

**Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
средняя общеобразовательная школа № 66 г. Пензы  
имени Виктора Александровича Стукалова**

**УЧЕБНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

**Изучение влияния флокулянтов и коагулянтов  
на сорбционные свойства угля**

**Автор работы: Киселева Татьяна Андреевна,  
обучающаяся 11б класса**

**МБОУ СОШ № 66 г. Пензы имени  
Виктора Александровича Стукалова**

**Руководитель: Махонина Вера Ивановна,  
учитель химии**

**МБОУ СОШ № 66 г. Пензы имени  
Виктора Александровича Стукалова**

**г. Пенза**

**2026**

## Содержание

Введение .....	3
1. Литературный обзор .....	5
1.1. Флокулянты и коагулянты .....	5
1.2. Коллоидная химия процессов коагуляции и флокуляции.....	8
1.3. Активированный уголь, свойства, применение .....	10
Вывод по литературному обзору .....	11
2. Экспериментальная часть .....	12
Выводы .....	18
Литература .....	20

## **Введение**

Одной из актуальных задач современной экологии и промышленности является очистка сточных вод от загрязняющих веществ, таких как органические соединения, тяжелые металлы и взвешенные частицы. Одним из эффективных способов решения этой задачи является сорбционная очистка, в которой часто используется активированный уголь. Уголь обладает высоким уровнем сорбционной ёмкости, что делает его незаменимым материалом для водоочистки и обработки сточных вод. Однако эффективность его работы может быть значительно улучшена при использовании коагулянтов и флокулянтов.

Коагулянты и флокулянты – это химические реагенты, предназначенные для ускорения процесса очистки воды путем укрупнения мелкодисперсных частиц в крупные флокулы, что облегчает их последующее удаление. Коагулянты способствуют слипанию мелких взвешенных частиц, а флокулянты помогают формировать более крупные флокулы, увеличивая скорость осаждения. Взаимодействие этих реагентов с углем как сорбентом может изменить его физико-химические характеристики и сорбционную активность, что важно для оптимизации процесса очистки воды.

### **Цель исследования:**

Целью данного исследования является изучение влияния коагулянтов и флокулянтов на сорбционные свойства угля при его использовании в процессе очистки воды.

### **Задачи исследования:**

1. Изучить основные характеристики угля как сорбента, а также его преимущества и ограничения в водоочистке.

2. Описать свойства и механизмы действия коагулянтов и флокулянтов.

3. Провести лабораторные эксперименты для определения влияния коагулянтов и флокулянтов на сорбционную активность угля и результирующую эффективность процессов водоочистки.

4. Определить оптимальные условия для сочетания угля с коагулянтами и флокулянтами с целью повышения эффективности очистки воды.

**Гипотеза:**

Флокулянты и коагулянты могут существенно влиять на сорбционные свойства угля, изменяя его физико-химические характеристики, взаимодействуя с загрязняющими веществами.

**Предмет исследования:**

Влияние флокулянтов и коагулянтов на сорбционные свойства угля.

**Объект исследования:**

Сорбционные свойства угля, флокулянты, коагулянты.

**Актуальность исследования**

Рост промышленных и бытовых отходов требует поиска более эффективных методов очистки воды, которые бы позволили минимизировать содержание загрязняющих веществ. В этом контексте уголь как сорбент широко используется благодаря его природной доступности, низкой стоимости и высокой сорбционной способности. Однако его свойства можно улучшить, изменяя условия его использования с добавлением коагулянтов и флокулянтов.

Таким образом, исследование влияния коагулянтов и флокулянтов на сорбционные свойства угля позволит глубже понять механизмы взаимодействия этих компонентов с загрязнителями, что может привести к созданию более экономичных и эффективных технологий очистки сточных вод.

## 1. Литературный обзор

### 1.1. Флокулянты и коагулянты

Вещество, способное собирать микрохлопья в макрохлопья называют флокулянтом (от лат. *floculi* – клочья, хлопья). Именно способность группировать мелкие частицы мусора в большие группы и является основной функцией флокулянтов. Связанные воедино малозаметные хлопья образуют вполне заметный осадок, который легко фильтровать и извлекать из водоочистных сооружений. По сути, флокулянты – это высокомолекулярные вещества, взятые из природы или созданные искусственно. К естественным относят целлюлозу, крахмал, а также их производные. К искусственным же относят полиэтилен с его производными, полиакрил, полиамид, полиамин и другие [1]. Наряду с синтетическими полимерами, в качестве флокулянтов используются биоразлагаемые и нетоксичные природные полимеры, такие как крахмал, хитозан, альгинаты и целлюлоза. Крахмал, являясь биополимером, состоит из двух основных компонентов: линейной амилозы (15–35%) и разветвленного амилопектина (65–85%). Именно амилопектин отвечает за вязкость и желирующие свойства, которые важны для флокулирующей способности. Картофельный и кукурузный крахмал, использованные в данной работе, обладают различными свойствами: картофельный крахмал образует гели высокой вязкости и прозрачности. Кукурузный крахмал отличается высокой устойчивостью к солям [9].

Коагулянты (коагулирующие агенты) – вещества, вызывающие свертывание, сгущение, слипание вредных частиц и примесей в жидкости. В свою очередь, коагулирование воды – процесс ее обесцвечивания и осветления химическими реактивами – коагулянтами, которые взаимодействуя в воде с гидролатами и растворимыми примесями, активируют процессы осаждения (образование осадка) [2].

Если говорить простыми словами, то при добавлении коагулянтов в воду запускается процесс укрупнения загрязняющих частиц. Примеси, частицы, плавающие в воде и создающие муть, начинают объединяться в крупные,

видимые скопления. Это происходит до тех пор, пока они не достигнут размера хлопьев, чтобы осесть. Частицы взвеси в жидкой среде могут быть настолько микроскопическими, что любая, даже самая дорогостоящая многоуровневая система фильтрации не справится с ними.

Коагуляция или флокуляция – процессы соединения мельчайших частиц в более крупные под воздействием сил сцепления.

Флокуляция позволяет удалить мельчайшие частицы из толщи воды, которые не может захватить фильтр. Под воздействием флокулянтов и коагулянтов загрязнители утяжеляются, склеиваются и выпадают в осадок, что делает их доступными для захвата водными пылесосами и фильтрами.

При этом стоит отметить, что коагулянты не только помогают удалить мельчайшие загрязнители, но и усиливают работу дезинфицирующих средств, что позволяет эффективнее очищать воду от разного рода загрязнителей.

Флокулянты и коагулянты выполняют одинаковую работу – борются с мутностью воды, объединяя и осаждая мельчайшие загрязнения. Несмотря на видимую схожесть они все-таки имеют и отличия.

Коагулянты – это вещества, которые используются для очистки воды от взвешенных частиц. Они вызывают процесс коагуляции, то есть укрупнения частиц, в результате которого мелкие частицы объединяются в более крупные и тяжёлые соединения. Этот процесс происходит благодаря потере заряда частицами и их электростатическому взаимодействию. Флокулянты склеивают частицы, создавая полимерные мостики, при этом их электрохимические характеристики не меняются. Коагулянты формируют стабильный осадок, который легко собрать после оседания, но не все фильтры способны его удержать. Флокулянты очищают воду более качественно, образуя крупные хлопья, которые легко удаляются механически фильтрами любой конструкции.

Есть различие в размерах получаемых хлопьев, которые осаждаются на дно резервуара. Под воздействием флокулянтов образуются хлопья из примесей большего размера, чем при взаимодействии растворенной в воде грязи с

коагулятивным веществом. Первая группа очистителей позволяет фильтрационной системе удалить большее количество нежелательных веществ.

Результатом воздействия коагулянтов и флокулянтов на коллоидную фазу загрязняющих примесей сточной воды является не только снижение их концентрации, но и цветности, уровня загрязнения бактериями, а также улучшение органолептических характеристик воды, то есть устранение ее запаха и привкуса. Особенности технологических цепочек, использующих методы физико-химического воздействия на очищаемую сточную воду, зависят от ее состава. Если в сточной воде содержатся разные по размеру и фазовому состоянию вещества, то она должна быть подвергнута предварительному осветлению с помощью гравитационного разделения, или же фильтрации для отделения грубодисперсной фазы, мешающей качественному протеканию процессов коагуляции и флокуляции частиц коллоидной фазы [3].

Для того, чтобы обеспечить коагулянтам оптимальные условия гидролиза, у очищаемых стоков должен быть определенный щелочной резерв, необходимый для нейтрализации диоксида углерода, образующегося в результате этой реакции. Если же щелочность недостаточна, то ее исправляют добавлением натриевой щелочи, или карбонатов кальция или натрия, или же аммиака, или его водного раствора. рН среды при этом должна поддерживаться на уровне от 6,5 до 7,5, что также способствует снижению остаточной концентрации несвязанных многозарядных положительных катионов коагулянтов в очищенной воде [4].

Снижение показателей цветности и мутности сточной воды, содержащей большое количество солей жесткости, к которым относятся соединения магния и кальция, лучше проводить при значениях рН, сдвинутых в щелочную сторону. Если же обработка коагулянтами проводится в целях снижения цветности мягкой сточной воды, то реакция среды должна сдвигаться в кислую сторону. Поэтому проводить подщелачивание обрабатываемой сточной воды лучше после введения коагулянтов, так как некоторые вещества, придающие ей окраску, адсорбируются именно в момент образования гидроксидов.

Определение дозы коагулянта зависит от многих параметров среды, к которым относятся температура, концентрации коллоидных и взвешенных частиц, цветность сточной воды, ее ионный состав, уровень рН среды и прочие ее свойства. Если количество вводимого коагулянта слишком мало, то это не позволяет достичь необходимой степени очистки сточной воды. Если же оно превышает необходимую дозу, то это иногда приводит к ухудшению процесса коагуляции, не говоря уже об увеличении затрат на приобретение реагента. Кроме того, при использовании в качестве коагулянта сульфата алюминия необходимо соблюдать определенный диапазон рН, больше 4,5 и меньше 8,5, так как при его нарушении в очищенной воде содержится повышенное содержание ионов алюминия. При рН меньше 4,5 равновесие в воде сдвинуто в сторону образования растворимых сульфатов алюминия, а при его значении больше 8,5 идет преимущественное образование алюмината натрия, так же хорошо растворимого в воде. При определении дозы следует учитывать также содержание взвешенных веществ, особенно тонкой дисперсности, так как при повышении их количества увеличивается и расход коагулирующего реагента [5].

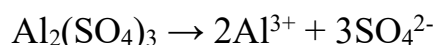
## **1.2. Коллоидная химия процессов коагуляции и флокуляции**

Водные системы, содержащие мелкодисперсные частицы (глины, гуминовые вещества, микроорганизмы, продукты их жизнедеятельности), часто представляют собой коллоидные растворы (золи). Устойчивость таких систем обусловлена двумя основными факторами: наличием электрического заряда на поверхности частиц и их гидратной оболочкой. Частицы в природных водах чаще всего несут отрицательный заряд за счёт адсорбированных анионов ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , гуминатов) или ионогенных групп в составе органических веществ. Одноимённый заряд вызывает электростатическое отталкивание, препятствующее агрегации и осаждению частиц [8, 11].

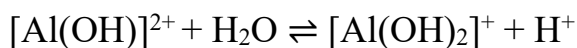
Коагулянты, такие как сульфат алюминия, вводятся в воду в виде ионов  $\text{Al}^{3+}$ .

Механизм действия сульфата алюминия как коагулянта основан на способности ионов алюминия к гидролизу и образованию полиядерных

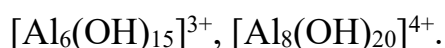
гидроксокомплексов с положительным зарядом. При растворении в воде сульфат алюминия диссоциирует:



Ион  $\text{Al}^{3+}$  подвергается гидролизу:



Далее происходит полимеризация с образованием высокозарядных катионных комплексов, обладающих высокой адсорбционной способностью, например:



В процессе коагуляции вокруг коллоидной частицы (например, частицы глины) формируется новая мицелла. Её строение можно представить следующим образом:

1. Ядро мицеллы: сама коллоидная частица (например,  $(\text{SiO}_2)_m \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).
2. Потенциалопределяющие ионы: отрицательно заряженные группы на поверхности частицы ( $\text{SiO}^-$ ,  $\text{COO}^-$ ).
3. Адсорбционный слой (слой Гельмгольца): в него входят компенсирующие положительно заряженные ионы – гидроксокомплексы алюминия (например,  $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$ ). Этот слой нейтрализует заряд ядра. Граница между ядром и адсорбционным слоем называется поверхностью скольжения; потенциал на этой границе – дзета-потенциал. Эффективная коагуляция происходит при его снижении до значений, близких к нулю.
4. Диффузный слой: противоионы ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), частично экранирующие оставшийся заряд. Толщина этого слоя уменьшается при добавлении коагулянта и увеличении ионной силы раствора.

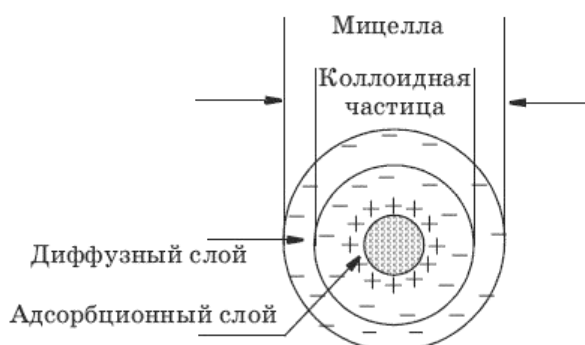
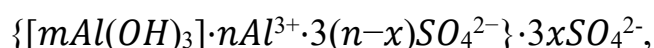


Рис 1. Схема строения мицеллы

Механизм действия крахмала как флокулянта относится к типу мостичной (адсорбционной) флокуляции. Молекулы крахмала, представляющие собой длинные полимерные цепи (амилоза – линейная, амилопектин – разветвлённая), адсорбируются своими активными группами (-ОН) на поверхности нескольких коллоидных частиц одновременно. Таким образом, одна полимерная цепь образует "мостик" между частицами, связывая их в крупный, рыхлый агрегат – флокулу. Эффективность этого механизма сильно зависит от длины молекулы, её гибкости, плотности адсорбционных центров на частицах и химического состава среды.

Формула мицеллы сульфата алюминия при гидролизе в водной среде записывается следующим образом:



где:

$\{[mAl(OH)_3]\}$  – ядро мицеллы;

$\{[mAl(OH)_3] \cdot nAl^{3+} \cdot 3(n-x)SO_4^{2-}\}$  – коллоидная частица (гранула), заряжена положительно;

$3xSO_4^{2-}$  – противоионы [10].

### 1.3. Активированный уголь, свойства, применение

Активированный уголь используется как сорбент в водоподготовке и на промышленных очистных сооружениях благодаря его способности эффективно очищать воду от широкого спектра загрязняющих веществ: нефтепродуктов, фенолов, хлора, пестицидов, растворенных и эмульгированных органических веществ, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), некоторых тяжелых металлов.

Активированный уголь получают из углеродсодержащего исходного сырья, прошедшего процесс карбонизации и парогазовой активации. Исходным сырьем может быть древесина, бамбук, скорлупа кокосовых орехов, персиковые косточки, каменноугольный кокс, нефтяной кокс, торф.

После процесса карбонизации, нагрева исходного сырья без доступа воздуха, получают обычный уголь, «шашлычный». Но обычный уголь – это не то же самое, что активированный уголь. Обычный уголь должен быть активирован.

Активация угля – это нагрев и прокаливание сырья при 800–1000°C и обработка его водяным паром, углекислым газом (парогазовый метод) или химическим реагентом (термохимический метод). Применяют гидроксиды щелочных металлов (MeOH), карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов (Me<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, MeCO<sub>3</sub>), оксид кальция (CaO), хлориды (MeCl<sub>x</sub>), кислоты, роданид аммония (NH<sub>4</sub>SCN), роданид калия (KSCN) или натрия (NaSCN), карбамид (мочевину) ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO) или тиомочевину (CS(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) [6].

При активации все смолистые и летучие соединения, заполняющие поры угля, удаляются, поверхность расслаивается, появляются и раскрываются дополнительные поры, увеличивая общую площадь внутренней поверхности, и появляются те самые свойства, за которые и ценится активированный уголь.

Основным применением активного угля является удаление примесей из газов и жидкостей с помощью процесса адсорбции. Адсорбция – это процесс, при котором газообразные или растворенные в воде вещества концентрируются на поверхности адсорбента (активированного угля) с высокой пористостью и большой площадью поверхности. Отличие адсорбции от абсорбции в том, что при адсорбции вещества концентрируются только на поверхности адсорбента, а при абсорбции вещества поглощаются всем объемом абсорбента (обычно это жидкость) [7].

### **Вывод по литературному обзору**

Таким образом, коагулянты – вещества, вызывающие свертывание, сгущение, слипание, вредных частиц и примесей в жидкости. Наиболее эффективными являются: сульфат алюминия, хлорид железа (FeCl<sub>3</sub>) и сульфат железа (Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>), полиакриламиды (-CH<sub>2</sub>-CH(CN)-)<sub>n</sub>, оксихлорида алюминия (Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>Cl). Флокулянты – это химические вещества, которые способствуют укрупнению частиц и ускоряют процесс их осаждения после коагуляции. Они играют важную роль в процессе очистки воды, интенсифицируя образование хлопьев и улучшая

процессы осаждения, сгущения, флотации, фильтрации и обезвоживания шлама. Различные флокулянты (анионные, катионные и неионные) проявляет себя по-разному в зависимости от характера загрязнений. Так, флокулирующая способность крахмала зависит от его молекулярной массы и содержания амилозы и амилопектина, которые определяются видом растения (например, картофель, кукуруза), из которого получен крахмал.

Флокулянты и коагулянты выполняют одинаковую работу – борются с мутностью воды. Активированный уголь используется как сорбент в водоподготовке и на промышленных очистных сооружениях благодаря его способности эффективно очищать воду от широкого спектра загрязняющих веществ.

## 2. Экспериментальная часть

Экспериментальная часть проводилась в лаборатории кабинета химии МБОУ СОШ № 66 г. Пензы имени Виктора Александровича Стукалова (корпус 3).

Для проведения эксперимента нами была использована вода бассейна реки Сура (г. Пенза, Железнодорожный район), отобранная 30.01.2025 года.

В качестве сорбента использовался активированный уголь, в качестве коагулянта – сульфат алюминия, в качестве флокулянта – картофельный и кукурузный крахмалы.

На первом этапе определяли мутность неочищенной аликвоты воды с помощью датчика мутности DT095A (турбидиметра), подключенного к цифровой лаборатории.



Рис. 2. Датчик мутности DT095A (турбидиметр), подключенный к цифровой лаборатории

Датчик мутности предназначен для измерения непрозрачности (мутности) воды, что является важным показателем ее качества: чем больше непрозрачность – тем больше мутность. Единицы измерения мутности – НЕМ (NTU), нефелометрические единицы мутности. Во всех случаях измерения были проведены сразу после приготовления образца, прежде чем имеющиеся в воде взвеси оседают на дно кюветы.

Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показания мутности неочищенной воды реки Сура

	1	2	3
Мутность, НЕМ	17,50	17,00	14,16

Среднее значение мутности рассчитывали по формуле 1:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

где  $\bar{X}$  – рассчитанное среднее арифметическое выборки, НЕМ;

$X_i$  – результат единичного измерения, НЕМ;

$n$  – число результатов измерений.

Среднее значение мутности для неочищенной воды реки Сура составило:

$$\bar{X} = \frac{17,50 + 17,00 + 14,16}{3} = 16,37 \text{ НЕМ}$$

Среднее значение составляет 16,37 НЕМ, что указывает на загрязнение воды посторонними веществами. Значение мутности превышает допустимый минимум в 3,5 НЕМ (*СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества*).

Для очистки воды на следующем этапе нами были изготовлены три фильтра с различной композицией:

1. Активированный уголь (фильтр 1);

2. Активированный уголь и картофельный крахмал (фильтр 2);
3. Активированный уголь и кукурузный крахмал (фильтр 3);
4. Активированный уголь и сульфат алюминия (фильтр 4).



Рис.3. Используемые фильтры

Для приготовления фильтров использовали стеклянные воронки, которые забивали ватой и использовали фильтровальную бумагу. Для каждого фильтра использовалась своя фильтрующая смесь.

После завершения процесса фильтрования нами была измерена мутность воды получившихся фильтратов.

Для каждого образца измерения проводили в трех повторностях. Результаты представлены в таблицах 2, 3, 4 и 5.

Таблица 2

Показания мутности воды при фильтрации через фильтр 1  
(активированный уголь)

	1	2	3
Мутность, НЕМ	5,00	4,26	2,00

Среднее арифметическое значение мутности составило:

$$\bar{X} = \frac{5,00 + 4,26 + 2,00}{3} = 3,753 \text{ НЕМ}$$

Таблица 3

Показания мутности при фильтрации через фильтр 2  
(активированный уголь и картофельный крахмал)

	1	2	3
Мутность, НЕМ	5,40	5,00	5,40

Среднее арифметическое значение мутности составило:

$$\bar{X} = \frac{5,40 + 5,00 + 5,40}{3} = 5,267 \text{ НЕМ}$$

Таблица 4

Показания мутности при фильтрации через фильтр 3  
(активированный уголь и кукурузный крахмал)

	1	2	3
Мутность, НЕМ	6,22	6,18	6,26

Среднее арифметическое значение мутности составило:

$$\bar{X} = \frac{6,22 + 6,18 + 6,26}{3} = 6,220 \text{ НЕМ}$$

Таблица 5

Показания мутности воды при фильтрации через фильтр 4  
(активированный уголь и кристаллогидрат сульфата алюминия)

	1	2	3
Мутность, НЕМ	0,45	0,50	0,40

Среднее арифметическое значение мутности составило:

$$\bar{X} = \frac{0,45 + 0,50 + 0,40}{3} = 0,450 \text{ НЕМ}$$

Таким образом, показания мутности составили 6,220 НЕМ при фильтрации через 3 фильтр, что является самым высоким значением, 5,267 НЕМ – через 2 фильтр, 3,753 НЕМ – через 1 фильтр и 0,450 НЕМ через 4 фильтр – самое

наименьшее значение. Использование коагулянта улучшило адсорбционные свойства активированного угля. Использование крахмалов в качестве флокулянта не привело к желаемому снижению мутности воды. Это могло быть вызвано несколькими причинами: присутствие заряженных частиц, которые крахмал не может эффективно захватить; слишком мелкие частицы, которые трудно флокулировать; наличие в воде органических веществ, конкурирующих с крахмалом; неправильная дозировка.

Для выявления оптимальных условий, способствующих эффективной очистке воды, нами были приготовлены фильтры с использованием композиционного реагента:

1. Активированный уголь, коагулянт и флокулянт в массовых соотношениях коагулянта и флокулянта 1:1 (фильтр 5),
2. Активированный уголь, коагулянт и флокулянт в массовых соотношениях коагулянта и флокулянта 1:2 (фильтр 6),
3. Активированный уголь, коагулянт и флокулянт в массовых соотношениях коагулянта и флокулянта 2:1 (фильтр 7).



Рис. 3. Фильтры с использованием композиционного реагента

Результаты представлены в таблицах 6, 7 и 8.

*Таблица 6*

Показания мутности воды при фильтрации через фильтр 5

(активированный уголь, кристаллогидрат сульфата алюминия, картофельный крахмал в соотношении 1:1)

	1	2	3
Мутность, НЕМ	9,50	8,70	9,75

Среднее арифметическое значение мутности составило:

$$\bar{X} = \frac{9,50 + 8,70 + 9,75}{3} = 9,317 \text{ НЕМ}$$

*Таблица 7*

Показания мутности воды при фильтрации через фильтр 6

(активированный уголь, кристаллогидрат сульфата алюминия, картофельный крахмал в соотношении 1:2)

	1	2	3
Мутность, НЕМ	14,24	13,89	13,98

Среднее арифметическое значение мутности составило:

$$\bar{X} = \frac{14,24 + 13,89 + 13,98}{3} = 14,037 \text{ НЕМ}$$

*Таблица 8*

Показания мутности воды при фильтрации через фильтр 7

(активированный уголь, кристаллогидрат сульфата алюминия, картофельный крахмал в соотношении 2:1)

	1	2	3
Мутность, НЕМ	7,14	7,43	7,28

Среднее арифметическое значение мутности составило:

$$\bar{X} = \frac{7,14 + 7,43 + 7,28}{3} = 7,283 \text{ НЕМ}$$

Показания мутности составили при фильтрации через фильтр 6 – 14,037 НЕМ, что является самым высоким значением, через фильтр 5 – 9,317 НЕМ, самое наименьшее значение было получено при фильтрации через фильтр 7– 7,283 НЕМ.

## **Выводы**

1. Были изучены основные характеристики угля как сорбента. К ним относятся, во-первых, сорбционная емкость (определяет количество вещества, которое может адсорбировать уголь, чем выше показатель, тем дольше срок службы сорбента). Во-вторых, прочность, которая характеризует устойчивость гранул к истиранию, влияет на сохранение структуры и размера частиц, определяет возможность использования в напорных фильтрах. В-третьих, размер частиц (влияет на скорость адсорбции, определяет доступность поверхности). Дополнительно важными характеристиками являются: тип пор (микро-, мезо- и макропоры), химическая инертность, устойчивость к агрессивным средам, экологическая безопасность. Эти характеристики напрямую влияют на эффективность применения активированного угля в различных областях, в том числе, на очистку природных вод. При выборе активированного угля для конкретных задач необходимо учитывать все характеристики в комплексе, а не отдельно взятые параметры.

2. Описаны свойства и механизмы действия коагулянтов и флокулянтов. Коагулянты и флокулянты являются взаимодополняющими реагентами, обеспечивающими эффективную очистку воды. Их правильное применение позволяет достичь оптимальных результатов при минимальных затратах и максимальной безопасности процесса.

3. Результаты эксперимента показали, что обработка воды активированным углем снизила показатель мутности на 12,617 единиц, обработка активированным углем с флокулянтом (картофельным и кукурузным крахмалами) – на 11,103 и 10,15 единиц соответственно, при среднем значении мутности для неочищенной воды реки Сура в 16,37 НЕМ. Обработка воды активированным углем с алюминиевым коагулянтом дает достаточно высокий эффект, мутность воды практически достигла 0. Выявлено, что добавление коагулянтов и

флокулянтов влияет на сорбционные характеристики угля, что наглядно продемонстрировали результаты показателя мутности воды.

4. Совместное использование при обработке воды активированного угля, коагулянта и флокулянта также снизило показатель мутности на 7,053 единиц при использовании коагулянта и флокулянта в массовых соотношениях 1:1, на 2,333 единицы при использовании коагулянта и флокулянта в массовых соотношениях 1:2. Совместное использование коагулянта и флокулянта в массовых соотношениях 2:1 дало наилучший результат, снизило показатель мутности на 9,087 единиц. Однако недостаточная степень снижения мутности воды может быть связана с тем, что данная технология особенно эффективна при обработке воды с высоким содержанием органических примесей и требует тщательного подбора режимов дозирования и перемешивания для достижения оптимальных результатов очистки.

5. В ходе эксперимента было установлено, что крахмалы (картофельный и кукурузный) в качестве флокулянта не показали значительного повышения эффективности очистки в комбинации с активированным углем. Это объясняется отсутствием у них выраженного заряда для дестабилизации коллоидных частиц и, как следствие, низкой эффективностью мостиковой флокуляции в данных условиях.

Таким образом, коагулянты и флокулянты влияют на сорбционные характеристики угля. Эти химические реагенты способствуют модификации пористой структуры и поверхности сорбента, что приводит к изменению его адсорбционной способности. Важно отметить, что правильный выбор и дозировка коагулянтов и флокулянтов позволяют оптимизировать процесс очистки и продлить срок службы сорбента. Это достигается за счёт предотвращения забивания пор угля мелкодисперсными частицами и поддержания его высокой адсорбционной активности. Поэтому, комплексное применение коагулянтов, флокулянтов и активированного угля представляет собой эффективный метод очистки различных сред от загрязняющих веществ.

## Литература

1. Флокулянты и коагулянты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://waterservice.kz/blog/art34.html>
2. Механизмы воздействия коагулянтов и флокулянтов и оптимальные условия их использования [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://nomitech.ru/articles-and-blog/mekhanizmy\\_vozdeystviya\\_koagulyantov\\_i\\_flokulyantov\\_i\\_optimalnye\\_usloviya\\_ikh\\_ispolzovaniya/](https://nomitech.ru/articles-and-blog/mekhanizmy_vozdeystviya_koagulyantov_i_flokulyantov_i_optimalnye_usloviya_ikh_ispolzovaniya/)
3. Механизмы воздействия коагулянтов и флокулянтов и оптимальные условия их использования. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://nomitech.ru/articles-andblog/mekhanizmy\\_vozdeystviya\\_koagulyantov\\_i\\_flokulyantov\\_i\\_optimalnye\\_usloviya\\_ikh\\_ispolzovaniya/](https://nomitech.ru/articles-andblog/mekhanizmy_vozdeystviya_koagulyantov_i_flokulyantov_i_optimalnye_usloviya_ikh_ispolzovaniya/)
4. Флокулянты природного происхождения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru-ecology.info/post/101013302030044/>
5. Флокулянты природного происхождения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru-ecology.info/post/101013302030044/>
6. Активированный уголь и цеолит [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://polihim.ru/product/ugol-ceolit/>
7. Активированный уголь, свойства, применение [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://polihim.ru/stati/aktivirovannyy-ugol-svoystva-primenenie>
8. Природные флокулянты и синтетические полимеры для очистки сточных вод: углубленное исследование [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.genesiswatertech.com>.
9. Крахмал в бурении, скважинах и целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) [Электронный ресурс] – <https://tenchat.ru/media/3000181-krakhmal-v-burenii-skvazhinakh-i-tsellyuloznobumazhnoy-promyshlennosti-tsbp/>
10. Левченков С. И. Физическая и коллоидная химия: Конспект лекций для студентов биофака ЮФУ (РГУ). Электронный ресурс. – Режим доступа: [https://www.physchem.chimfak.sfedu.ru/Source/PCC/Colloids\\_6.htm/](https://www.physchem.chimfak.sfedu.ru/Source/PCC/Colloids_6.htm/)

11. Коагуляция и флокуляция [Электронный ресурс] – <https://www.voda.ru/articles/koagulyatsiya-i-flokulyatsiya>