

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра геоэкологии**

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов бакалавриата направления 05.03.06*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

УДК 628.3 (073)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ:**

Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.С. Данилов, А.Е. Исаков*. СПб, 2019. 34 с.

Лабораторные работы по дисциплине «Теоретические основы защиты окружающей среды» направлены на формирование у студентов навыков применения знаний, полученных на лекциях, для самостоятельного решения практических задач на производстве.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны овладеть навыками подбора методов очистки сточных вод конкретного производства. В методических указаниях представлен комплекс работ по исследованию и оценке эффективности различных методов очистки сточных вод.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 05.03.06 «Экология и природопользование» по профилю «Природопользование».

Научный редактор проф. *М.А. Пашкевич*

Рецензент канд. техн. наук *Ю.Н. Лисаков* (ООО «Институт Гипроникель»)

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

**Цель работы:** ознакомление с процессом коагуляционной очистки сточных вод, определение оптимальной дозы коагулянта в процессе очистки сточных вод, исследование влияния кислотности (основности) среды на процесс коагуляционной очистки сточных вод.

**Реактивы:** р-р  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (15,65 г на 250 мл); р-р  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (11,47 г на 250 мл); р-р  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (1,95 г на 1 л).

**Оборудование:** фильтры – красная лента; пипетки – 5, 10, 15, 20, 50 мл; колбы мерные – 50 мл (7 шт.); колбы – 150 мл (5 шт.); стаканы – 150-200 мл (5 шт.); магнитная мешалка; спектрофотометр DR-5000.

### Теоретические основы работы

Процессы и аппараты физико-химической очистки воды применяются для очистки сточных вод от коллоидных и растворенных веществ. К физико-химическим методам относятся коагуляция, флокуляция, флотация, адсорбция, ионный обмен, экстракция, дистилляция и выпаривание, кристаллизация, мембранные методы и электродиализ, дегазация и т.д.

Коагуляция применяется для очистки сточных вод от коллоидных частиц, так как данный процесс приводит к потере седиментационной устойчивости и расслоению фаз. Коагуляция — это слипание частиц коллоидной системы при их столкновениях в процессе теплового движения, перемешивания или направленного перемещения во внешнем силовом поле. В результате коагуляции образуются агрегаты — более крупные (вторичные) частицы, состоящие из скопления более мелких (первичных) частиц, которые далее удаляются из сточных вод механическими методами.

При коагуляции золя электролитами различают концентрационную коагуляцию и нейтрализационную коагуляцию. Концентрационная коагуляция имеет место, когда она происходит под действием индифферентного электролита вследствие сжатия

диффузного слоя противоионов и уменьшения абсолютного значения дзета-потенциала. Так как в данном случае причиной коагуляции является увеличение концентрации противоионов, она называется концентрационной коагуляцией. Нейтрализационная коагуляция происходит при добавлении к золю неиндифферентного электролита. При этом потенциалопределяющие ионы связываются в малорастворимое соединение, что приводит к уменьшению абсолютных величин термо-динамического потенциала, а следовательно, и дзета-потенциала вплоть до нуля. Так как причиной коагуляции в данном случае является нейтрализация потенциалопределяющих ионов, такую коагуляцию называют нейтрализационной коагуляцией.

При очистке сточных вод применяют концентрационную коагуляцию. В воду добавляют коагулянты, например, соли алюминия или железа. В водном растворе происходит гидролиз электролита; например, в зависимости от значения рН воды и ее ионного состава для  $Al_2(SO_4)_3$  возможно образование: соединений катионного типа, например,  $Al_2(OH)_2^{4+}$ ; анионного типа –  $Al(OH)_4^-$ ; амфотерного типа –  $Al(OH)_3$ . Содержание ионных форм алюминия в растворе зависит от концентрации в нем водородных ионов.

Флокуляция заключается в образовании агрегатов (хлопьев) из гетерогенных частиц в результате собирающего действия высокомолекулярных веществ, называемых флокулянтами. Механизм действия флокулянтов заключается в их адсорбции на нескольких частицах с образованием полимерных мостиков, связывающих частицы между собой. Флокулянты ускоряют процессы образования хлопьев и их осаждения, повышают плотность агрегатов и осадков. На скорость коагуляции, флокуляции и седиментации существенное влияние оказывают наличие примесей и концентрация частиц, температура, перемешивание, концентрация водородных ионов, последовательность введения коагулянтов и флокулянтов.

## Порядок выполнения работы

1. Получить гидрозоль ферроцианида меди с концентрацией 100 мг/л. Для приготовления 1л гидрозоля в мерную колбу наливают дистиллированную воду, приливают из пипетки в первую очередь 2,8 мл раствора  $K_4[Fe(CN)_6]$  указанной концентрации (с 0,5% избытком), а затем, при постоянном перемешивании, по каплям добавляют 1,73 мл раствора  $CuSO_4$  и доводят объем до метки дистиллированной водой. Размер частиц полученного гидрозоля ферроцианида меди составляет 0,01-0,05 мкм.

2. Построить калибровочный график. Для этого отбирают в мерные колбы на 50 мл 5, 10, 15, 20, 25, 40, 50 мл гидрозоля, разбавляют его дистиллированной водой до 50 мл и определяют оптическую плотность относительно дистиллированной воды ( $\lambda=490$  нм, кювета – 30 мм).

График строят в координатах: оптическая плотность – концентрация гидрозоля, мг/л).

3. Изучить влияния концентрации коагулянта  $Al_2(SO_4)_3$  на эффективность процесса коагуляции.

3.1. В пять стаканчиков емкостью 150-200 мл помещают по 50 мл гидрозоля с концентрацией дисперсной фазы 100 мг/л.

3.2. В гидрозоль вводят коагулянт, концентрация которого в исследуемом гидрозолье должна составить 10, 25, 50, 100, 200 мг/л. Концентрация коагулянта в исходном растворе 1 г/л.

3.3. Содержимое стаканов перемешивают 3 минуты, переносят на фильтр и фильтруют в чистые колбы емкостью 100 мл.

3.4. Остаточное содержание дисперсной фазы гидрозоля после фильтрации ( $C_{ост}$ , мг/л) определяют колориметрическим методом, используя калибровочный график по формуле 1.1:

$$C_{ост} = \frac{a \cdot 1000}{V + V_k} \quad (1.1)$$

где  $a$  – содержание гидрозоля в объеме  $V$ , мг;  $V = 50$  мл - объем, до которого разбавляли пробу;  $V_k$  – объем добавленного раствора коагулянта, мл.

3.5. Определяют степень коагуляции ( $\eta$ , %) по формуле 1.2:

$$\eta = \frac{C_{исх} - C_{ост}}{C_{исх}} \quad (1.2)$$

где  $C_{исх}$  – концентрация гидрозоля, мг/л.

3.6. Результаты заносят в табл. 1.1, а также представляют графически как зависимость степени коагуляции от расхода коагулянта. Оптимальной считается наименьшая концентрация коагулянта при которой достигается требуемая степень очистки.

Таблица 1.1

Определение оптимальной концентрации коагулянта

№	$C_{исх}$ (гидрозоля), мг/л	$C_{коаг}$ , мг/л	$V_{коаг}$ , мл	Оптическая плотность раствора, %	$C_{ост}$ (гидрозоля), мг/л	$\eta$ , %
1		10				
2		25				
3		50				
4		100				
5		200				

4. Изучить влияния рН на коагуляцию гидрозоля.

4.1. В пять стаканчиков емкостью 150-200 мл помещают по 50 мл гидрозоля. Доводят значение рН гидрозоля соответственно до 3, 5, 6, 8, 10, используя 0,1н растворы NaOH и HCl.

4.2. Добавляют в гидрозоль оптимальное количество коагулянта (по результатам предыдущего опыта), перемешивают 3 мин., фильтруют. Фильтрат анализируют на содержание дисперсной фазы.

4.3. Результаты заносят в табл. 1.2, строят графическую зависимость степени коагуляции от рН раствора.

Таблица 1.2

Влияние рН на процесс коагуляции

$V_{коаг}$ , мл	$C_{исх}$ (гидрозоля), мг/л	$C_{щел}$ , мг/л	рН	$C_{ост}$ (гидрозоля), мг/л	$\eta$ , %
			3		
			5		

Продолжение табл. 1.2

$V_{\text{коаг}}$ , мл	$C_{\text{исх}}$ (гидрозоля), мг/л	$C_{\text{щел}}$ , мг/л	pH	$C_{\text{ост}}$ (гидрозоля), мг/л	$\eta$ , %
			6		
			8		
			10		

На основании полученных данных формируется отчет по лабораторной работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

**Цель работы:** ознакомление с процессом флотационной очистки сточных вод, оценка влияния концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ) на эффективность флотационной очистки сточных вод, исследование влияния рН среды на процесс флотационной очистки сточных вод.

**Реактивы:** ПАВ (водный раствор алкилтриметиламмония хлорида, 0,1 г/л); поливинилацетатная эмульсия, 0,1 г/л; 0,1н раствор NaOH.

**Оборудование:** пипетка – 10 мл; стакан – 150 мл (5 шт.); мерный цилиндр – 100 мл; магнитная мешалка; спектрофотометр DR-5000.

### Теоретические основы работы

Выделение эмульгированных органических веществ (масел, жиров, нефтепродуктов и др.) из сточных вод представляет собой часто встречающуюся и сложную задачу. Эмульсиями называются дисперсные системы, состоящие из двух или более жидких взаимонерастворимых фаз, т.е. отличающихся своей полярностью. Если одна из жидкостей вода, то другая – неполярная или малополярная жидкость, называемая в общем случае – «масло». Устойчивость эмульсий обуславливается величиной частиц, температурой, наличием эмульгатора. Большинство эмульсий являются микрогетерогенными ( $10^{-5}$ – $10^{-3}$  см) и термодинамически неустойчивыми системами. При длительном хранении в них происходит слипание, а затем и слияние капель (коалесценция).

Методы механической очистки сточных вод от эмульсий позволяют выделить частицы крупнее 10-50 мкм. Эти методы малоэффективны (отстаивание) и малоэкономичны (центрифугирование). Значительно больший эффект дают физико-химические методы, например, флотация.

Суть флотационного метода состоит в том, что в растворе при диспергировании пузырьков воздуха образуется развитая граница раздела фаз жидкость-газ, масляные частицы закрепляются на пузырьках и выносятся на поверхность раствора. На эффект



флотации значительное влияние оказывает размер и количество пузырьков воздуха, распределенных в воде. Эффективная флотация требует тонкого диспергирования воздуха (получения наименьших размеров пузырьков воздуха).

Для улучшения показателей флотации часто используют поверхностно-активные вещества (ПАВ), называемые флотореагентами, – это реагенты-собиратели, реагенты-вспениватели. Реагенты-собиратели, избирательно адсорбируясь на поверхности частиц, покрывают их гидрофобной пленкой, понижают смачиваемость, после чего эти частицы прилипают к пузырькам воздуха и выносятся ими наверх. В качестве собирателей применяют анионоактивные и катионоактивные ПАВ.

### **Порядок выполнения работы**

1. Построить калибровочный график. График строят в координатах оптическая плотность – концентрация масла. Концентрацию масла (0,1; 0,075; 0,05; 0,025; 0,01 г/л) меняют путем соответствующего разбавления исходной эмульсии с содержанием ПАВ 0,1 г/л. Оптическую плотность определяют на спектрофотометре: длина кюветы – 50 мм,  $\lambda=364$  нм.

2. Изучить влияние концентрации ПАВ на степень разрушения эмульсии.

2.1. В пять стаканов наливают по 100 мл исследуемой эмульсии и добавляют необходимое количество раствора ПАВ – 2, 4, 6, 8, 10 мл.

2.2. Содержимое каждого стакана перемешивают на магнитной мешалке в течение 1 минуты, проводят флотационную обработку эмульсии на лабораторной установке в течение 3 мин., отбирают пробу в кювету (не прекращая флотацию) и определяют остаточное содержание масла с помощью калибровочного графика.

2.3. Вычисляют степень извлечения ( $\eta$ , %) масла по формуле:

$$\eta = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{ост}}}{C_{\text{исх}}} \quad (2.1)$$

где  $C_{\text{исх}}$  - исходная концентрация эмульсии, мг/л;  $C_{\text{ост}}$  - остаточная концентрация эмульсии, мг/л.

2.4. Проводят построение графической зависимости степени извлечения масла от концентрации ПАВ.

3. Изучить влияние рН.

3.1. В пять стаканов наливают по 100 мл эмульсии, добавляют оптимальное количество ПАВ (установленное по результатам первого опыта) и доводят значение рН раствора соответственно до 2, 3, 5, 7, 9.

3.2. После флотационной обработки определяют остаточное содержание масла и степень извлечения масла в зависимости от рН среды. Результаты заносят в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Влияние рН на процесс флотации.

$V_{\text{ПАВ}}$ , мл	$C_{\text{исх}}$ (масла), мг/л	$C_{\text{щел}}$ , мг/л	рН	$C_{\text{ост}}$ (масла), мг/л	$\eta$ , %
			2		
			3		
			5		
			7		
			9		

3.3. Проводят построение графической зависимости степени извлечения масла от рН среды.

На основании полученных данных формируется отчет по лабораторной работе.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

**Цель работы:** ознакомление с процессом сорбционной очистки сточных вод, оценка влияния концентрации загрязняющего компонента на эффективность очистки сточных вод, исследование влияния параметров окружающей среды (температура, давление) на процесс сорбционной очистки сточных вод.

**Реактивы:** р-р NaOH – 0,1 н; фенолфталеин; карбоновые кислоты (муравьиная, уксусная) – растворы (концентрация раствора кислоты указана на емкости с реактивом).

**Оборудование:** перемешивающее устройство; бюретка – 25 мл (1 шт.); мерная пипетка – 50 мл (1 шт.); мерная пипетка – 5 мл (1 шт.); колбы круглые – 250 мл (4 шт.); колбы конические – 250 мл (6 шт.); стакан химический – 150 мл (1 шт.); стакан химический – 50 мл (1 шт.); стакан химический – 250 – 300 мл (1 шт.); воронка химическая (4 шт.); фильтр беззольный «белая лента».

### **Теоретические основы работы**

Сорбция – процесс поглощения растворенных в воде веществ поверхностью твердого сорбента. Особенно эффективно улавливаются вещества в молекулярном состоянии. Сорбция возникает самопроизвольно и продолжается с убывающей скоростью до достижения равновесного состояния.

Важно, чтобы удельная поверхность сорбента была достаточно большой. Этим требованиям удовлетворяют пористые гидрофобные материалы: активированные угли, цеолиты, бентонитовые глины.

Сорбция позволяет достаточно глубоко очистить сточную воду (эффективность достигает 80%), но при этом требуется большое количество сорбента.

Для улучшения сорбционных свойств природных сорбентов проводится их модификация, так при прокаливании цеолитов при температуре 300-400 °С удаляется кристаллическая вода, полезная удельная поверхность сорбента увеличивается в 4-20 раз.

Сорбционная очистка может осуществляться в статических и динамических условиях. В первом случае сорбент перемещается вместе с водой, во втором вода перемещается относительно частиц сорбента.

Технология сорбционной очистки в статических условиях предусматривает перемешивание воды с порошкообразным сорбентом (не менее 20 мин) и последующее отделение загрязненного сорбента отстаиванием. С целью экономии сорбента применяют многоступенчатые схемы с параллельным и противоточным движением сорбента.

Сорбция в динамических условиях предусматривает использование гранулированных сорбентов.

Очистка методами сорбции может вестись самостоятельно, либо как метод предварительной очистки перед биологической очисткой стоков. Предварительная очистка сточных вод методом сорбции может понадобиться, если загрязнители являются сильнотоксичными или трудно окисляются биологическим путем.

Пределы использования сорбционных методов составляют от 5 до 1000 мг/л по содержанию загрязняющих веществ.

Локальные установки для сорбционной очистки оправданы в случаях, когда концентрации загрязнителей близки к верхнему пределу и вещество хорошо адсорбируется при небольшом удельном расходе сорбента.

Доочистка методом сорбции имеет смысл при невысоком содержании загрязняющих веществ – до 100 мг/л.

Адсорбцию как метод очистки сточных вод применяют для удаления из стоков гербицидов, пестицидов, фенолов, ароматической органики, поверхностно-активных веществ, синтетических красителей и проч.

Сорбция может применяться и как метод извлечения из растворов ценных веществ для последующей их утилизации. Очищенные стоки могут использоваться в системах технического оборотного водоснабжения. Адсорбционная очистка вод может быть регенеративной, т.е. с извлечением вещества из адсорбента и его утилизацией, и деструктивной, при которой извлеченные из сточных

вод вещества уничтожаются вместе с адсорбентом. Адсорбционная очистка может применяться самостоятельно и совместно с биологической очисткой как метод предварительной и глубокой очистки.

Адсорбция растворенных веществ – результат перехода молекулы растворенного вещества из раствора на поверхность твердого адсорбента под действием силового поля поверхности. При этом наблюдаются два вида межмолекулярного взаимодействия: молекул растворенного вещества с молекулами (или атомами) поверхности адсорбента и молекул растворенного вещества с молекулами воды в растворе (гидратация). Разность этих двух сил межмолекулярного взаимодействия и есть та сила, с которой удерживается извлеченное из раствора вещество на поверхности адсорбента. Чем больше энергия гидратации молекул растворенного вещества, тем большее противодействие испытывают эти молекулы при переходе на поверхность адсорбента и тем слабее адсорбируется вещество из раствора.

В качестве адсорбентов применяют различные искусственные и природные пористые материалы: силикагели, алюмогели, активные глины, золу, шлаки, опилки, коксовую мелочь, торф и др. Эффективными адсорбентами являются активированные угли различных марок. Пористость этих углей составляет 60-75%, а удельная площадь поверхности 400-900 м<sup>2</sup>/г. Активированные угли должны обладать определенными свойствами: слабо взаимодействовать с молекулами воды и хорошо - с органическими веществами, быть относительно крупнопористыми, чтобы их поверхность была доступна для органических молекул. При малом времени контакта с водой они должны иметь высокую адсорбционную емкость, высокую селективность и малую удерживающую способность при регенерации. Сорбенты должны быть прочными, быстро смачиваться водой, иметь определенный гранулометрический состав. В процессе очистки используют мелкозернистые адсорбенты с частицами размером 0,25...0,5 мм и высокодисперсные угли с частицами размером менее 40 мкм.

### Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя раствор кислоты.
2. Отобрать пробу кислоты в химический стакан объемом 150 мл
3. Приготовить 4 раствора путем последовательного разведения в 2 раза:
  - в круглые колбы № 2, 3, 4 отобрать мерной пипеткой по 50 мл дистиллированной воды;
  - в колбу № 1 и № 2 мерной пипеткой объемом 50 мл поместить по 50 мл исходного раствора кислоты;
  - из колбы №2 50 мл раствора перенести в колбу №3 и перемешать;
  - из колбы №3 50 мл раствора перенести в колбу №4;
  - из колбы №4 отобрать 50 мл раствора и выбросить.
4. В каждую колбу с приготовленными растворами высыпать по навеске 3 г активированного угля.
5. Колбы поставить на перемешивающее устройство на 15 минут.
6. Осторожно слить растворы через бумажный в конические колбы под теми же номерами, стараясь, чтобы основная масса угля осталась в круглой колбе.
7. Определить концентрацию кислоты в исходном  $C_{исх}$  и равновесных  $C^*$  растворах по следующей методике.
  - 7.1. В 2 конические колбы отобрать по 5 мл пробы; добавить немного дистиллированной воды (до толщины слоя жидкости около 5 мм); прилить 2-3 капли индикатора – фенолфталеина.
  - 7.2. Отобрать раствор щелочи в химический стакан объемом 50 мл; из стакана раствор щелочи налить в бюретку, выпустить воздух из носика бюретки, для чего поднять носик бюретки, подставить стакан со щелочью и нажать на шарик; довести объем щелочи в бюретке до отметки «0».
  - 7.3. Титровать одну из колб с пробой кислоты раствором гидроксида натрия до перехода окраски фенолфталеина от бесцветной к малиновой, сохраняющейся при перемешивании в течение 30 с. Результаты титрования заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

## Результаты титрования образцов

№	$V_a$ , мл	$V_1$ (NaOH), мл	$V_2$ (NaOH), мл	$V_{cp}$ (NaOH), мл
исходная	5			
1				
2				
3				
4				

**Обработка результатов эксперимента**

1.  $C_{исх}$  рассчитывают по формуле 3.1, учитывая результаты титрования с учетом коэффициента разбавления пробы.

$$C_{кисл} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_a} \quad (3.1)$$

где  $C_{NaOH}$  - концентрация раствора щелочи, взятой для титрования, мг/л;  $V_{NaOH}$  - средний объем щелочи, потраченный для титрования, л;  $V_a$  - объем аликвоты образца, взятый для титрования, л.

2. Концентрацию кислоты в равновесном растворе вычисляют по результатам титрования.

$$\Delta C = C_{исх} - C^* \quad (3.2)$$

3. Удельную адсорбцию растворенного вещества  $\Gamma$  вычисляют по уравнению:

$$\Gamma = \frac{\Delta C \cdot V}{m_s} \quad (3.3)$$

где  $V$  – объем кислоты, взятый на адсорбцию, л;  $m_s$  – навеска адсорбента (активированного угля), кг.

4. Построить изотерму удельной адсорбции кислоты в координатах  $\Gamma = f(C)$ .

5. Заполнить таблицу табл. 3.2.

Таблица 3.2

## Результаты лабораторного эксперимента

№	Концентрация раствора, моль/л		$\Delta C$ , моль/л	$\Gamma$ , моль/кг	C/Г	lgC	lgГ	1/C	1/Г
	$C_{исх}$	$C^*$							
1									
2									
3									
4									

6. Построить изотерму адсорбции Фрейндлиха (линейная зависимость  $lg\Gamma = f(C)$ ) и вычислить коэффициенты уравнения Фрейндлиха:

$$\log \Gamma = \log a + \left(\frac{1}{n}\right) \log C \quad (3.4)$$

7. Построить зависимость в координатах  $C/\Gamma=f(C)$  и  $1/\Gamma=f(1/C)$ .

8. Определить константы уравнения Ленгмюра  $\Gamma_{\infty}$  и  $K$  по графику  $C/m = f(C)$  (формулы 3.5 и 3.6) или по графику  $1/\Gamma = f(1/C)$  (формулы 3.7 и 3.8):

$$\Gamma_{\infty} = \frac{1}{y} \quad (3.5)$$

$$K = \frac{y}{tg\alpha} \quad (3.6)$$

$$\Gamma_{\infty} = \frac{1}{tg\alpha} \quad (3.7)$$

$$K = \frac{tg\alpha}{y} \quad (3.8)$$

9. Оценить удельную поверхность активированного угля по уравнению:

$$S_0 = \Gamma_{\infty} \cdot N_A \cdot S_M \quad (3.9)$$

где  $N_A$  – число Авогадро;  $S_M$  – площадь поперечного сечения молекулы адсорбата, равная для карбоновых кислот  $20,5 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$ .

На основании полученных данных формируется отчет по лабораторной работе.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

**Цель работы:** ознакомление с процессом экстракционной очистки сточных вод, оценка влияния рН среды на эффективность очистки сточных вод, исследование селективности экстрагента по отношению к различным загрязняющим компонентам и оценка эффективности использования экстрагента при очистке сточных вод сложного состава.

**Реактивы:** р-р NaOH – 1 н; р-р Трилон Б – 0,05 М; мурексид; р-р NH<sub>4</sub>Cl – 1 М; р-р NH<sub>4</sub>OH – разбавленный 1:1; р-р CuSO<sub>4</sub> – 0,05 М.

**Оборудование:** Экстрактор; рН-метр; штатив с кольцами (1 шт.); стакан химический – 200 мл (1 шт.); делительная воронка – 250 мл (4 шт.); воронка (4 шт.); химические стаканы – 50 мл (8 шт.); мерные цилиндры для экстрагента и раствора соли металла – 50 мл (2 шт.); мерный цилиндр для дозирования хлорида аммония – 10 мл (1 шт.); градуированная пипетка или бюретка – 5 мл (1 шт.); пипетка Мора – 10 мл для отбора проб соли металла на титрование (1 шт.); колбы конические для титрования – 250 мл (2 шт.); бюретка для титрования – 25 мл (1 шт.).

### **Теоретические основы работы**

Жидкостную экстракцию применяют при относительно высоком содержании в сточных водах растворенных органических веществ, представляющих техническую ценность (фенолы, органические кислоты, масла).

Экстракционный метод очистки производственных сточных вод основан на растворении находящегося в сточной воде загрязнителя органическими растворителями - экстрагентами, т.е. на распределении загрязняющего вещества в смеси двух взаимно нерастворимых жидкостей соответственно его растворимости в них. Отношение взаимно уравнивающихся концентраций в двух несмешивающихся (или слабосмешивающихся) растворителях при достижении равновесия является постоянным и называется коэффициентом распределения:

$$K_p = \frac{C_{\text{Э}}}{C_{\text{P(ст.в.)}}} \quad (4.1)$$

где  $C_{\text{Э}}$ ,  $C_{\text{P(ст.в.)}}$  - концентрация экстрагируемого вещества соответственно в экстрагенте и сточной воде при установившемся равновесии, кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент распределения  $k_p$  зависит от температуры, при которой проводится экстракция, а также от наличия различных примесей в сточных водах и экстрагенте.

После достижения равновесия концентрация экстрагируемого вещества в экстрагенте значительно выше, чем в сточной воде. Сконцентрированное в экстрагенте вещество отделяется от него и может быть утилизировано. Экстрагент после этого вновь используется в технологическом процессе очистки.

Очистка сточных вод экстракцией состоит из трех стадий:

1. Смешение сточной воды с экстрагентом. При этом образуются две жидкие фазы: экстракт, содержащий извлекаемое вещество и экстрагент, и рафинат, содержащий сточную воду и экстрагент.

2. Разделение экстракта и рафината.

3. Регенерация экстрагента из экстракта и рафината.

К экстрагентам предъявляется ряд требований, в том числе экстрагент должен:

- растворять извлекаемое вещество значительно лучше, чем вода, т.е. обладать высоким коэффициентом распределения;

- обладать большой селективностью растворения, т.е. чем меньше экстрагент будет растворять компоненты, которые должны остаться в сточной воде, тем более полно будут извлекаться вещества, которые необходимо удалить;

- иметь по возможности наибольшую растворяющую способность по отношению к извлекаемому компоненту, так как чем она выше, тем меньше потребуется экстрагента;

- иметь низкую растворимость в сточной воде и не образовывать устойчивых эмульсий, так как затрудняется разделение экстракта и рафината;

- значительно отличаться по плотности от сточной воды для обеспечения быстрого и полного разделения фаз;
- обладать большим коэффициентом диффузии; чем он больше, тем выше скорость массообмена;
- регенерироваться простым и дешевым способом; иметь температуру кипения, отличающуюся от температуры экстрагируемого вещества;
- иметь небольшую удельную теплоту испарения и небольшую теплоемкость;
- не взаимодействовать с извлекаемым веществом, так как это может затруднить регенерацию экстрагента;
- не быть вредным, взрыво- и огнеопасным и не вызывать коррозию материала аппаратов;
- иметь невысокую стоимость.

Коэффициент распределения, установленный опытным путем, зависит от природы компонентов системы, содержания примесей в воде и экстрагенте и температуры. Это соотношение справедливо, если экстрагент совершенно нерастворим в сточной воде. Однако экстрагент частично растворяется в сточной воде, поэтому коэффициент распределения будет зависеть не только от температуры, но и от концентрации извлекаемого вещества в рафинате, т.е. будет величиной переменной.

### **Порядок выполнения работы**

1. Настроить блок управления мешалки:
  - нажать кнопку «сеть»;
  - нажать кнопку «установка» для входа в режим настройки блока управления;
  - кнопками «выбор» и ▲▼ установить число оборотов (1200) и продолжительность перемешивания (5-10 минут);
  - нажать кнопку «установка» для выхода из режима настройки;
2. В стакан для перемешивания внести 30 мл раствора сульфата металла и 15 мл нефтенной (олеиновой) кислоты.
3. Погрузить мешалку в стакан, нажать кнопку «пуск».

4. Добавить по каплям при перемешивании 1 мл раствора гидроксида натрия.

5. После того, как вся щелочь добавлена продолжать перемешивание еще 5 мин. Остановить мешалку (кнопкой «стоп» или она остановится автоматически).

6. Перелить смесь в делительную воронку для расслаивания фаз.

7. Повторить п.п. 2 – 6 изменяя количество добавляемой щелочи: 1,5 мл, 2 мл, 2,5 мл.

8. После того, как органическая фаза отделилась, водную фазу (внизу) через бумажный фильтр слить в химический стаканчик. Органическую фазу вылить в емкость для органических отходов.

9. Измерить pH водной фазы на pH-метре для каждой пробы:

- вынуть электрод pH-метра из стаканчика с дистиллированной водой, протереть кусочком фильтра,
- погрузить электрод в исследуемый раствор, следя за тем, чтобы отводка электрода была покрыта жидкостью,
- считать значение pH на табло pH-метра,
- вынуть электрод, протереть кусочком фильтра, сполоснуть дистиллированной водой, вытереть насухо и погрузить в следующий раствор и т.д.

10. Проанализировать содержание металла в водном растворе (исходный раствор и растворы после экстракции).

#### **Анализ содержания катионов меди.**

1. Отобрать мерной пипеткой в 2 конические колбы аликвоты объемом 10 мл.

2. Приливать по каплям при перемешивании аммиак до получения ярко-синего раствора аммиаката меди.

3. Добавить немного сухого индикатора «мурексид».

4. Титровать раствором трилона Б до перехода окраски индикатора в эквивалентной точке от желто-красной к фиолетовой.

#### **Анализ содержания кобальта и никеля**

1. Отобрать мерной пипеткой в две конические колбы аликвоты объемом 10 мл.

2. Прилить в каждую колбу по 10 мл хлорида аммония (с помощью мерного цилиндра) и дистиллированную воду до объема 40-50 мл.

3. Добавить немного сухого индикатора «мурексид».

4. Титровать раствором трилона Б до переход окраски индикатора в эквивалентной точке от желтой к фиолетовой.

Примечание: если в ходе титрования раствор краснеет, то следует добавить несколько капель аммиака, и он снова станет желтым.

10. Результаты эксперимента (рН и результаты титрования) занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты лабораторного эксперимента

№	$V_{NaOH}$ , мл	рН	$V_{ТрБ}$ , мл	
			$V_1$	$V_2$
исходный	-	-		
1	1,0			
2	1,5			
3	2,0			
4	2,5			

#### Обработка результатов эксперимента

1. Рассчитать исходную и равновесные концентрации металла по уравнению:

$$[Me_{aq}^+] = \frac{V_{ТрБ} \cdot C_{ТрБ}}{V_a} \quad (4.2)$$

где  $V_{ТрБ}$  и  $C_{ТрБ}$  – объем, мл и концентрация, моль/л трилона Б,  $V_a$  – объем аликвоты, мл.

2. Вычислить концентрацию металла в органической фазе по уравнению:

$$[Me_{org}^+] = \frac{[Me_{исх}^+] \cdot V_{исх} - [Me_{aq}^+] \cdot V_{aq}}{V_{org}} \quad (4.3)$$

где  $[Me_{исх}^+]$  и  $V_{исх}$  – концентрация, моль/л, и объем, мл, исходной соли металла, взятой для экстракции;  $V_{aq}$  – объем водной фазы, мл;  $V_{org}$  – объем органической фазы, мл.

$$V_{aq} = V_{исх} + V_{NaOH} \quad (4.4)$$

3. Рассчитать коэффициент распределения по формуле:

$$D_{Me} = \frac{[Me_{org}^+]}{[Me_{aq}^+]} \quad (4.5)$$

4. Полученные данные занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты лабораторного эксперимента

№	$V_{NaOH}$ , мл	pH	$V_{ТрБ}$ , мл	$[Me_{aq}^+]$ , моль/л	$[Me_{org}^+]$ , моль/л	$D_{Me}$	$\log D_{Me}$
1							
2							
3							
4							

5. Построить график зависимости  $\lg D_{Me} = f(pH)$ .

6. Построить линию тренда и вывести уравнение линии тренда на график зависимости. По коэффициентам уравнения линии тренда определить коэффициенты К (константу равновесия) и z:

$$\log D = \log K + z \cdot pH \quad (4.6)$$

На основании полученных данных формируется отчет по лабораторной работе. Сравнить полученную величину z с зарядом иона и сделать вывод о справедливости принятой модели.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

**Цель работы:** ознакомление с процессом химической (реагентной) очистки сточных вод, оценка влияния рН среды на эффективность очистки сточных вод.

**Реактивы:** р-р  $\text{CuSO}_4$  (1-2г/л) +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (10мл/л); 0,2% смесь индикатора мурексид (пурпурат аммония) с твердым хлоридом натрия; р-р Трилон-Б (0,05 н); р-р  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1:1); р-р  $\text{NaOH}$  или  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (1 н).

**Оборудование:** фильтры – синяя лента; стакан – 150 мл (3 шт.); воронки – 3 шт.; пипетка – 5 мл; колбы – 150 мл (3 шт.); мерный цилиндр – 50 и 100 мл; мерные колбы – 100 мл (3 шт.); бюретка с 1н  $\text{NaOH}$  ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ); микробюретка с раствором Трилон-Б; магнитная мешалка; рН-метр.

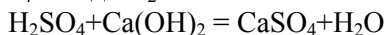
### Теоретические основы работы

К химическим методам очистки сточных вод относятся процессы окисления, восстановления, нейтрализации кислых и щелочных стоков, хлорирование, озонирование и т.д.

Нейтрализации подвергаются сточные воды, содержащие кислоты, щелочи и соли тяжелых металлов. Способы нейтрализации следующие:

- 1) взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод;
- 2) нейтрализация реагентами (растворы кислот, кислые газы, известь, сода);
- 3) фильтрация через нейтрализующий материал (известь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , мел  $\text{CaCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$ , доломит  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ).

При наличии на предприятии только кислых или только щелочных сточных вод их нейтрализацию проводят реагентами. Например, для нейтрализации серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  применяют гашеную известь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в результате чего образуется сульфат кальция (гипс)  $\text{CaSO}_4$  и вода  $\text{H}_2\text{O}$ :



Далее происходит кристаллизация в виде  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и при достаточных концентрациях выпадает осадок. Процесс

нейтрализации проводится в нейтрализационных установках или станциях. Расход реагентов определяется по формуле:

$$G = k \cdot \frac{100}{B} \cdot V \cdot (\sum_{i=1}^n q_i \cdot C_i) \quad (5.1)$$

где:  $k$  – коэффициент запаса;  $B$  – количество активной части реагента, %;  $V$  – объем сточной воды,  $m^3$ ;  $C$  – концентрация кислоты (щелочи) в сточной воде,  $кг/м^3$ ;  $q$  – удельный расход реагента для нейтрализации кислоты (щелочи),  $кг/кг$ ;  $C_i$  – концентрация металлов в сточной воде,  $кг/м^3$ ;  $q_i$  – удельный расход реагента для нейтрализации металлов,  $кг/кг$ ;  $n$  – число металлов в воде.

Ориентировочные расходы реагентов для нейтрализации кислот (щелочей), а также для осаждения металлов приведены в табл. 5.1 и 5.2 соответственно

Таблица 5.1

Удельный расход реагентов (щелочь/кислота) для нейтрализации 100% кислот (щелочей)  $q$ ,  $кг/кг$

	Серная кислота	Соляная кислота	Азотная кислота	Уксусная кислота
Негашеная известь CaO	0,56/1,79	0,77/1,3	0,46/2,2	0,47/2,15
Гашеная известь Ca(OH) <sub>2</sub>	0,47/2,15	1,01/0,99	0,59/1,7	0,62/1,62
Сода кальцинир. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,08/1,93	1,45/0,69	0,84/1,19	0,88/1,14
Сода каустическая NaOH	0,82/1,22	1,1/0,91	0,64/1,59	0,67/1,5
Аммиак NH <sub>4</sub>	0,35/2,88	0,47/2,12	0,27/3,71	-

Таблица 5.2

Удельный расход реагентов для нейтрализации металлов  $q$ ,  $кг/кг$

	CaO	Ca(OH) <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaOH
Цинк	0,85	1,13	1,6	1,22
Никель	0,95	1,26	1,8	1,36
Медь	0,88	1,16	1,66	1,26
Железо	1,00	1,32	1,9	1,43
Свинец	0,27	0,36	0,51	0,38



### Порядок выполнения работы

1. Для анализа кислых растворов на содержание ионов меди в колбу помещают 5 мл раствора соли меди, разбавляют дистиллированной водой до 50 мл, прибавляют мурексид на кончике шпателя (или 3-4 капли раствора), титруют раствором трилона Б до изменения цвета раствора, добавляют по каплям аммиак (1:1) до перехода окраски в зеленоватую и продолжают титровать раствором трилона Б до достижения сиреневой окраски раствора. Расчет результатов анализа проводят по формуле:

$$C = \frac{V \cdot 0,0025 \cdot M \cdot 1000}{a} \quad (5.2)$$

где  $V$  – объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование ионов металла, мл;  $a$  – объем аликвоты, взятой на титрование, мл;  $M$  – молярная масса металла.

2. Определение концентрации ионов меди в предложенной сточной воде  $C_{исх}$ , мг/л.

3. Нейтрализация исследуемых сточных вод до рН=3, 5, 6, 7, 8, 9 раствором NaOH ( $Ca(OH)_2$ ). Для проведения нейтрализации отбирают 3-5 проб исследуемого раствора объемом по 50 мл с помощью мерного цилиндра в стаканы объемом не менее 150 мл. В них проводят нейтрализацию при перемешивании на магнитной мешалке и при постоянном замере значений рН на рН-метре. По достижении необходимой величины рН (или близкого к нему значения) растворы при перемешивании выдерживают 1-2 мин.

4. Отделение осадка гидроксида меди после нейтрализации методом фильтрования.

5. Определение концентрации ионов  $Cu^{2+}$  в фильтрате с остаточной концентрацией  $C_{ост}$ , мг/л и сравнение с предельно допустимой концентрацией (ПДК).

6. Определение степени извлечения металла ( $\eta$ , %) по формуле:

$$\eta = \frac{C_{исх} - C_{ост}}{C_{исх}} \quad (5.3)$$

7. Полученные данные заносятся в табл. 5.3.

Таблица 5.3

## Определение степени извлечения ионов металла

Загрязняющее вещество	$C_{\text{исх}}$ , мг/л	рН растворов после нейтрализации	$C_{\text{ост}}$ , мг/л	$\eta$ , %	ПДК металла, мг/л

7. По данным лабораторного эксперимента строится графическая зависимость степени извлечения ионов металлов от рН среды.

На основании полученных данных формируется отчет по лабораторной работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХЛОРИРОВАНИЯ

**Цель работы:** ознакомление с процессом химической (реагентной) очистки сточных вод, оценка влияния рН среды на эффективность очистки сточных вод.

**Реактивы:** насыщенный раствор  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ; кристаллический KI; 0,05н раствор  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ; 0,5% раствор крахмала; 30% раствор  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

**Оборудование:** пипетка – 5 и 10 мл; мерный цилиндр – 100 мл; конические колбы – 250 мл (10 шт.); бюретка на 25 мл и микробюретка на 1 мл для раствора тиосульфата натрия.

### Теоретические основы работы

Хлорирование применяется для обеззараживания питьевых и сточных вод от патогенных бактерий и вирусов и очистка сточных вод от фенолов, крезолов, цианидов и других веществ, а также для борьбы с биологическими обрастаниями на трубопроводах и сооружениях. Для хлорирования сточных вод используется элементарный хлор, хлорная известь, гипохлорит кальция и другие сыпучие хлорсодержащие продукты, растворы гипохлорита натрия и кальция, двуокись хлора. Хлор (элементарный) поступает на канализационные сооружения в жидком виде (температура кипения  $-34,5^\circ\text{C}$ ). Хлорную известь поставляют в полиэтиленовых мешках массой 35 кг, в стальных барабанах, в деревянных или фанерных бочках вместимостью 100 и 275 л.

При растворении хлора в воде в небольших концентрациях, практически весь он реагирует с водой с образованием соляной (HCl) и хлорноватистой (HClO) кислот. Хлорноватистая кислота является слабой и потому диссоциирует не полностью. Степень диссоциации зависит от рН и температуры. «Хлорирующей» способностью обладает только недиссоциированная форма, поэтому при рН более 8 эффективность обеззараживания резко снижается.

Активный хлор – это хлор, который выделяется в свободном виде при взаимодействии вещества с соляной кислотой. Выделение хлора происходит в результате окислительно-восстановительной

реакции HCl с соединениями, в которых хлор имеет положительные степени окисления (чаще всего +1, +3 и +5). Массовая доля активного хлора в веществе (в процентах) численно равна массе молекулярного хлора, который выделяется из 100 г этого вещества при взаимодействии с избытком соляной кислоты.

Расчетные дозы активного хлора следующие: после механической очистки –  $10 \text{ г/м}^3$ ; после полной искусственной биологической очистки –  $3 \text{ г/м}^3$ , после неполной –  $5 \text{ г/м}^3$ . Продолжительность контакта для свободного активного хлора составляет 0,5 ч, для связанного активного хлора – 1 час.

Хлор растворяется в воде только в газообразном виде, поэтому жидкий хлор испаряют, превращая его в газ. Из испарителя газообразный хлор направляется для получения хлорной воды к водохлорному эжектору. Ввод хлорной воды осуществляют через диффузоры (титан, керамика или пластмасса), которые обеспечивают перемешивание хлорной воды с обрабатываемыми стоками и уменьшают проскоки хлора в атмосферу.

### **Порядок выполнения работы**

1. Раствор хлорной извести (хлорную воду) разбавить в десять раз, отфильтровать и определить его титр. Для этого прибавить к 10 мл хлорной воды 1 г сухого йодида калия, подкислить (10 мл 30% раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) и титровать выделившийся йод 0,05 н раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала.

2. В 8-10 конических колб вместимостью 250 мл, снабженных притертыми пробками, налить по 100 мл исследуемой воды, прибавить раствор хлорной извести: в первую колбу – 1 мл, во вторую – 2 мл, далее – 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и т.д. Колбы закрыть притертыми пробками, поставить в темное место и выдержать 5 мин при температуре 16-20°C. Параллельно с этими пробами поставить аналогичные, с такими же добавками раствора хлорной извести, но выдержать 1,5 ч.

3. В каждую колбу добавить от 0,2 до 2 г сухого йодида калия в зависимости от прибавленного количества раствора хлорной извести, перемешать до растворения, подкислить (10 мл 30%

раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) и титровать выделившийся йод раствором тиосульфата натрия. Когда цвет раствора станет слабо-желтым, прибавить 1 мл раствора крахмала и продолжить титрование до исчезновения синей окраски.

4. Остаточный хлор ( $C_{\text{ост}}$ , мг/л) вычислить по формуле:

$$C_{\text{ост}} = \frac{a \cdot k \cdot 1,78 \cdot 1000}{V} \quad (6.1)$$

где  $a$  – объем раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование, мл;  $k$  – поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора тиосульфата натрия точно к 0,05 н; 1,78 – число миллиграммов хлора, эквивалентное 1 мл 0,05 н раствора тиосульфата натрия;  $V$  – объем анализируемой сточной воды, мл.

Таблица 6.1

Расход реагентов для расчета содержания остаточного хлора

№	Количество добавленного хлора		Количество добавленного KI, г	Объем раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ на титрование, мл	Остаточный хлор в 100 мл сточной воды, мг
	Объем раствора хлорной извести, мл	Содержание хлора, мг			
1	1		0,2		
2	2		0,4		
3	4		0,6		
4	5		0,8		
5	6		1,0		
6	7		1,2		
7	8		1,6		
8	10		2,0		

5. Построить диаграммы зависимости количества остаточного хлора от количества добавленного (рисунок 6.1). Если на диаграмме нет перехода кривой линии в прямую, то недостаточно прибавлен хлор, если отсутствует участок OA, то введено слишком большое количество хлора. Длина этого участка показывает содержание в воде веществ, быстро окисляющихся хлором.

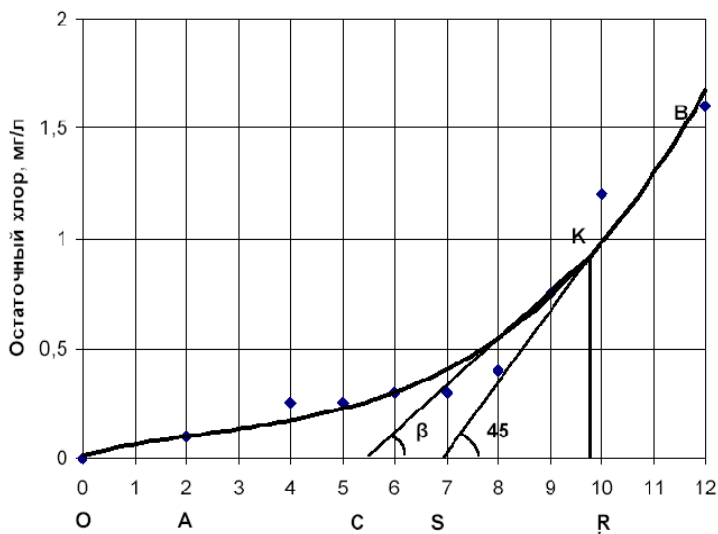


Рис. 6.1. Кривая определения хлороемкости

Когда исследуемая вода содержит аммиак, аммонийные соли или некоторые органические амины и, когда определение остаточного хлора проводят йодометрическим методом, начальный отрезок кривой может получиться другой формы (рисунок 6.2).

Объясняется это тем, что прибавляемый хлор, вступая в реакцию с перечисленными соединениями, образует различные хлорамины, которые выделяют йод из йодида калия, как и прибавленный хлор. Дальнейшее прибавление хлора приводит к разрушению хлораминов (с образованием азота и хлористоводородной кислоты), и кривая, достигнув некоторого максимума, снова снижается, подходя к нижней точке перегиба. Ввиду этого перегиб на кривой при анализе сточных вод можно не учитывать, в отличие от анализа питьевых вод, которые хлорируют меньшим количеством хлорирующего агента. Отрезок АК кривой характеризует процесс окисления и хлорирования веществ, медленно реагирующих с хлором, которые за время опыта не

успевают прореагировать и остаются в растворе вместе с остаточным хлором. Отрезок КВ (всегда прямолинейный) показывает отсутствие в растворе к концу опыта веществ, реагирующих с хлором.



Рис. 6.2. Кривая йодометрического титрования активного хлора

6. После построения кривых определить:

1) длину отрезка OA - содержание быстро реагирующих с хлором веществ;

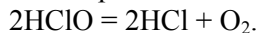
2) отрезок OC - количество хлора, израсходованное на окисление органических веществ и на хлорирование (действительную хлороемкость воды);

3) длину отрезка OS ( $OR - SR$ ) - количество хлора, расходуемое на окисление, замещение хлором и на каталитическое разложение;

4) длину отрезка OR - прибавка хлора для полноты реакции его с окисляющими и хлорируемыми веществами в воде за время проведения опыта (5 мин или 1,5 ч);

5)  $f=c-b$  - количество хлора, прореагировавшего с водой с образованием кислорода за время проведения опыта;

Площадь треугольника АКС условно характеризует замедленность и неполноту происходящих реакций: чем больше площадь, тем медленнее или менее полно проходят реакции в растворе; угол  $\beta$  (наклона прямой СВ к оси абсцисс) – характеризует каталитическое разложение хлорноватистой кислоты:



На основании полученных данных формируется отчет по лабораторной работе.



## РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### а) основная литература

1. Ахмадуллина, Ф.Ю. Реагентная очистка сточных вод от тяжелых металлов: теоретические основы, материальные расчеты [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ф.Ю. Ахмадуллина, Л.А. Федотова, Р.К. Закиров. — Электрон. дан. — Казань : КНИТУ, 2016. — 92 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/101892>

2. Ветошкин, А.Г. Инженерная защита водной среды [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Ветошкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 416 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/49467>

3. Ветошкин, А.Г. Основы процессов инженерной экологии. Теория, примеры, задачи [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Ветошкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 512 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/45924>

4. Технология очистки сточных вод [Электронный ресурс] : учебное пособие / Карманов А. П., Полина И. Н.. — Электрон. дан. — Вологда : "Инфра-Инженерия", 2018. — 212 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/108688>

### б) дополнительная литература

1. Соколов, Л.И. Ресурсосберегающая технология очистки маслоэмульсионных сточных вод [Электронный ресурс] : монография / Л.И. Соколов. — Электрон. дан. — Вологда : ВоГУ, 2014. — 74 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93136>

2. Ярошевский, А.Б. Технология очистки сточных вод [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Б. Ярошевский, С.М. Романова, А.М. Мадякина, И.Г. Шайхиев. — Электрон. дан. — Казань : КНИТУ, 2016. — 84 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/102107>

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. Исследование процесса коагуляционной очистки сточных вод .....	3
Лабораторная работа №2. Исследование процесса флотационной очистки сточных вод .....	8
Лабораторная работа № 3. Исследование процесса адсорбционной очистки сточных вод .....	11
Лабораторная работа № 4. Исследование процесса экстракционной очистки сточных вод .....	17
Лабораторная работа №5. Химические методы очистки сточных вод. Исследование процесса нейтрализации .....	23
лабораторная работа №6. Химические методы очистки сточных вод. Исследование процесса хлорирования .....	27
Рекомендуемый библиографический список.....	33

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов бакалавриата направления 05.03.06*

Сост.: *А.С. Данилов, А.Е. Исаков*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
геоэкологии

Ответственный за выпуск *А.С. Данилов*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 01.02.2019. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,0. Усл.кр.-отт. 2,0. Уч.-изд.л. 1,7. Тираж 100 экз. Заказ 60. С 28.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2