

На правах рукописи

ШАЧНЕВА ЕВГЕНИЯ ЮРЬЕВНА

**ФИЗИКО-ХИМИЯ АДСОРБЦИИ ФЛОКУЛЯНТОВ И
СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ НА СОРБЕНТЕ СВ-1-А**

Специальность 02.00.04 – Физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Махачкала – 2011

Работа выполнена на кафедре аналитической и физической химии
ФГОП «Астраханский государственный университет»

Научный руководитель: доктор химических наук,
профессор Алыков Нариман Мирзаевич

Официальные оппоненты: доктор химических наук, профессор
Хентов Виктор Яковлевич
(ЮРГТУ, г. Новочеркасск)

доктор физико-математических наук,
первый зам. председателя ДНЦ РАН
Гафуров Малик Магомедович

Ведущая организация: ОГОУ ВПО «Астраханский инженерно-
строительный институт»

Защита состоится 18 марта 2011 года в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.053.06 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата химических наук при Дагестанском государственном университете по адресу: 367001, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а, химический факультет, аудитория 28.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Дагестанского государственного университета

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 367001, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а, Дагестанский государственный университет; факс (8722) 68-23-26; e-mail: hmgas@mail.ru.

Автореферат разослан 17 февраля 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат химических наук, доцент



Гасанова Х.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Среди распространенных загрязнителей природных вод значительное место занимают синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) и флокулянты.

Использование флокулянтов и поверхностно-активных веществ определяется их поверхностной активностью, структурой адсорбционных слоев и объемными свойствами растворов, их используют 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.

Наилучшим способом удаления флокулянтов и поверхностно-активных веществ из вод различного происхождения является сорбция. Для очистки вод используется богатый арсенал сорбентов, вместе с тем, если для поверхностно-активных веществ теоретические положения сорбции достаточно хорошо разработаны, то для флокулянтов это новая задача. Нет сведений о сорбции флокулянтов на различных сорбентах, в которых хоть как-то учитывалось бы влияние на сорбцию толщины диффузного слоя и толщины гидратной оболочки частиц. Практически нет исследований по оценке зависимости констант сорбции и энергии взаимодействия частиц в системе сорбент–сорбат и сорбент–сорбент. Именно эти актуальные задачи решаются в данной работе.

Цель работы – изучение закономерностей адсорбции флокулянтов и синтетических поверхностно-активных веществ на сорбенте СВ-1-А.

Для решения поставленной задачи проводились следующие исследования:

- разработка физико-химических основ получения нового сорбента СВ-1-А и изучение его характеристик;
- изучение физико-химических характеристик водных растворов флокулянтов серии АК-631(Н-150, КП-1020, А-155, А-930, А-1510, КП-540) в зависимости от ионной силы раствора;
- изучение изотерм сорбции и термодинамических характеристик сорбционных процессов (изменение энтальпии, изобарно-изотермического потенциала и энтропии сорбции);
- изучение кинетики сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А;
- изучение влияния ионной силы растворов на динамику сорбционных процессов и основные термодинамические характеристики;
- возможность очистки воды от флокулянтов, на основе акриламида, и поверхностно-активных веществ с использованием сорбента СВ-1-А.

Рассматриваемые проблемы должны стать основой методов сорбции флокулянтов и поверхностно-активных веществ из вод различного происхождения.

Научная новизна. Из опок Астраханской области, портландцемент-500 и диоксида марганца создан новый сорбент, который эффективно сорбирует флокулянты на основе акриламида и поверхностно-активные вещества (сорбент СВ-1-А).

На основании теоретических и экспериментальных исследований адсорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А из водных растворов, установлено влияние ионной силы растворов на основные сорбционные характеристики (константы, термодинамические характеристики сорбционных процессов, а также их взаимосвязь с основными физико-химическими характеристиками водных растворов флокулянтов).

Практическая значимость. Разработанный сорбент СВ-1-А использован для сорбции веществ, а также очистки воды от флокулянтов и поверхностно-активных веществ. Кроме того, способ получения сорбента СВ-1-А может быть изменен, с целью получения других сорбентов, с необходимыми свойствами, если вместо диоксида марганца (пиролюзита MnO_2) использовать другие окислители или комплексообразователи. Результаты теоретических и экспериментальных исследований нашли применение при чтении лекций и проведении лабораторно – практических занятий учебных курсов «Химия», «Химия окружающей среды» для студентов химического, математического и геолого-географического факультетов, а также студентов отделения физики и электроники.

На защиту выносятся:

- разработка физико-химических основ получения сорбента СВ-1-А и его основные характеристики;
- результаты изучения физико-химических характеристик водных растворов флокулянтов;
- результаты изучения изотерм сорбции и термодинамики сорбции флокулянтов и поверхностно-активных веществ (на примере неионогенных поверхностно-активных веществ) на сорбенте СВ-1-А;
- результаты изучения кинетики сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А;
- результаты изучения влияния ионной силы растворов на динамику сорбционных процессов и основные термодинамические характеристики;
- результаты очистки воды от флокулянтов и поверхностно-активных веществ с использованием сорбента СВ-1-А.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на различных Международных и Российских конференциях, среди которых: Международная научно-практическая конференция «Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования» (Астрахань, 2007 г), Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию факультета защиты растений и агроэкологии (Саратов, 2007), II Международная конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы

современной химии» (Астрахань, 2008), III Международная конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов» (Астрахань, 2009), VIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и научных работников «Геология, география и глобальная энергия: Международные и отечественные технологии освоения природных ресурсов и глобальной энергии» (Астрахань, 2009), Международная научно-практическая конференция «Чистая вода – 2009» (Кемерово, 2009), II Всероссийская научная конференция «Научное творчество XXI века» (Красноярск, 2010), Международная научная конференция «Инновационные технологии в управлении, образовании и промышленности «АСТИНТЕХ-2010» (Астрахань, май 2010), VII Всероссийская интерактивная (с международным участием) конференция молодых ученых «Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии» (Саратов, 2010), Научная региональная конференция с международным участием «Химия – 2010. Нанохимия» (Дубна, 2010).

В целом, работа доложена на расширенном заседании кафедры аналитической и физической химии Астраханского государственного университета (Астрахань, 2010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ: в том числе 6 статей в журналах и 13 статей и тезисов докладов в материалах Международных и Всероссийских конференций.

Структура и объем работы. Работа изложена на 139 страницах машинописного текста, состоит из введения, 3 глав, выводов и списка, используемой литературы из 172 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. Содержит 124 рисунка и 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, определена практическая значимость, приведены данные о структуре и объеме работы.

В первой главе представлен обзор строения, свойств, применения флокулянтов и поверхностно-активных веществ в промышленности и быту. Сделан вывод о необходимости изучения адсорбции веществ на сорбенте СВ-1-А.

Во второй главе приведены основные реактивы и приборы, используемые в анализе, характеристика объектов и методов исследования. Представлены экспериментальные методики исследования, способ получения сорбента СВ-1-А, а также основные характеристики сорбента.

В третьей главе приведены результаты изучения физико-химических характеристик водных растворов флокулянтов в зависимости от ионной силы раствора. Представлены результаты сорбции веществ на сорбенте СВ-1-А (предельная емкость сорбента, константы сорбции, термодинамические характеристики сорбции, влияние температуры и ионной

силы раствора на динамику сорбционных процессов и основные термодинамические характеристики). Приведены основные параметры кинетики сорбции, а также исследована возможность использования сорбента СВ-1-А для очистки воды от флокулянтов и поверхностно-активных веществ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Способ получения сорбента СВ-1-А. К 100 г тонкоизмельченной опоки с размерами частиц около 0,01 мм в поперечнике (месторождение с. Каменный Яр Астраханской области) вносят 100 г портландцемента-500, 10 г тонкоизмельченного пиролюзита (MnO_2), 25 см³ 10 %-ного раствора хлорида натрия, полученную смесь тщательно перемешивают. Массе дают подсохнуть до состояния, когда из нее можно сформовать гранулы, высушивают при температуре 100-105⁰С, далее дают изделию отвердеть, на что уходит 3-4 суток. Полученный материал выдерживают в воде до тех пор, пока реакция на хлорид-ион будет отрицательной и высушивают при температуре 100-105⁰С.

Для создания сорбента с большим числом микропор в смесь «опока – портландцемент-500 – пиролюзит» вносили раствор хлорида натрия. После вымывания хлорида натрия из готового сорбента формируется пористый материал, обладающий высокой сорбционной емкостью и, одновременно, высокой прочностью. Смысл введения пиролюзита заключается в получении сорбента, который окисляет низкомолекулярные органические и неорганические соединения. Выбор окислителя обусловлен тем, что пиролюзит (MnO_2) представляет собой природный минерал, нерастворимый в воде, обладающий высокой окислительной активностью, низкой себестоимостью.

Основные характеристики сорбента СВ-1-А

Исследование физико-химических свойств сорбента СВ-1-А включало следующие этапы: определение пористости сорбента по ацетону, суммарного объема пор сорбента по воде ($V_{сум}$), содержания влаги в сорбенте и рН водной суспензии сорбента (табл.1).

Таблица 1. Основные физико-химические характеристики сорбента СВ-1-А

Диаметр частиц, мм	Пористость по ацетону, %	$V_{сум}$ пор по воде $\times 10^3$, м ³ /кг	Содержание влаги, %	рН водной суспензии
0,001-20	40	0,95	1,0	7,0

Исследование адсорбционно-структурных характеристик сорбента СВ-1-А включало определение удельной поверхности путем исследования адсорбции изопропанола из растворов различной концентрации, а также определение насыпной плотности, истираемости сорбента (табл. 2).

Таблица 2. Основные адсорбционно-структурные характеристики сорбента СВ-1-А

Диаметр частиц, мм	Насыпная плотность, г/см ³	Истираемость, %	Удел. поверхность, м ² /г
0,001-20	0,88	0,45	840

Из табл. 1 и 2 видно, что сорбент СВ-1-А обладает высокими адсорбционными характеристиками: высокой пористостью, большой удельной поверхностью (при различном диаметре частиц), что дает возможность считать, что рассматриваемый сорбент можно использовать для сорбции поверхностно-активных веществ и флокулянтов на основе акриламида, представляющих собой частицы больших размеров.

Высокие значения насыпной плотности и истираемости частиц позволяют сделать вывод о том, что частицы сорбента СВ-1-А – это прочные образования, сохраняющие свою форму и размеры при перемешивании, небольших механических воздействиях и при истирании.

Влияние ионной силы растворов на физико-химические характеристики водных растворов флокулянтов

В исследовании использовались флокулянты серии АК-631(Н-150, КП-1020, КП-540, А-155, А-930, А-1510) (ТУ 6-02-00209912-41-94; тех.регламент от 20.06.98 г; изготовитель – ФГУП «Саратовский НИИ Полимеров «ООО «Гель-Сервис» г. Саратов).

Сравнение методов изучения сорбции флокулянта КП-1020 на сорбенте СВ-1-А позволило установить, что значения констант сорбции, основных термодинамических характеристик, констант кинетики сорбции, энергии активации, изменение энтропии образования сорбционных комплексов имеют близкие значения. Вместе с тем, использование спектрофотометрии для изучения сорбционных процессов в системе флокулянты–сорбенты имеет ограничение, так как только катионные флокулянты также как и катионные поверхностно-активные вещества способны образовывать с органическими реагентами (индикаторами) в присутствии ионов металлов из представителей *p*- и *f*- элементов трехкомпонентные соединения, обладающие характерными полосами поглощения. Катионные флокулянты и катионные поверхностно-активные вещества образуют с органическими реагентами, являющимися анионами ионные пары, также как и анионные флокулянты с катионными индикаторами. При формировании ионных пар полоса поглощения индикатора не смещается в какую-либо область спектра, при этом возникает необходимость выделения из растворов с использованием экстракции. В связи с этим, задача исследования сорбции флокулянтов может быть успешно решена с использованием вискозиметрического метода. Именно вискозиметрический метод был выбран

нами в качестве основы для изучения сорбционных процесса флокулянтов с сорбентов СВ-1-А.

Расчет размеров частиц флокулянтов методом Геллера. Размеры частиц в водно-солевых растворах изучены по методу Геллера. Для описания светорассеяния в коллоидной системе можно воспользоваться эмпирическим уравнением:

$$A = k \cdot I^{-n}, \quad (1)$$

где k - константа, не зависящая от длины волны, A - оптическая плотность раствора, λ - длина волны падающего света.

Значение показателя степени n зависит от соотношения между размером частицы и длиной волны падающего света, характеризуемого параметром Z :

$$Z = 8\rho \cdot r/\lambda, \quad (2)$$

где r - радиус частиц, λ - среднее значение длины волны падающего излучения.

По величине n находят соответствующее значение Z , а затем по формуле (2) рассчитывают средний радиус частиц исследуемой дисперсной системы. На основании полученных результатов были построены зависимости « $\lg A - \lg \lambda$ », а с использованием уравнения (2) рассчитаны радиусы частиц (табл. 3).

Таблица 3. Радиусы частиц флокулянтов

Флокулянт	n	Z	Радиус частиц r , нм
КП-1020	0,5	12,0	224,5
КП-540	0,4	12,5	233,9
А-155	0,5	12,0	224,5
А-1510	0,5	12,0	224,5
А-930	0,4	12,5	233,9
Н-150	0,4	12,5	233,9

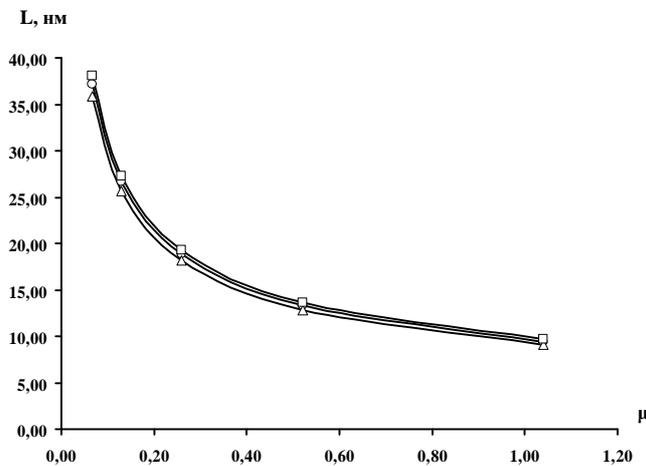
Установлено, что ионная сила растворов не влияет на значение радиусов частиц флокулянтов, так как исходя из графических зависимостей, получены равные значения показателя n в уравнении Геллера при всех ионных силах раствора для каждого из флокулянтов этой серии. Это говорит о том, что значение показателя Z также будет постоянным, а, следовательно, и значения радиусов частиц флокулянтов останутся постоянными.

Толщина диффузного слоя частиц флокулянтов. Для нахождения толщины диффузного слоя было использовано уравнение:

$$L = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot R \cdot T}{2 \cdot F^2 \cdot \mu}}, \quad (3)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды; ε_0 - электрическая проницаемость дисперсионной среды; $R=8,313$ Дж/моль·К; $T = 298$ К; $F = 96500$ Кл; μ – ионная сила раствора.

Результаты расчетов толщины диффузного слоя частиц флокулянтов при различной ионной силе растворов приведены на рис. 1. Исходя из представленной графической зависимости влияния ионной силы на толщину диффузного слоя частиц флокулянтов при различных температурах,



необходимо отметить следующую зависимость: с увеличением ионной силы растворов толщина диффузного слоя частиц флокулянтов уменьшается. С ростом температуры, при одинаковой ионной силе растворов, толщина диффузного слоя частиц флокулянтов увеличивается.

Рис. 1. Влияние ионной силы растворов на толщину диффузного слоя флокулянтов в водных растворах:
 Δ -277 К; \square -298 К; \circ -313 К

Толщина гидратной оболочки. Для определения толщины гидратной оболочки была рассчитана вязкость растворов флокулянтов в зависимости от ионной силы растворов. Для этого измеряли время истечения одинаковых объемов исследуемой жидкости $\tau_{ж}$ и чистой воды $\tau_{в}$. Вязкость определяли по формуле:

$$\eta_{ж} = \eta_{в} \cdot \frac{\tau_{ж}}{\tau_{в}}, \quad (4)$$

Объемную долю дисперсной фазы с гидратными оболочками находили по формуле Эйнштейна:

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 - \alpha \cdot j), \quad (5)$$

где η - вязкость системы с концентрацией φ (г/дм³), η_0 - вязкость воды, α - коэффициент формы частиц.

Объемную долю дисперсной фазы без гидратных оболочек (φ^I) рассчитывали по формуле:

$$j^I = \frac{j/\rho}{j/\rho + j_{в}/\rho_{в}}, \quad (6)$$

где φ - концентрация флокулянта (г/дм³), $\varphi_{в}$ - концентрация воды (г/дм³), ρ - плотность раствора флокулянта (кг/м³), $\rho_{в}$ - плотность воды (кг/м³).

Толщину гидратных оболочек частиц флокулянтов рассчитывали по формуле:

$$\delta = r \cdot \left(\frac{j_{г}}{j^I} \right)^{\frac{1}{3}} - 1, \quad (7)$$

где r - радиус частиц, ϕ^I - объемная доля дисперсной фазы без гидратных оболочек, $\phi_{Г}$ - объемная доля дисперсной фазы с гидратными оболочками.

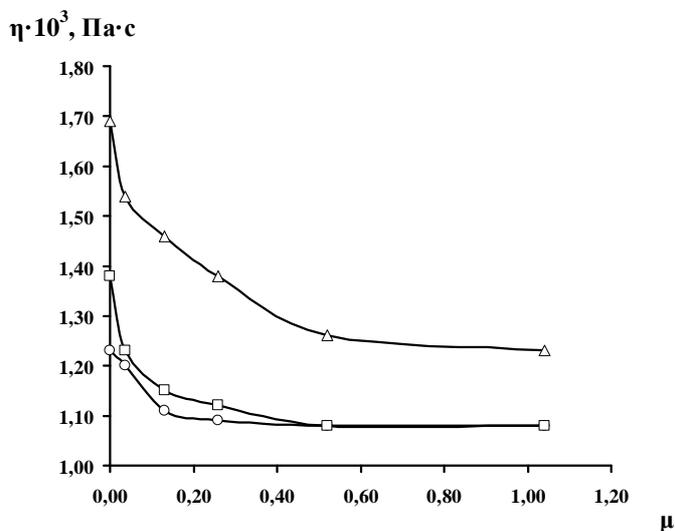


Рис. 2. Зависимость вязкости от ионной силы растворов флокулянта КП-1020: Δ -277 К; \square -298; \circ -313 К

В качестве примера графическая зависимость изменения вязкости от величины ионной силы раствора для флокулянта КП-1020 представлена на рис. 2.

Толщина гидратной оболочки напрямую зависит от вязкости растворов и величины объемной доли дисперсной фазы с гидратными оболочками, которые уменьшаются с увеличением ионной силы растворов.

Как видно из рисунка с увеличением ионной силы растворов величина вязкости растворов уменьшается, толщина гидратных оболочек частиц флокулянтов также равномерно уменьшается.

С увеличением же температуры толщина гидратной оболочки уменьшается, это связано с уменьшением вязкости растворов, как и величины объемной доли дисперсной фазы с гидратными оболочками.

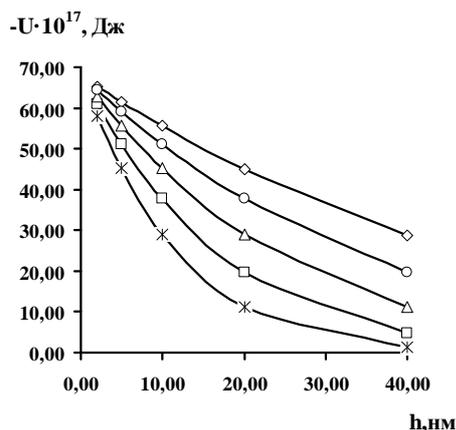
Энергия взаимодействия частиц флокулянтов в водных растворах. Энергию взаимодействия частиц флокулянтов в зависимости от расстояния между ними (h) и при различной ионной силе растворов рассчитывали с использованием уравнения Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО):

$$U = U_{\text{э}} + U_{\text{м}} = 2\pi\epsilon_0\epsilon r j_d^2 \ln(1 + e^{-ch}) - \frac{A^* r}{12h}, \quad (8)$$

где $U_{\text{э}}$ - энергия электростатического отталкивания частиц, $U_{\text{м}}$ - энергия их молекулярного притяжения, ϵ_0 - электрическая постоянная, ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды, A^* - константа Гамакера, параметр $\chi = 1/L$ (нм⁻¹), где L - толщина диффузного слоя.

Расстояния между поверхностями частиц флокулянтов, нм: $h = 2, 5, 10, 20$ и 40 . Величина ζ - потенциал частицы флокулянта, которую лучше всего представлять как величину дзета - потенциала ($\zeta = \phi_{\delta}$) (100 мВ).

В качестве примера на рис. 3 приведены потенциальные кривые взаимодействия частиц в водном растворе флокулянта КП-1020 при $T=298$ К.



Как видно из представленных зависимостей, с увеличением расстояния энергия взаимодействия частиц флокулянтов равномерно увеличивается.

Рис. 3. Зависимость суммарной энергии взаимодействия двух частиц флокулянта КП-1020 от расстояния между их поверхностями, при различной ионной силе растворов: \diamond -0,07; \circ -0,13; Δ -0,26; \square -0,52; $*$ -1,04 ($T=298$ К)

Адсорбция флокулянтов на сорбенте СВ-1-А

Исследование включало в себя построение изотерм сорбции, расчет предельной емкости сорбента, констант сорбции, термодинамических характеристик (изменение энтальпии (ΔH), изобарно-изотермического потенциала (ΔG), энтропии (ΔS)).

По градуировочным графикам, полученным для каждого из флокулянтов, определяли равновесные концентрации исследуемых веществ. Опыты проводили при 277, 298, 313 К. Строили изотермы сорбции в координатах «сорбция Γ – равновесная концентрация c ».

Сорбцию (Γ) рассчитывали по уравнению:

$$\Gamma = \frac{(C_{\text{исх}} - c) \cdot V}{1000 \cdot m}, \quad (9)$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация сорбата, г/дм³; V – объем исследуемого раствора, см³; c – остаточная (равновесная) концентрация сорбата, г/дм³; m – масса сорбента, г.

Константы сорбции и емкость сорбента (Γ_{∞}) рассчитывались графическим путем с использованием уравнения Ленгмюра в прямолинейной форме:

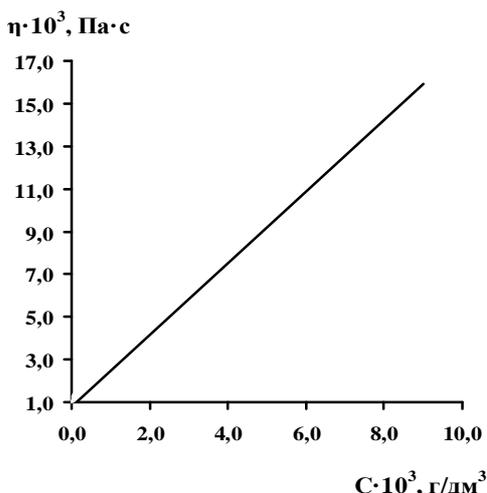
$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\infty}} + \frac{1}{\Gamma_{\infty} \cdot K} \cdot \frac{1}{c}, \quad (10)$$

Графическая зависимость $1/\Gamma = f(1/c)$ выражается прямой, пересекающей ось ординат. Отрезок, отсекаемый от оси ординат, определяет величину, обратную емкости монослоя ($1/\Gamma_{\infty}$).

Тангенс угла наклона прямой позволяет найти константу адсорбционного равновесия K :

$$K = 1/\Gamma_{\infty} \cdot \text{tg} \alpha, \quad (11)$$

В качестве примера на рис. 4. приведена зависимость вязкости флокулянта КП-540 от концентрации при 298 К.



Изучение сорбции проводили при температурах $T_1=277$ К, $T_2=298$ К, $T_3=313$ К по изотермам сорбции рассчитаны константы сорбции K_1 , K_2 , K_3 , а по ним изменение энтальпии (ΔH) и изобарно-изотермического потенциала сорбции (ΔG), а также величины изменения энтропии сорбции (ΔS) (уравнения 13-15):

Рис. 4. Зависимость вязкости исходного раствора флокулянта КП-540 от концентрации при 298 К

$$\Delta H = \frac{RT_i T_k \ln \frac{K_i}{K_k}}{T_i - T_k}, \quad (12)$$

$$\Delta G_i = -RT_i \ln K_i, \quad (13)$$

$$\Delta S_i = \frac{\Delta H - \Delta G_i}{T_i}, \quad (14)$$

Результаты опытов и расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Основные характеристики сорбции флокулянтов на СВ-1-А ($n = 6$, $P = 0,95$, $t_p = 2,57$)

Определяемая характеристика	Температура, К	Флокулянт					
		Н-150	КП-1020	КП-540	А-155	А-930	А-1510
1	2	3	4	5	6	7	8
Константы сорбции $\cdot 10^{-2}$	277	1,62± 0,16	0,05± 0,005	0,32± 0,03	0,17± 0,01	0,20± 0,02	0,30± 0,03
	298	0,81± 0,08	0,10± 0,01	0,40± 0,04	0,57± 0,05	0,40± 0,04	0,47± 0,04
	313	0,90± 0,09	0,55± 0,05	1,20± 0,12	0,23± 0,02	0,33± 0,03	0,36± 0,03
- ΔG , кДж/моль	277	26,98 ±2,60	8,53± 0,80	30,19 ±3,00	11,78 ±1,10	15,89 ±1,50	20,75 ±2,00
	298	25,05 ±2,50	13,18 ±1,30	34,18 ±3,40	23,05 ±2,30	21,05 ±2,00	21,97 ±2,00
	313	26,94 ±2,60	24,01 ±2,40	52,28 ±5,20	14,60 ±1,40	20,96 ±2,00	21,57 ±2,00
- ΔH , кДж/моль	В пределах от 277 до 313 К	3,82± 0,30	8,31± 0,80	1,08± 0,10	3,73± 0,30	5,17± 0,50	4,24± 0,40

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
ΔS , Дж·моль/К	277	75,44 ±7,50	0,80± 0,08	10,51 ±1,00	29,06 ±2,90	36,78 ±3,60	55,09 ±5,50
	298	71,23 ±7,10	16,33 ±1,60	11,11 ±1,10	64,83 ±6,40	53,29 ±5,30	59,48 ±5,90
	313	73,41 ±7,00	50,16 ±5,00	16,36 ±1,60	34,73 ±3,40	50,45 ±5,00	55,36 ±5,50
Емкость сорбента (G_{∞}), мг/г	277	16,60 ±1,60	20,00 ±2,00	10,00 ±1,00	10,00 ±1,00	5,00± 0,50	33,33 ±3,30
	298	10,00 ±1,00	50,00 ±5,00	11,10 ±1,10	20,00 ±2,00	50,00 ±5,00	50,00 ±5,00
	313	11,10 ±1,10	50,00 ±5,00	14,30 ±1,40	16,60 ±1,60	50,00 ±5,00	45,50 ±4,50

Анализ полученных результатов позволяет сделать заключение о том, что сорбция флокулянтов на сорбенте СВ-1-А возрастает с повышением температуры, что свидетельствует о процессах хемосорбции. Величины изменения изобарно-изотермического потенциала свидетельствуют о самопроизвольном характере процесса сорбции.

Кинетика сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А

Изучение кинетики сорбции флокулянтов включало в себя построение изотерм кинетики сорбции на основании измерения вязкости растворов во времени, расчет констант скорости сорбции, изменение энтропии образования активированного комплекса $DS^{\#}$, что дает возможность сделать выводы о глубине протекания сорбционных процессов и описания устойчивости адсорбционного комплекса.

Константы скоростей сорбции были рассчитаны по формуле:

$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\eta_0}{\eta_i} \quad (15)$$

где η_0 – исходная динамическая вязкость (Па·с); η_i – вязкость в момент времени τ (Па·с); τ – время (с).

По графикам зависимости Аррениуса в координатах « $\ln K - 1/T$ » рассчитаны величины энергии активации сорбции ($E_{акт}$), а с использованием уравнения Эйринга рассчитано изменение энтропии образования сорбционных комплексов ($\Delta S^{\#}$):

$$\ln PZ_0 = 10,36 + \ln T + \frac{\Delta S^{\#}}{R} \quad (16)$$

В (16) PZ_0 – предэкспоненциальный фактор в уравнении Аррениуса, $\Delta S^{\#}$ - изменение энтропии активации формирования активированного комплекса, R – газовая постоянная, T - температура.

Результаты расчетов констант скоростей сорбции, $E_{акт}$ и $\Delta S^{\#}$ на сорбенте СВ-1-А различных флокулянтов приведены в табл. 5.

Таблица 5. Термодинамические характеристики кинетики сорбции флокулянтов на СВ-1-А ($n = 6$, $P = 0,95$, $t_p = 2,57$)

Определяемая характеристика	Температура, К	Флокулянт					
		Н-150	КП-1020	КП-540	А-155	А-930	А-1510
Константы скоростей $K \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ при температурах, К	277	2,21± 0,20	1,07± 0,11	1,71± 0,17	1,37± 0,13	1,15± 0,11	1,23± 0,12
	298	1,99± 0,19	2,48± 0,20	1,76± 0,17	1,84± 0,18	7,35± 0,73	2,86± 0,28
	313	1,96± 0,19	2,84± 0,20	1,79± 0,17	1,78± 0,17	6,42± 0,64	1,33± 0,13
$E_{\text{акт}}$, кДж/моль	В пределах от 277 до 313 К	3,80± 0,30	8,30± 0,80	1,10± 0,10	3,75± 0,30	5,20± 0,50	4,24± 0,40
$-\Delta S^\ddagger$, Дж/моль·К	277	2,55± 0,25	2,49± 0,25	2,42± 0,20	2,45± 0,24	2,58± 0,26	2,45± 0,24
	298	2,54± 0,25	2,50± 0,25	2,43± 0,24	2,47± 0,24	2,61± 0,26	2,47± 0,24
	313	2,53± 0,25	2,51± 0,25	2,44± 0,24	2,46± 0,24	2,59± 0,26	2,46± 0,25

Практически для всех изученных сорбционных процессов характерен достаточно крутой начальный участок изотерм кинетики сорбции. Как видно из результатов опытов, сорбция протекает достаточно быстро, и заканчивается за две минуты, что позволяет сделать вывод о том, что сорбат практически полностью сорбируется на СВ-1-А.

Величина изменения энтропии сорбции показывает, что вначале формируется неустойчивый адсорбционный комплекс ($-\Delta S^\ddagger \sim 2,5$ Дж/моль·К). Далее происходит переформирование активированного комплекса, в результате чего активированный комплекс становится более устойчивым, этот процесс характеризуется увеличением энтропии. Это может быть связано с аттракционным взаимодействием в среде сорбат – сорбат.

Влияние ионной силы на основные характеристики сорбционных процессов

Изучено влияние ионной силы на основные характеристики сорбционных процессов. Исследование включало в себя построение графических зависимостей влияния ионной силы растворов на константы сорбционного равновесия, основные термодинамические характеристики процессов. Предполагалось, что ионная сила растворов окажет влияние как на физико-химические характеристики водных растворов флокулянтов (толщину диффузного слоя, толщину гидратной оболочки, энергию взаимодействия частиц), так и на основные характеристики сорбционных процессов.

Из представленных ранее результатов видно, что с ростом ионной силы растворов толщина диффузного слоя частиц флокулянтов уменьша-

ется, такая же зависимость наблюдается и с толщиной гидратной оболочки, которая напрямую зависит от вязкости растворов и величины объемной доли дисперсной фазы с гидратными оболочками, которые уменьшаются с увеличением ионной силы растворов.

С увеличением же температуры толщина диффузного слоя частиц флокулянтов увеличивается, толщина гидратной оболочки при этом в основном уменьшается, так как вязкость растворов уменьшается, как и величина объемной доли дисперсной фазы с гидратными оболочками. Эти результаты представлены нами ранее.

На рис. 5-7 представлены графические зависимости влияния ионной силы растворов на основные характеристики сорбционных процессов для флокулянта КП-1020.

Необходимо отметить, что с увеличением температуры величины констант сорбции также увеличиваются, при этом происходит уменьшение величины изобарно-изотермического потенциала, а также энтальпии сорбции, что говорит об образовании более прочных соединений.

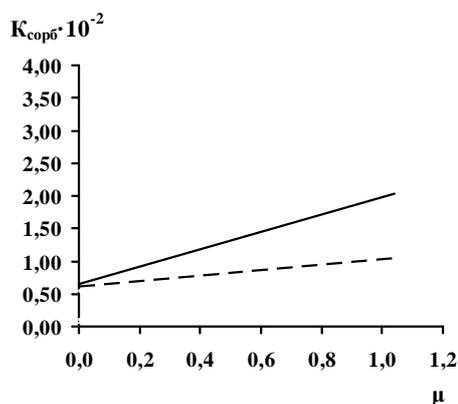


Рис. 5. Зависимость констант сорбции от ионной силы растворов флокулянта КП-1020: «—»-298 К; «- -» - 277 К

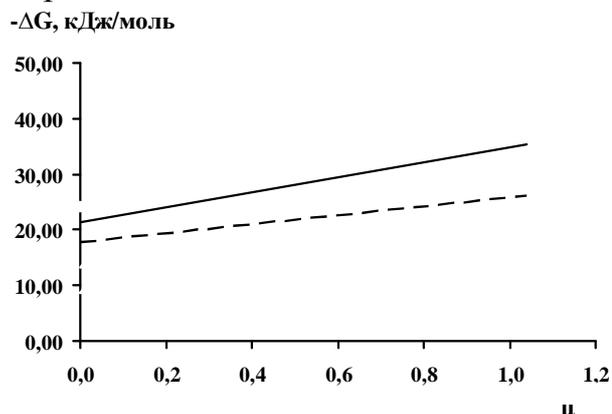


Рис. 6. Зависимость величины изобарно-изотермического потенциала от ионной силы растворов флокулянта КП-1020: «—»-298 К; «- -» - 277 К

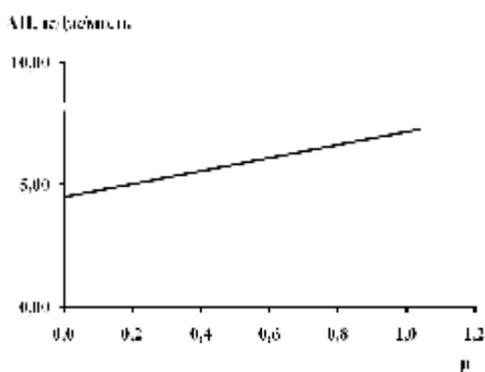


Рис. 7. Зависимость изменения энтальпии от ионной силы растворов флокулянта КП-1020

На рис. 8 представлена графическая зависимость влияния толщины диффузного слоя на величину константы сорбции флокулянта КП-1020.

Между константой сорбции и энергией взаимодействия частиц имеется определенная зависимость, чем меньше расстояние между частицами, тем энергия взаимодействия частиц будет меньше, и при этом константа сорбции также уменьшается.

С увеличением расстояния между частицами в какой-то момент энергия взаимодействия частиц увеличивается и при этом увеличивается константа сорбции.

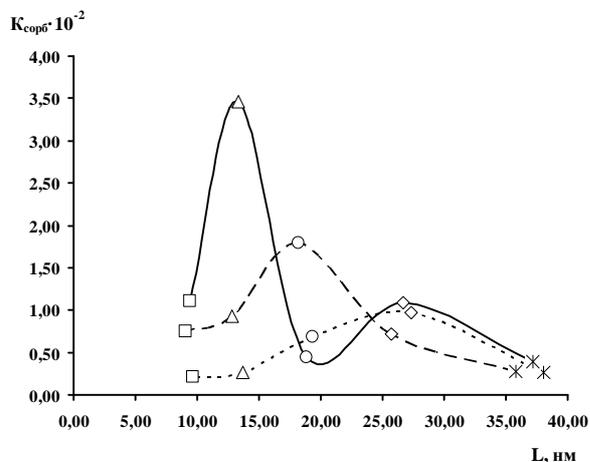


Рис. 8. Зависимость констант сорбции от толщины диффузного слоя флокулянта КП-1020: «—»-298 К; «-» - 277 К; «·» - 313 К (□-0,07; Δ-0,13; ○-0,26; ◇-0,52; +1,04)

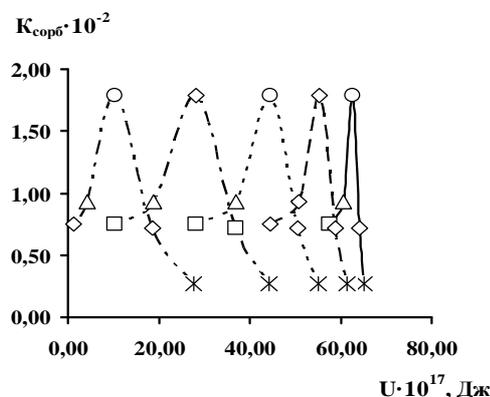


Рис. 9. Зависимость констант сорбции от энергии взаимодействия частиц флокулянта КП-1020 при $T=277$ К и h : «—»-2; «-» - 5; «·» - 10; «-»-20; «-» - 40 нм (□-0,07; Δ-0,13; ○-0,26; ◇-0,52; +1,04)

На рис. 9. приведена зависимость констант сорбции от величины энергии взаимодействия частиц для флокулянта КП-1020 ($T=277$ К).

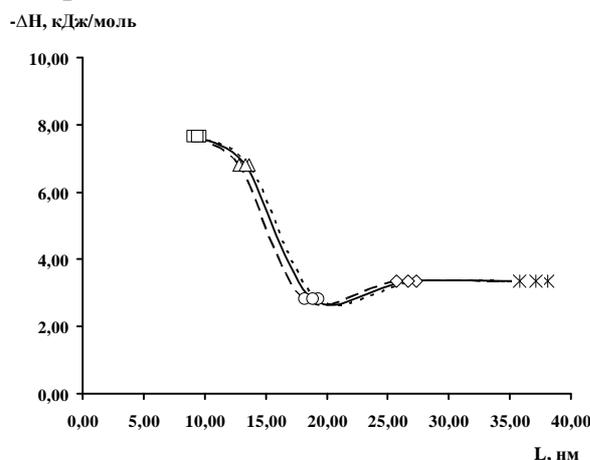


Рис. 10. Зависимость изменения энтальпии сорбции от толщины диффузного слоя флокулянта КП-1020: «—»-298 К; «-» - 277 К; «·» - 313 К (□-0,07; Δ-0,13; ○-0,26; ◇-0,52; +1,04)

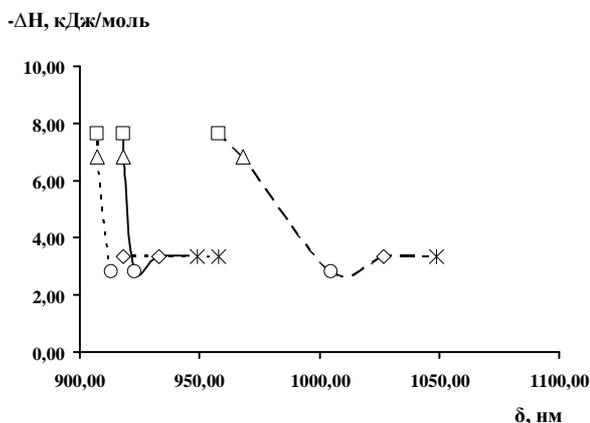


Рис. 11. Зависимость изменения энтальпии сорбции от толщины гидратной оболочки флокулянта КП-1020: «—»-298 К; «-» - 277 К; «·» - 313 К (□-0,07; Δ-0,13; ○-0,26; ◇-0,52; +1,04)

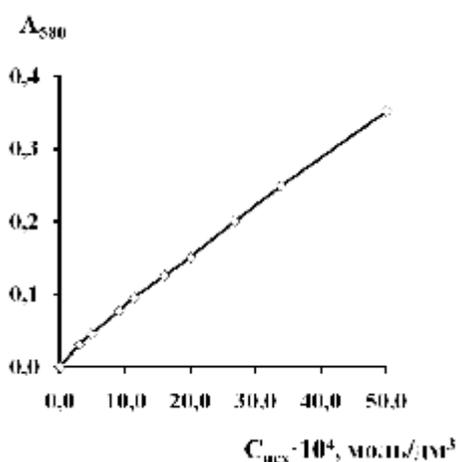
На рис. 10 и 11 представлены графические зависимости влияния различных характеристик на величину энтальпии сорбции флокулянта КП-1020.

С увеличением толщины диффузного слоя величина энтальпии сорбции уменьшается.

Адсорбция поверхностно-активных веществ (на примере ОП-10) на сорбенте СВ-1-А

Исследование включало в себя построение изотерм сорбции, расчет предельной емкости сорбента, констант сорбции, термодинамических характеристик (изменение энтальпии (ΔH), изобарно-изотермического потенциала (ΔG), энтропии (ΔS)), что дает возможность сделать выводы о глубине протекания сорбционных процессов и описания устойчивости адсорбционного комплекса.

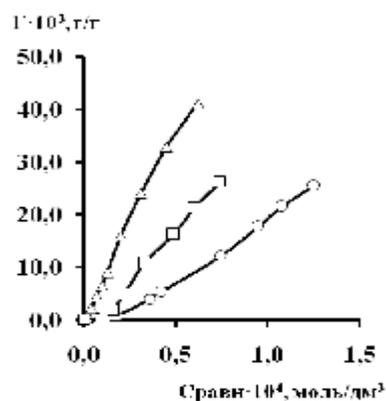
Измеряли оптические плотности растворов при 580 нм в кювете толщиной 1 см относительно воды, по результатам измерений строили градуировочный график (на рис. 12 приведен градуировочный график для ОП-10).



По градуировочным графикам, с использованием результатов опытов, определяли равновесные концентрации исследуемых веществ.

Строили изотермы сорбции в координатах «сорбция Γ – равновесная концентрация C ». Величину сорбции Γ рассчитывали по уравнению (9).

Рис. 12. Зависимость оптической плотности от концентрации ОП-10 до сорбции



В качестве примера на рис. 13 приведены изотермы сорбции ОП-10 на сорбенте СВ-1-А.

Изотермы сорбции (рис. 13) были перерасчитаны в изотермы уравнения Ленгмюра, а с их использованием были рассчитаны константы сорбции K и величина предельной сорбции A_{∞} .

Рис. 13. Изотермы сорбции ОП-10 из водных растворов сорбентом СВ-1-А: -Δ- 277 К; -○- 313 К; -□- 298 К

По величинам констант сорбции были рассчитаны изменение энтальпии (ΔH) и изобарно-изотермического потенциала (ΔG), а с их использованием были рассчитаны значения изменения энтропии (ΔS) (12-14).

В результате расчетов получены следующие основные характеристики сорбции ОП-10 на СВ-1-А, представленные в табл. 6.

Таблица 6. Основные характеристики сорбции ОП-10 на сорбенте СВ-1-А (n=6, P=0,95, t_p=2,57)

Константы сорбции · 10 ² при температурах			-ΔG, кДж/моль при температурах			-ΔH, кДж/моль	ΔS, Дж·моль/К при температурах			Емкость сорбента, A _∞ , мг/г при температурах		
298	277	313	298	277	313		298	277	313	298	277	313
3,2	3,8	1,6	13,8	14,3	13,2	8,313	75,8	79,8	68,7	35,7	41,7	26,3

Анализ результатов позволяет сделать заключение о том, что сорбция поверхностно-активных веществ (на примере ОП-10) на сорбенте СВ-1-А из водных растворов происходит достаточно активно. Полученные результаты позволяют считать, что происходит образование прочных адсорбционных комплексов, при этом емкость сорбента по отношению к поверхностно-активным веществам достаточно высока, что позволяет извлекать из воды достаточно большие количества ОП-10 сорбентом СВ-1-А.

Очистка воды от флокулянтов и поверхностно-активных веществ сорбентом СВ-1-А

Были проведены опыты по очистке воды от флокулянтов и поверхностно-активных веществ сорбентом СВ-1-А. Загрязнители вносили в исходную воду в количествах, указанных в табл. 7, 8. Эффективность очистки рассчитывалась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\% \quad (17)$$

где ε – эффективность очистки, %; C_0 – исходная концентрация, г/дм³; C – остаточная концентрация, г/дм³.

Результаты расчетов эффективности очистки воды от флокулянтов (на примере флокулянта КП-540) и поверхностно-активных веществ (на примере ОП-10) сорбентом СВ-1-А приведены в табл. 7, 8.

Таблица 7. Эффективность очистки воды от флокулянтов сорбентом СВ-1-А

Флокулянт	Исходная концентрация · 10 ³ , г/дм ³	Концентрация после сорбции · 10 ³ , г/дм ³	Эффективность очистки, %
КП-540	0	0	0
	1	0,02	98,00
	2	0,05	97,50
	3	0,08	97,33
	4	0,15	96,25
	5	0,20	96,00
	6	0,23	96,17
	7	0,32	95,43
	8	0,40	95,00
	9	0,50	94,44

Таблица 8. Эффективность очистки воды от поверхностно-активного вещества ОП-10 сорбентом СВ-1-А

Концентрация 10^3 , г/дм ³		Эффективность очистки, %
До сорбции	После сорбции	
0,05	0,02	60,00
0,1	0,04	60,00
0,2	0,069	65,50
0,5	0,098	80,40
1,0	0,128	87,20
2,0	0,2	90,00
3,0	0,31	89,67
4,0	0,45	88,75
5,0	0,69	86,20

Как видно из данных табл. 7 и 8, сорбент СВ-1-А эффективно удаляет синтетические поверхностно-активные вещества и флокулянты со степенью очистки до 98 %.

Кроме того необходимо отметить, что химические показатели воды после очистки сорбентом от тяжелых металлов, нефтепродуктов, фенолов находятся в пределах нормы, аналогичный вывод можно сделать и об органолептических и микробиологических показателях, что говорит об отсутствии токсического действия на живые организмы. Основные показатели сорбента приведены в табл. 9 и 10.

Таблица 9. Показатели качества воды после сорбции на сорбенте СВ-1-А

№ п/п	Определяемые показатели	Результаты исследований; Единицы измерения	Величина допустимого уровня; Единицы измерения
1	Цветность, градусы	15	20
2	Запах при 20° С, баллы	1	2
3	Вкус, баллы	1	2
4	Запах при 60° С, баллы	1	2
5	Мутность, мг/дм ³	1,53	2,6
6	Окисляемость, мг/дм ³	3,52	5,0
7	Азот в мг/л аммиака	0,85 ±0,08	2,0
8	Азот в мг/л нитритов	0,051±0,026	3,0
9	Азот в мг/л нитратов	3,3±0,33	4,0
10	Общая жесткость, мг-экв/дм ³	2,45±0,48	7,0

Таблица 10. Эффективность очистки воды от токсичных ионов металлов и органических соединений сорбентов СВ-1-А

Определяемый показатель	Содержание в мг/дм ³		Эффективность очистки, %
	До сорбции	После сорбции	
1	2	3	4
Токсичные металлы			
Свинец	10,35±1,05	0,01±0,005	99,9

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
Кадмий	5,6±0,5	0,0001±0,0006	99,9
Цинк	3,3±0,5	0,003±0,0003	99,9
Ртуть	10,1±0,8	0,0005±0,00005	99,9
Медь	3,2±0,5	0,003±0,0004	99,9
Кобальт	3±0,2	0,003±0,0004	99,0
Хром (III)	2±0,2	0,005±0,0005	99,7
Хром (VI)	2±0,2	0,005±0,0005	99,7
Органическое загрязнение			
Дизельное топливо	5±0,1	0,01±0,005	99,8
Мазут	5±0,1	0,01±0,005	99,8
Бенз(а)пирен	0,25±0,05	0,000005	99,9
Фенол	1±0,01	0,001±0,0005	99,9
О,м,п-хлорфенолы	1±0,01	0,001±0,0005	99,9
2,4-хлорфенол	0,5±0,01	0,0005±0,0001	99,9
2,4-дихлорфенол	0,5±0,01	0,0005±0,0001	99,9
Диоксины	0,0005	Не обнаружено	100,00

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать заключение о возможности применения сорбента для очистки воды от синтетических поверхностно-активных веществ и флокулянтов как в сети хозяйственно-питьевого водоснабжения, так и в природоохранительных мероприятиях в рабочих зонах промышленных предприятий и жилых помещениях.

Сорбент СВ-1-А после его насыщения можно использовать в качестве материала для засыпки дорог, оврагов, канав и как компонента, входящего в состав строительных материалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Создан сорбент для сорбционного концентрирования полиакриламидных флокулянтов и синтетических поверхностно-активных веществ из водных растворов.
2. Показано, что сорбент обладает высокой удельной поверхностью (840 м²/г); высокой прочностью, так величина истираемости составляет 0,45 %; высоким объемом пор (по воде) - $0,95 \times 10^{-3}$ м³/кг; пористостью по ацетону – 40 %. Установлено, что при диаметре пор от 0,001 до 20 мкм величина насыпной плотности равна 0,88 г/см³, рН водной суспензии – 7, а общее содержание влаги в сорбенте - 1,0%. Сравнение сорбционных свойств сорбента СВ-1-А со свойствами других сорбентов, указывает на гораздо большую сорбционную ёмкость, что связано с его пористой структурой.
3. Проведены расчёты физико-химических характеристик водных растворов флокулянтов (радиусы частиц флокулянтов, толщина диффузного слоя, гидратной оболочки частиц флокулянтов, энергия взаимодействия частиц в растворах). Установлено, что ионная сила растворов не влияет

на величины радиусов частиц флокулянтов, с увеличением ионной силы растворов толщина диффузного слоя частиц флокулянтов уменьшается, толщина гидратных оболочек и энергия взаимодействия частиц флокулянтов равномерно уменьшается с увеличением расстояния между ними.

4. Экспериментально получены изотермы статической сорбции, на основе которых рассчитаны основные параметры сорбции: изменение энтальпии, энтропии и изобарно-изотермического потенциала, а также емкость сорбента для каждого из флокулянтов.
5. Изучение кинетики сорбции флокулянтов с использованием сорбентов позволило установить, что сорбция проходит быстро и заканчивается за 120 с, при этом десорбция с сорбента не наблюдается. Это означает, что очистку воды от флокулянтов можно проводить при высокой скорости пропускания воды.
6. Рассмотрено влияние ионной силы растворов на основные характеристики сорбционных процессов. Установлено, что с увеличением температуры величины констант сорбции увеличиваются, при этом происходит уменьшение величины изобарно-изотермического потенциала, а также энтальпии сорбции, что говорит об образовании более прочных соединений. С увеличением толщины диффузного слоя величина констант сорбции уменьшается. Между константой сорбции и энергией взаимодействия частиц имеется определенная зависимость: чем меньше расстояние между частицами, тем энергия взаимодействия частиц будет меньше, и при этом константа сорбции также уменьшается. С увеличением расстояния между частицами в какой-то момент может энергия взаимодействия частиц увеличиваться и при этом увеличивается константа сорбции.
С увеличением толщины диффузного слоя величина энтальпии сорбции уменьшается.
7. На основе результатов, полученных в ходе исследований, установлена возможность использования сорбента СВ-1-А для очистки воды от поверхностно-активных веществ и флокулянтов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях,
включенных в список ВАК РФ**

1. Шачнева, Е.Ю. Исследование процесса сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2010. – № 8. – Т.53. – С. 50-54.
2. Шачнева, Е.Ю. Сорбент СВ-1-А для очистки воды от флокулянтов [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Экология и промышленность России. – 2010. – № 8. – С. 20-21.

3. Шачнева, Е.Ю. Изучение сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева //Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 8. – С. 39-42.

Статьи в рецензируемых научных журналах

4. Шачнева, Е.Ю. Новые методики определения СПАВ в воде [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева //Экологические системы и приборы. – 2008. – № 5. – С.44-48.
5. Шачнева, Е.Ю. Использование сорбента СВ-1-А для очистки воды от флокулянтов [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Естественные науки. – Изд. дом «Астраханский университет».: Журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2009. - № 4(29). – С. 158-167.
6. Шачнева, Е.Ю. Проблемы очистки воды от поверхностно-активных веществ [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Геология, география и глобальная энергия: Международные и отечественные технологии освоения природных ресурсов и глобальной энергии: VIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и научных работников). – Изд. дом «Астраханский университет».: Научно-технический журнал. – № 2(33). - 2009 г. С.106-111. – 161.

Статьи в материалах международных и всероссийских конференций

7. Шачнева, Е.Ю. Новые методики определения СПАВ в воде [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: Материалы Международной научно-практической конф. – Астрахань. - Изд. дом «Астраханский университет». - август 2007. – С.309. - С. 45-50.
8. Шачнева, Е.Ю. Уровень содержания СПАВ в водах Астраханской области [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию факультета защиты растений и агроэкологии. Материалы конференции / Под ред. А. В. Голубева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов. - Сентябрь 2007. – 264 с. - С. 9-11.
9. Шачнева, Е.Ю. Поиск вариантов комплексного определения ПАВ в окружающей среде [Текст]/ Е.Ю. Шачнева // Фундаментальные и прикладные проблемы современной химии. Материалы II Международной науч. конф. – Астрахань. - Изд. дом «Астраханский университет». - 15-17 апреля 2008. – С. 249-253.
10. Шачнева, Е.Ю. Современное состояние и тенденции развития методов определения поверхностно-активных веществ в окружающей среде [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Фундаментальные и прикладные проблемы современной химии. Материалы III Международной науч. конф. – Астрахань. - Изд. дом «Астраханский университет». - 22-24 апреля 2009. – С. 118-125.

11. Шачнева, Е.Ю. Адсорбция из воды флокулянтов сорбентом СВ-1-А [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // «Чистая вода - 2009». Материалы Международной науч. конф. – Кемерово. - 20-21 октября 2009. – С. 378-383.
12. Шачнева, Е.Ю. Оценка влияния флокулянтов различных классов на природные и промышленные объекты [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // «Чистая вода - 2009». Материалы Международной науч. конф. – Кемерово. - 20-21 октября 2009. – С. 146-151.
13. Шачнева, Е.Ю. Исследование физико-химических свойств частиц флокулянтов в зависимости от ионной силы растворов [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // «Научное творчество XXI века». Материалы II Всероссийской научной конференции». – Красноярск. - март 2010. - №4(10). – часть 5. – С. 28-31.
14. Шачнева, Е.Ю. Сорбция флокулянтов на сорбенте СВ-1-А, полученном на основе опок Астраханской области [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Фундаментальные и прикладные проблемы современной химии. Материалы IV Международной науч. конф. – Астрахань. - Изд. дом «Астраханский университет». - 22-24 апреля 2010. – С. 111-117.
15. Шачнева, Е.Ю. Влияние ионной силы на физико-химические свойства частиц флокулянтов [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Фундаментальные и прикладные проблемы современной химии. Материалы IV Международной науч. конф. – Астрахань. - Изд. дом «Астраханский университет». - 22 -24 апреля 2010. – С. 117 -125.
16. Шачнева, Е.Ю. Очистка воды от поверхностно-активных веществ и флокулянтов на сорбенте СВ-1-А [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Фундаментальные и прикладные проблемы современной химии. Материалы IV Международной науч. конф. – Астрахань. - Изд. дом «Астраханский университет». - 22-24 апреля 2010. – С. 125 -130.
17. Шачнева, Е.Ю. Изучение влияния ионной силы растворов на дисперсность и физико-химические характеристики свойств частиц флокулянтов [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // «Инновационные технологии в управлении, образовании и промышленности «АСТИНТЕХ-2010»»: материалы международной конференции. - 11-14 мая 2010. – Астрахань. – 2010. – С. 67 – 70.
18. Шачнева, Е.Ю. Исследование сорбционных свойств сорбента СВ-1-А по отношению к флокулянтам [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // VII Всероссийская интерактивная (с международным участием) конференция молодых ученых «Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии». – Саратов. – 2-4 июня 2010. – С. 248 – 250.
19. Шачнева, Е.Ю. Применение сорбента СВ-1-А для сорбции флокулянтов [Текст]/ Н.М Алыков, Е.Ю. Шачнева // Научная региональная конференция с международным участием «Химия – 2010. Нанохимия». – Дубна. – июнь 2010. – С. 39.

