticheskikh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na sorbente SV-1-A* [Physics/chemistry of flocculants and synthetic surface-active substances with SV-1-A sorbent] [PhD thesis]. Makhachkala: [publisher unknown]; 2011. 23 p. Russian.
8. Shachneva EY. *Fiziko-khimiya adsorbtsiyi flokulyantov i sinteticheskikh poverkhnostnoaktivnykh veshchestv na sorbente SV-1-A* [Physics/chemistry of flocculants and synthetic surface-active substances with SV-1-A sorbent] [dissertation]. Makhachkala: [publisher unknown]; 2011. 139 p. Russian.
9. Shachneva EY. *Primeneniye flokulyantov seriyi AK-631 dlya koagulyatsionno-flokulyatsionnoy ochistki stochnykh vod promyshlennykh predpriyatij* [The use of AK-631 series flocculants for coagulation/flocculation treatment of industrial waste water]. *Voda I ekologiya: problemy i resheniye*. 2017;4(72):62–71. DOI: 10.23968/2305–3488.2017.22.4.62–71. Russian.
10. Buzayeva MV, Semenov VV, Osipov PO, composition. *Osnovy promyshlennoy ekologiyi: metodicheskiye ukazaniya k laboratornym rabotam po distsipline «Osnovy promyshlennoy ekologiyi»* [Industrial ecology foundations: methodical instructions to laboratory works on the «Foundations of industrial ecology» discipline]. Ulyanovsk: UIGTU; 2008. 31 p. Russian.
11. Dryabina SS, Shulevich YV, composition. *Metodicheskiye ukazaniya k laboratornym rabotam No 3 and 4 on colloid chemistry* [Methodical instructions to colloid chemistry laboratory works No 3 and 4]. Volgograd: IUNL VolgGTU; 2013. 40 p. Russian.
12. *Khimiya protsessov ochistki prirodnnykh i stochnykh vod* [Chemistry of the natural and waste water treatment processes]. Khabarovsk: DVGUPS; 2014. 92 p. Russian.
13. Malysheva ZhN, Dryabina SS, Navrotsky AV, Mokharam R, Novakov IA. *Kinetika flokulyatsii suspenzii kaolina kationnymi polielektrolitami* [Kinoline suspension flocculation kinetics by cationic polyelectrolytes]. *Bulletin of Volgograd State Technical University*. 2009;3:128–133. Russian.
14. Proskurina VYe. *Kinetika sedimentatsii suspenzii okhry v rezhime svobodnogo osedaniya v prisutstvii poliakrilamidnykh flokulyantov* [Kinetics of sedimentation of an ochry suspension in the regime of free sedimentation in the presence of polyacrylamide flocculants]. Kazan: Kazan state technological university; 2004. 24 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 15.02.2022.  
Received by editorial board 15.02.2022.