

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
**«Южно-Уральский государственный технический колледж»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

по выполнению лабораторных и практических работ

**ПМ.03 Выполнение работ по очистке природных и сточных вод и  
контролю качественных показателей**

**Раздел 2. Участие в разработке технологического процесса очистки  
природных и сточных вод**

**МДК 03.01. Очистка и контроль качества природных и сточных вод  
по теме 2.3 Контроль качества воды**

для специальности

**08.02.04 Водоснабжение и водоотведение**  
(Учебный план 2020)

**Челябинск, 2020**

## **АКТ СОГЛАСОВАНИЯ**

**на методические указания по выполнению лабораторных и практических работ по МДК 03.01 Очистка и контроль качества природных и сточных вод Раздел 2. Участие в разработке технологического процесса очистки природных и сточных вод,  
Тема 2.3 Контроль качества воды  
разработанные преподавателем ПЦК Водоснабжение и водоотведение  
Гушиной Ю.А., для студентов специальности  
08.02.04 Водоснабжение и водоотведение  
ГБПОУ «Южно-Уральский государственный технический колледж»**

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ предназначены для обучающихся специальности 08.02.04 Водоснабжение и водоотведение.

Данные методические разработаны в соответствии с программой профессионального модуля, являющегося частью программы подготовки специалистов среднего звена в соответствии с ФГОС по специальности СПО 08.02.04 Водоснабжение и водоотведение базовой подготовки в части освоения основного вида профессиональной деятельности (ВДП): Выполнение работ по очистке природных и сточных вод и контролю качественных показателей.

Методические рекомендации содержат пояснительную записку, и 3 лабораторные работы, и 6 практических работ.

Настоящие методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ представляют собой задания и служат для закрепления у студентов знаний по контролю качества воды.

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ по теме «Контроль качества воды» МДК 03.01 «Очистка и контроль качества природных и сточных вод» соответствуют установленным требованиям и могут быть рекомендованы для использования в учебном процессе.

Генеральный директор  
Маркштетера»



директор

ООО

«Архитектурная  
А.А. Маркштетер

Мастерская

## Пояснительная записка

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ по ПМ.03 Выполнение работ по очистке природных и сточных вод и контролю качественных показателей. Раздел 2 . Участие в разработке технологического процесса очистки природных и сточных вод предназначены для обучающихся по специальности 08.02.04 Водоснабжение и водоотведение.

Практические занятия являются важным элементом МДК. В процессе выполнения лабораторных и практических работ обучающиеся систематизируют и закрепляют полученные теоретические знания, развивают интеллектуальные и профессиональные умения, формируют элементы компетенций будущих специалистов.

Методические рекомендации предназначены для организации выполнения лабораторных и практических работ по МДК 03.01. Очистка и контроль качества природных и сточных вод.

Программой предусмотрено выполнение 3 лабораторных и 6 практических работ, направленных **на формирование элементов следующих компетенций:**

- ОК 1. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.
- ОК 2. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.
- ОК 3. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие
- ОК 4. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентам

- ОК 5. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста
- ОК 7. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях
- ОК 9. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности
- ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языке
- ПК 3.1. Разрабатывать технологический процесс очистки природных и сточных вод
- ПК 3.2. Выполнять химические анализы по контролю качества природных и сточных вод
- ПК 3.3. Выполнять микробиологические анализы по контролю качества природных и сточных вод

**уметь:**

- выполнять химические и микробиологические анализы по контролю технологических процессов и качества очистки природных и сточных вод;
- выполнять контроль за соблюдением экологических стандартов и нормативов по охране окружающей среды;

**знать:**

- гигиенические требования к качеству питьевой воды и санитарные нормы очищенным сточным водам и водам водоёмов различного назначения;
- методы и параметры контроля природных и сточных вод.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### ПМ.03 Выполнение работ по очистке природных и сточных вод и контролю качественных показателей

Раздел 2. Участие в разработке технологического процесса очистки природных  
и сточных вод

МДК 03.01. Очистка и контроль качества природных и сточных вод

№ практической работы	Наименование	Формат	Кол-во часов
Тема 2.3 Контроль качества воды			
Лабораторные работы			
Лабораторная работа №1	Определение пригодности воды для питьевых нужд.	A4	2
Лабораторная работа №2	Оценка эффективности процессов умягчения воды	A4	2
Лабораторная работа №3	Оценка эффективности работы песколовков	A4	2
Практические работы			
Практическая работа № 1	Оценка эффективности процессов обработки природной воды. Коагуляция	A4	2
Практическая работа № 2	Оценка эффективности процессов обработки природной воды. Отстаивание	A4	2
Практическая работа № 3	Оценка эффективности процессов обработки природной воды. Фильтрация	A4	2
Практическая работа № 4	Оценка эффективности процессов обработки природной воды. Хлорирование	A4	4
Практическая работа № 5	Оценка эффективности процессов обработки природной воды. Озонирование	A4	2
Практическая работа № 6	Оценка эффективности процесса стабилизационной отработки воды		2
	Всего		20

## **Критерии оценивания лабораторных и практических работ**

### ***5 баллов***

1) правильно определил цель опыта;

2) выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений;

3) самостоятельно и рационально выбрал и подготовил для опыта необходимое оборудование, все опыты провел в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью;

4) научно грамотно, логично описал наблюдения и сформулировал выводы из опыта. В представленном отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и сделал выводы;

7) эксперимент осуществляет по плану с учетом техники безопасности и правил работы с материалами и оборудованием.

### ***4 балла***

1) опыт проводил в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерений;

2) или было допущено два-три недочета;

3) или не более одной негрубой ошибки и одного недочета,

4) или эксперимент проведен не полностью;

5) или в описании наблюдений из опыта допустил неточности, выводы сделал неполные.

### ***3 балла***

1) правильно определил цель опыта; работу выполняет правильно не менее чем наполовину, однако объём выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы;

2) или подбор оборудования, объектов, материалов, а также работы по началу опыта провел с помощью преподавателя; или в ходе проведения опыта и

измерений были допущены ошибки в описании наблюдений, формулировании выводов;

3) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большей погрешностью; или в отчёте были допущены в общей сложности не более двух ошибок (в записях единиц, измерениях, в вычислениях, графиках, таблицах, схемах, анализе погрешностей и т.д.) не принципиального для данной работы характера, но повлиявших на результат выполнения; или не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей;

4) допускает грубую ошибку в ходе эксперимента (в объяснении, в оформлении работы, в соблюдении правил техники безопасности при работе с материалами и оборудованием), которая исправляется по требованию преподавателя.

## **2 балла**

1) не определил самостоятельно цель опыта; выполнил работу не полностью, не подготовил нужное оборудование и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов;

2) или опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно;

3) или в ходе работы и в отчете обнаружились в совокупности все недостатки, отмеченные в требованиях к оценке "3";

4) допускает две (и более) грубые ошибки в ходе эксперимента, в объяснении, в оформлении работы, в соблюдении правил техники безопасности при работе с веществами и оборудованием, которые не может исправить даже по требованию преподавателя.

## Лабораторная работа № 1

### Определение пригодности воды для питьевых нужд

#### Цель работы:

1. Систематизировать знания по методам отбора проб и пробоподготовки сточных вод
2. Научиться определять органолептические, химические и физико-химические показатели сточных вод в соответствии с действующими стандартами

**Сущность работы:** Органолептические свойства нормируются по интенсивности их восприятия человеком. Это запах, привкус, цветность, прозрачность, плотность, температура, примеси (пленка, водные организмы).

#### *1. Определение температуры*

Температура определяется сразу после отбора пробы или непосредственно в водоеме термометром с ценой деления  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Термометр держат в воде не менее 5 мин.

#### *2. Определение прозрачности*

Степень прозрачности выражается высотой столба жидкости в см, через который отчетливо виден специальный шрифт. Прозрачностью не менее 30 см должны обладать воды, подаваемые для питьевого водоснабжения без осветления. Речные воды, кроме горных, могут иметь прозрачность 25 см. Уменьшение прозрачности природных вод свидетельствует об их загрязнении.

#### **Приборы, реактивы и посуда**

1) цилиндр с плоским дном; 2) шрифт, высота букв которого составляет 2 мм, а толщина линий букв - 0,5 мм; 3) линейка.

**Материал:** вода водоема.

#### **Порядок выполнения работы**

Исследуемую воду наливают в цилиндр, под дно которого подкладывают на расстоянии 4 см шрифт. Сливают воду до тех пор, пока сверху через слой можно будет отчетливо прочесть этот шрифт. Высоту столба оставшейся воды измеряют линейкой. Определение производят при хорошем дневном рассеянном освещении на расстоянии 1 м от светонесущей стены.

#### *3. Определение осадка*

Взболтанную в бутылке воду наливают в цилиндр слоем примерно 30 см и оставляют в покое 1 ч., если вода отобрана из открытого водоема, или на сутки, если вода взята из подземных источников. Осадок оценивают количественно (нет, незначительный, заметный, большой) и качественно (песчаный, глинистый, илистый, кристаллический, хлопьевидный). Отмечают также цвет осадка. Большой осадок свидетельствует о загрязнении воды.



#### **4. Определение цветности**

Это природное свойство воды, обусловленное наличием гуминовых веществ, которые придают ей окраску от желтоватого до коричневого цвета. Гуминовые вещества образуются при разрушении органических соединений в почве, вымываются из нее и поступают в открытые водоемы. Поэтому цветность свойственна воде открытых водоемов и резко увеличивается в паводковый период. Цветность воды определяется в градусах. Вода, имеющая цветность 20°С, считается бесцветной. Вода, не подвергающаяся перед подачей потребителю обесцвечиванию, должна иметь цветность не выше 20°С.

##### **Приборы, реактивы и посуда**

1) фотоколориметр; 2) цилиндр на 100 мл; 2) мерные колбы на 1 л; 3) дистиллированная вода; 4) стандартный раствор №1: 0,0875 г бихромата калия, 2 г сульфата кобальта и 1 мл серной кислоты с пл. 1,84 г/мл растворяют в дистиллированной воде и доводят объем до 1 л. Раствор соответствует цветности 500°С; 5) раствор №2: 1 мл конц.  $H_2SO_4$  доводят дистиллированной водой до 1 л.

Материал: вода водоема.

Для приготовления шкалы, цветности смешивают растворы №1 и №2 в цилиндрах в следующих соотношениях (табл.)

*Хромово-кобальтовая шкала цветности*

Раствор №1, мл	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16
Раствор №2, мл	100	99	98	97	96	95	94	92	90	88	84
Градусы цветности	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70

##### **Порядок выполнения работы**

Цветность можно определять визуально. Для этого в колориметрический цилиндр наливают 100 мл профильтрованной исследуемой воды и, просматривая окраску контрольных растворов сверху вниз, находят цилиндр, окраска жидкости в котором совпадает с окраской воды в цилиндре с исследуемой водой.

Цветность можно более точно определить на фотоколориметре. Для этого строят градуированный график по хромово-кобальтовой шкале цветности. Растворы с различной цветностью фотометрируют в кювете на 5 см в синей части спектра относительно профильтрованной дистиллированной воды.

При цветности выше 35°С водопотребление ограничивают.

#### **5. Определение запаха**

Запах оценивается в баллах. Водой, не имеющей запаха, считается такая, запах которой не превышает 2 балла.

##### **Приборы, реактивы и посуда**

Колба с притертой пробкой; 2) коническая колба на 200 мл 3) часовое стекло; 4) электрическая плитка, термометр.

Материал: вода водоема.

### **Порядок выполнения работы**

Колбу с притертой пробкой наполняют на 2/3 объема испытуемой водой, сильно встряхивают, открывают пробку и вдыхают запах. Для усиления интенсивности запахов воду подогревают. Коническую колбу на 200 мл наполняют на 1/2 ее объема исследуемой водой, закрывают часовым стеклом и нагревают до 60°C. Затем колбу вращательным движением взбалтывают и, сдвинув стекло, определяют запах.

Интенсивность запаха определяют по 5-бальной шкале: 0 – не ощущается; 1 - обнаруживается только опытным исследователем; 2 - слабый, обнаруживается потребителем только в том случае, если указать на него; 3 - заметный, обнаруживается потребителем, вызывает его неодобрение; 4 - отчетливый, обращающий на себя внимание и делающий воду непригодной для питья; 5 - очень сильный, делающей воду совершенно непригодной.

Естественные запахи описывают, придерживаясь следующей терминологии.

Символ	Характер запаха
А	Ароматный
Б	Болотный
Г	Гнилостный
Д	Древесный
З	Землистый
П	Плесневый
Р	Рыбный
С	Сероводородный
Т	Травянистый
Н	Неопределенный

Чистые природные воды запахов не имеют.

### **6. Определение вкуса и привкуса**

Вкус и привкус определяется в баллах. Без привкусов называется вода, привкусы которой не превышают 2 баллов. Определение ведется с заведомо безопасной водой при 20°C. Воду набирают в рот малыми порциями, не проглатывая. Отмечают наличие вкуса (соленый, горький, кислый, сладкий) или привкуса (щелочной, железистый, металлический, вяжущий и т. д.) и их интенсивность в баллах по шкале, аналогично определению интенсивности запаха. При интенсивности запахов и привкусов выше 2 баллов ограничивается водопотребление, т.к. сильные запахи и привкусы могут быть показателями загрязнения воды загрязненными сточными водами или свидетельствуют о наличии биологически активных веществ, выделяемых сине-зелеными водорослями.

## **7. Определение сухого остатка**

Сухой остаток - это количество растворенных солей в миллиграммах, содержащееся в 1 л воды. Т.к. масса органических веществ в сухом остатке не превышает 10-15 %, сухой остаток дает представление о степени минерализации воды.

Минеральный состав воды на 85% и более обусловлен катионами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  и анионами  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Остальная часть минерального состава представлена макроэлементами  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и др. и микроэлементами  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Si}^{2+}$ ,  $\text{Mo}^{2+}$  и др.

Воду с сухим остатком до 1000 мг/л называют пресной, свыше 1000 мг/л - минерализованной. Вода, содержащая избыточное количество минеральных солей, непригодна для питья, т.к. имеет соленый или горько-соленый вкус, а ее употребление (в зависимости от состава солей) приводит к различным неблагоприятным физиологическим отклонениям в организме. С другой стороны, слабоминерализованная вода с сухим остатком ниже 50-100 мг/л неприятна на вкус, длительное ее употребление может привести также к некоторым неблагоприятным физиологическим сдвигам в организме (уменьшение содержания хлоридов в тканях и др.). Такая вода, как правило, содержит мало фтора и других микроэлементов.

Воду, содержащую до 20-100 мг/л солей считают слабо минерализованной, 100-300 мг/л - удовлетворительно минерализованной, 300-500 мг/л - повышено минерализованной.

### **Приборы, реактивы и посуда**

1) сушильный шкаф; 2) эксикатор; 3) аналитические весы; 4) беззольный фильтр; 5) колба коническая на 250 мл; 6) чашка фарфоровая; 7) воронка для фильтрования; 8) водяная баня.

Материал: вода водоема.

### **Порядок выполнения работы**

Фарфоровую чашку выдерживают в сушильном шкафу при температуре 110°C 2 часа, затем охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. Из общего объема профильтрованной через беззольный фильтр исследуемой воды 250 мл отливают небольшими порциями в фарфоровую чашку и выпаривают на водяной бане. После выпаривания чашку выдерживают в сушильном шкафу при температуре 110°C до постоянной массы, охлаждают и взвешивают.

Расчет производится по формуле:

$$x = \frac{(a - a_1) \cdot 1000}{V}$$

где:

$x$  - масса сухого остатка в исследуемом объеме воды (мг/л);

$a$  - масса чашки с сухим остатком, мг;

$a_1$  - масса пустой чашки, мг;

$V$  - объем воды, взятый для определения, мл.

**Вопросы, предлагаемые для защиты работы**

1. Как проводится отбор пробы сточных вод химико-фармацевтического предприятия?
2. Как проводится пробоподготовка сточных вод для анализа?
3. Какие органолептические показатели определяются в сточных водах?
4. В чем заключается сущность определения каждого показателя?

## Лабораторная работа № 2

### Оценка эффективности процессов умягчения воды

Жесткость воды — это совокупность свойств, обусловленных содержанием в воде ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Суммарная концентрация ионов  $\text{Ca}^{2+}$  (кальциевая жесткость воды) и  $\text{Mg}^{2+}$  (магниевая жесткость воды) называется общей жесткостью. Общая жесткость включает карбонатную жесткость, обусловленную содержанием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, и некарбонатную, обусловленную содержанием в воде сульфатов и хлоридов кальция и магния. Карбонатную жесткость можно снизить кипячением, поэтому такую жесткость называют временной. Некарбонатная жесткость не уменьшается при кипячении, поэтому ее называют постоянной.

Величину жесткости природных вод выражают в миллиэквивалентах на 1 л воды (мэкв/л). Один миллиэквивалент жесткости отвечает содержанию 20,40 мг/л  $\text{Ca}^{2+}$  или 12,16 мг/л  $\text{Mg}^{2+}$ .

Жесткость природных вод колеблется в очень широких пределах — от 0,1 - 0,2 мэкв/л в водах рек и озер, расположенных в зонах тайги и тундры, до 80 - 100 мэкв/л в некоторых подземных водах и водах морей и океанов. Повышенная жесткость в водах природных источников обусловлена контактом воды с горными породами, содержащими карбонаты и сульфаты.

Применение жесткой воды недопустимо в некоторых отраслях промышленности, например в теплоэнергетике, так как в котлах и отопительных приборах образуется накипь, что ухудшает теплообмен. Поэтому жесткость является одним из показателей качества воды, который необходимо контролировать.

#### ОПЫТ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ КОМПЛЕКСОНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.

В основе метода лежит реакция образования внутримолекулярной растворимой соли комплекса 111 с ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Ион металла замещает атомы водорода карбонильных групп —  $\text{COOH}$ , а также связывается координационной связью с атомами азота, при этом один ион металла образует соединение только с одной молекулой комплекса 111.

**Выполнение опыта.** Отберите мерным цилиндром 100 мл воды и перенесите ее в колбу для титрования; добавьте к исследуемой воде 5 мл аммиачного буферного раствора и несколько кристалликов (на кончике шпателя) эриохрома черного Т.

Приготовленную пробу медленно при постоянном перемешивании оттитруйте раствором комплекса 111 до перехода розовой красной окраски в голубую. Результат титрования запишите. Повторите титрование еще

раз. Если результаты двух титрований совпадут ( $\Delta V \leq 0,1$  мл), найдите средний объем раствора комплексона 111, израсходованный на титрование и рассчитайте общую жесткость воды. В противном случае оттитруйте пробу еще раз. Результаты опыта запишите в таблицу 1.

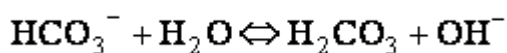
Общую жесткость воды рассчитываем по закону эквивалентов:

$$Ж_0 = \frac{V_2 C_{\text{зкс}} \cdot 1000}{V_1}.$$

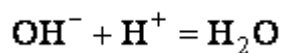
## ОПЫТ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАРБОНАТНОЙ И НЕКАРБОНАТНОЙ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ.

Определение карбонатной жесткости воды сводится к измерению концентрации гидрокарбонат-иона  $\text{HCO}_3^-$  и тем самым эквивалентной этим ионам концентрации ионов жесткости  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Для анализа используют метод кислотно-основного титрования, основанный на реакции нейтрализации.

Анион  $\text{HCO}_3^-$  в воде гидролизуеться:



поэтому вода имеет щелочную реакцию. При титровании протекает реакция нейтрализации:



В качестве **индикаторов** используют вещества, изменяющие свою окраску в зависимости от pH среды. По своей химической природе индикаторы представляют собой слабые органические кислоты **HInd** или слабые органические основания **IndOH**, у которых молекулярная и ионная формы имеют различную окраску.

**Выполнение опыта.** Отберите мерным цилиндром 100 мл воды и переносите ее в колбу для титрования. Добавьте к исследуемой воде 2 капли метилового оранжевого.

Приготовленную пробу медленно, при постоянном перемешивании, оттитруйте раствором соляной кислоты до перехода желтой окраски индикатора в оранжевую. Результат титрования запишите. Повторите титрование еще раз. Если результаты двух титрований совпадут ( $\Delta V \leq 0,1$  мл), найдите средний объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование и рассчитайте карбонатную жесткость воды. В противном случае оттитруйте пробу еще раз.

Рассчитываем карбонатную жесткость воды по формуле:

$$Ж_K = \frac{V_2 C_{\text{зкс}} \cdot 1000}{V_1}.$$

Некарбонатную жесткость воды  $Ж_{\text{нк}}$ , находят по разности:

$$Ж_{\text{нн}} = Ж_{\text{с}} - Ж_{\text{н}}$$

### ОПЫТ 3. УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ МЕТОДОМ КАТИОНИРОВАНИЯ.

Жесткую воду пропускают через катионообменную смолу в  $\text{Na}^+$  – форме, при этом ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  эквивалентно замещают ионы  $\text{Na}^+$  в смоле.

**Выполнение опыта.** Через колонку заполненную катионитом пропустите 300-400 мл жесткой воды. Скорость фильтрования регулируйте зажимом, она не должна превышать 15 капель в минуту. Умягченную воду соберите в стакан, ополоснутый первыми порциями фильтрата.

Отберите 100 мл умягченной воды и определите общую жесткость умягченной воды.

## Лабораторная работа № 3

### Оценка эффективности работы песколовок

Исходные данные:

1. Площадь сечения песколовки:

$$F = \frac{Q}{v * n}$$

Где Q- расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с; v- средняя скорость движения воды, принимаем 0,2 м/с; n-количество отделений.

$$F = \frac{500}{0,2 * 1} = 2500$$

2. Длину песколовки вычисляют по формуле:

$$L = k \frac{h_1}{u_0} v = \frac{0,082645 * 0,7}{24,2} * 0,2 = 0,000478$$

k – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности и других факторов на работу песколовок:

$$k = \frac{u_0}{\sqrt{u_0^2 - 0,0015 * v^2}} = 0,082645$$

3. Ширина песколовки:

$$B = \frac{F}{h_1} = 3571,429 \text{ м}$$

4. Общая высота песколовки:

$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$ , где  $h_4 = h_1$ ;  $h_2 = h_3 = h_1/2$ .

$$H = 0,7 + 0,7 + 0,35 + 0,35 = 2,1$$

5. Уклон днища для сползания слоя песка к прямку принимают 0,2 – 0,4

#### Упражнение 2. Расчет отстойников

№ варианта	Q, м <sup>3</sup> /ч	C <sub>0</sub> , мг/л	d <sub>ч</sub> , мкм	ρ <sub>ч</sub> , кг/м <sup>3</sup>	Отстойник
1,10	50 0	100 0	50	150 0	горизонталь ный

Исходные данные:

##### 1. Расчет горизонтального отстойника

1.1. Скорость осаждения частиц в отстойнике можно рассчитать по уравнению Стокса:

$$v_0 = \frac{(\rho_ч - \rho_ж) * d_ч^2 * g}{18 * \mu} = 0,000654 \text{ м/с}$$

Где ρ<sub>ж</sub>=1020 кг/м<sup>3</sup>, g = 9,81 м/с<sup>2</sup>, μ=10<sup>-3</sup> Па

- 1.2. Рабочий объем отстойника:

$$V = Q * \tau = 750 \text{ м}^3$$



1.3. Ширина отстойника:

$$B = \frac{Q}{v * H} = 8,68 \text{ м}$$

Где  $v = 0,005 \text{ м/с}$ ,  $H = 3,2 \text{ м}$ .

1.4. Длина горизонтального отстойника:

$$L = \frac{V}{B * H} = 27 \text{ м}$$

## **2. Расчет вертикального отстойника**

2.1. Рабочий объем отстойника:

$$V = Q * \tau = 0,208 \text{ м}^3$$

2.2. Высота рабочей части отстойника:

$$H = v * \tau = 3780 \text{ мм} = 3,78 \text{ м}$$

2.3. Площадь сечения отстойника:

$$F = \frac{V}{H} = 198 \text{ м}^2$$

2.4. Площадь сечения центральной трубы:

$$f_{\text{цт}} = \frac{Q}{v_{\text{цт}}} = 0,534 \text{ м}^2$$

Где  $v_{\text{цт}} = 250\text{-}300 \text{ мм/с}$

2.5. Диаметр центральной трубы:

$$d_{\text{цт}} = \sqrt{\frac{4 * f_{\text{цт}}}{\pi}} = 0,34 \text{ м} = 340 \text{ мм}$$

2.6. Диаметр отстойника:

$$D = \sqrt{\frac{4 * (F + f_{\text{цт}})}{\pi}} = 1260 \text{ мм}$$

## **3. Расчет вертикальных отстойников с периферическим впуском воды**

3.1. Радиус вертикальных первичных отстойников:

$$R_s = \sqrt{\frac{Q}{3,6 * \pi * k * v_{oc}}} = 14,45 \text{ м}$$

3.2. Радиус отстойников с нисходяще – восходящим потоком:

$$R = 1,4 * R_s = 20,23 \text{ м}$$

3.3. Ширина кольцевой зоны:

$$R^2 - \frac{Q}{3,6 * \pi * v_{oc}} = \delta^2$$
$$\delta = R - \sqrt{\frac{Q}{3,6 * \pi * v_{oc}}}$$

## **4. Расчет радиальных отстойников**

4.1. Рабочий объем отстойника рассчитывают по формуле:

$$V = Q * \tau = 750 \text{ м}^3$$

4.2. Радиус радиальных отстойников рассчитывают по формуле:

$$R_s = \sqrt{\frac{Q}{3,6 * \pi * k * v_{oc}}} = 6,46 \text{ м}$$

Где  $k = 0,45$

4.3. Высота зоны отстаивания:

$$h_1 = \frac{V}{\pi * R^2} = 5,72 \text{ м}$$

4.4. Общая высота отстойника:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 1,3$$

## Практическая работа № 1

### Оценка эффективности процессов обработки природной воды. Коагуляция

Коллоидные растворы – это гетерогенные системы, обладающие большой свободной энергией, то есть они термодинамически неустойчивы. Различают кинетическую и агрегативную устойчивость.

**Причиной кинетической** устойчивости является броуновское движение, которое противодействует оседанию частиц под действием силы тяжести.

**Причиной агрегативной** устойчивости является наличие у частиц одноименных зарядов и сольватных оболочек, которые мешают слипанию частиц.

Процесс слипания коллоидных частиц с образованием более крупных (потеря агрегативной устойчивости) с последующей седиментацией (потеря кинетической устойчивости) называется коагуляцией. Коагуляция наступает тогда, когда силы притяжения между частицами превышают силы отталкивания одноименно заряженных **частиц, гранул**.

Процесс коагуляции могут вызвать различные факторы: изменение температуры, увеличение концентрации, механическое воздействие, добавление электролитов. Наиболее изучена и имеет наибольшее практическое значение коагуляция коллоидов электролитами. Электролиты, с одной стороны, необходимы для стабилизации золей, а с другой стороны, их избыточное добавление ведет к коагуляции золей, а именно при увеличении их концентрации до некоторого значения, называемого порогом коагуляции.

Порог коагуляции ( $\gamma$ ) – это минимальное количество электролита ( в молях), которое надо добавить к 1 л золя, чтобы вызвать начало коагуляции за определенный промежуток времени. Порог коагуляции рассчитывают по формуле:

$$\gamma = \frac{C \cdot V}{\omega}, \text{ где}$$

$\gamma$  – порог коагуляции (моль/л)

C – концентрация электролита (моль/л)

V – объем раствора электролита (л)

$\omega$  – объем золя (л)

Коагулирующее действие электролитов подчиняется **правилу Шульце-Гарди**: коагуляцию вызывают ионы с зарядом, противоположным заряду гранулы, и коагулирующая способность тем выше, чем больше заряд коагулирующего иона.

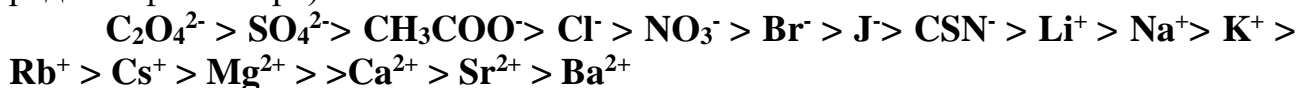
Таким образом, лучшим коагулятором является тот электролит, который имеет наименьший порог коагуляции для данного золя.

Дерягин и Ландау с помощью теоретических расчетов показали, что значения порогов коагуляции для ионов различного заряда относятся как:

$$\gamma(1+):\gamma(2+):\gamma(3+)\approx\frac{1}{1^6}:\frac{1}{2^6}:\frac{1}{3^6}, \text{ или}$$

1:0,018:0,0013 т.е. коагулирующее действие ионов растет примерно пропорционально шестой степени заряда иона.

Правило Шульце-Гарди носит приближенный характер, так как наряду с величиной заряда имеет значение и природа ионов: чем выше гидратируемость иона, тем меньше его коагулирующее действие. По уменьшению степени гидратации ионы могут быть расположены в следующие ряды (лиотропные ряды Гофмейстера):



Коагулирующее действие ионов электролитов связано, в основном, с уменьшением потенциала коллоидных частиц за счет сжатия диффузного слоя и за счет избирательной и ионообменной адсорбции на коллоидных частицах ионов электролита и зарядом, противоположным заряду гранулы. Коагуляция, как правило, наблюдается при уменьшении потенциала до 25-30 мВ (критический потенциал).

Коагуляция происходит также при смешивании двух золь с различными знаками заряда (взаимная коагуляция) Такой вид коагуляции применяется в санитарно-гигиенической практике при очистке воды от взвешенных коллоидных частиц. При добавлении к воде солей алюминия (или трехвалентного железа) последние образуют положительно заряженные коллоидные частицы гидроксидов, которые соединяются с отрицательно заряженными коллоидными частицами, имеющимися в воде.

Коагулирующая способность электролита зависит и от способа его прибавления к золю. Если добавлять золь малыми дозами, коагуляция наступает позже. Это явление носит название «привыкания» золь. Его следует учитывать при инъекциях.

Многочargedные ионы (например, ионы трех- и четырехвалентных металлов, органические ионы), а также ионы  $\text{H}_3\text{O}^+$  и  $\text{OH}^-$  при добавлении их к зольам могут вызвать явление «неправильных рядов» (чередование зон устойчивости и коагуляции).

Сначала, по достижению порога коагуляции, они вызывают коагуляцию золя (первая зона коагуляции). Дальнейшее увеличение концентрации ионов стабилизирует золь, и коагуляция отсутствует (зона устойчивости). При еще больших концентрациях вновь наступает коагуляция (вторая зона коагуляции). Явление «неправильных рядов» связано с перезарядкой коллоидных частиц.

Перезарядка золь объясняется тем, что многочargedные ионы обладают большой адсорбционной способностью. При коагуляции золя электролитов можно наблюдать:

а) явление аддитивности – суммирование коагулирующего действия ионов;

б) явление антагонизма – ослабление коагулирующего действия одного иона в присутствии другого;

в) Явление синергизма – усиление коагулирующего действия одного иона в присутствии другого.

Явление коагуляции играет существенную роль в живом организме, так как коллоидные растворы клеток и биологических жидкостей находятся в соприкосновении с электролитами. Поэтому при введении в организм какого-либо электролита надо учитывать не только его концентрацию, но и заряд ионов. Так, физиологический раствор хлорида натрия нельзя заменить изотоническим раствором хлорида магния, поскольку в этой соли имеется двухзарядный ион магния, обладающий высоким коагулирующим действием. При введении смеси солей следует предварительно убедиться, что соли не являются синергистами, чтобы избежать вредной для организма коагуляции.

Решение многих проблем в медицине (например, протезирование кровеносных сосудов, клапанов сердца и т.д.) связано с проблемой свертывания крови. В хирургии во время операций в кровь вводят антикоагулянты (гепарин), а после операции – для повышения коагуляции – протамин-сульфат.

С явлением коагуляции эритроцитов вследствие уменьшения их дзета-потенциала врачи постоянно имеют дело в клинических лабораториях (метод определения СОЭ – скорости оседания эритроцитов). Это явление объясняется тем, что при патологии в крови увеличивается содержание некоторых видов белков, место ионов электролитов на поверхности эритроцитов занимают белки, заряд которых ниже, чем у суммы замещенных ими ионов. Заряд эритроцитов понижается, они быстрее объединяются и оседают.

При добавлении к золям некоторых высокомолекулярных веществ устойчивость золь к действию электролитов значительно повышается, что выражается в повышении порога коагуляции. Такое явление получило название **коллоидной защиты**. Защищенный золь поддается концентрированию и даже выпариванию досуха и становится обратимым (т.е. термодинамически устойчивым), он как бы приобретает свойства раствора высокомолекулярного вещества.

Механизм защитного действия зависит от образования адсорбционного слоя введенного вещества вместе с его гидратными оболочками на поверхности частиц гидрофобного золь. Защитными веществами в водной среде могут служить белки, углеводы, пектины. Различные высокомолекулярные вещества защищают слои неодинаково. Мерой защитного действия высокомолекулярных соединений является так называемое «золотое число» - то минимальное количество миллиграммов сухого высокомолекулярного соединения, которое необходимо добавить к 10 мл стандартного (красного) золь золота для того, чтобы предотвратить его коагуляцию (посинение) при введении в систему 1 мл 10%-го раствора хлорида натрия.

Аналогично можно оценить «серебряное число», «рубиновое число», «железное число» и т.д. Более простое и легко доступное «железное число»

определяют как минимальное число миллиграммов защищающего высокомолекулярного соединения, способного защитить 10 мл золя гидроксида железа от коагулирующего действия 1 мл 0,005 моль/л раствора сульфата натрия.

Золотые и железные числа некоторых веществ

Вещество	Золотое число, мг	Железное число, мг
Желатин	0008	5,0
Гемоглобин	0,25	-
Крахмал	25,0	20,0

Явление защиты играет большую роль в жизни организма. Так, белки крови защищают жир, холестерин, малорастворимые соли кальция и мочевой кислоты от коагуляции и выделения на стенках сосудов. При понижении защитной функции белков возникают заболевания: атеросклероз, кальциноз, подагра, образование камней в почках, печени ит.п.

Способность крови удерживать в растворенном состоянии большое количество газов (кислорода и углекислого газа) также обусловлена защитным действием белков.

В медицине измерением «золотого числа» спинномозговой жидкости пользуются для диагностики некоторых заболеваний, например, менингита.

В фармацевтической промышленности защитные свойства веществ широко используются для получения концентрированных золей серебра, ртути, золота (например, лекарственный препарат колларгол – коллоидный препарат серебра, а протаргол – коллоидный раствор оксида серебра, защищенные высокомолекулярными соединениями).

**Цель работы:** научиться определять пороги коагуляции, уметь сравнивать коагулирующую способность различных электролитов, определять «железное число» для растворов ВМС.

**Исходный уровень знаний.** Студентам необходимо знание следующих вопросов:

1. Второе начало термодинамики
2. Строение коллоидной частицы
3. Процесс адсорбции ионов
4. Устойчивость коллоидных растворов.

**Учебно-целевые вопросы.**

1. Агрегативная и кинетическая устойчивость
2. Коагуляция и факторы, вызывающие ее. Порог коагуляции
3. Коагулирующая способность электролитов
4. Коллоидная защита
5. Биологическая роль коагуляции и коллоидной защиты.

## **Экспериментальная часть.**

### **Приборы и реактивы:**

1. Бюретка – 2 шт.
2. Пипетки – 10 мл, 2 мл
3. Пробирки – 12 шт.
4. Колбы – 10 мл, 4 шт.
5. 1н р-р KCl, 1н р-р K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>, золь Fe(OH)<sub>3</sub>, 1% р-р желатина, полунасыщенный р-р KCl.

### **Опыт 1. Определение порога коагуляции золя гидроксида железа (III) для электролитов хлорида калия и хромата калия.**

Отмерить пипеткой по 10 мл золя Fe(OH)<sub>3</sub> в две конические колбы на 100 мл. Одна служит контролем, в другой золь титруем осторожно небольшими порциями 1н раствором KCl

до появления мути (едва заметной), которую легко установить, сравнивая с контрольной колбой. Опыт проделать три раза. Записать объем KCl, пошедший на титрование и рассчитать порог коагуляции. Аналогично проделать опыт для электролита K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. Сделать вывод, от каких факторов зависит коагулирующая способность электролита.

Таким образом, коагулирующая способность хлорида меди примерно в 4 раза больше, чем хлорида натрия (объяснить почему). Сопоставляя коагулирующую способность двух электролитов, делаем вывод – коагулирующим действием обладают катионы и, следовательно, согласно правилу Шульце-Гарди, частица синего золя берлинской лазури имеет отрицательный заряд.

### **Опыт 2. защитное действие ВМС.**

Берут ряд из семи пробирок. В первую пробирку ряда наливают 2 мл 1%-го р-ра желатина. В остальные пробирки вносят по 1 мл дистиллированной воды и последовательно переносят по 1 мл раствора из 1-й пробирки во вторую, из 2-й в третью и т.д. Из последней пробирки 1 мл выбрасывают. Получают ряд растворов с убывающей концентрацией желатина. Затем в каждую пробирку ряда добавляют по 1 мл золя Fe(OH)<sub>3</sub> и 1 мл полунасыщенного раствора KCl. Пронаблюдать в какой из пробирок произошла коагуляция, т.е. концентрация в них недостаточная для защиты. Результаты наблюдений занести в таблицу. Поставить знак «+» там, где произошла защита и знак «-» там, где нет. Рассчитать «железное число» для желатина. Для этого необходимо найти среднее арифметическое число – значение в последней «защищенной пробирке» и первой, в которой произошла коагуляция. Затем, зная процентную концентрацию рассчитать количество мг желатина, содержащегося в 1 мл раствора, которым защищают 1 мл золя гидроксида железа(III).

Номера пробирок с концентрацией желатина в %						
1	2	3	4	5	6	7

**Контрольные вопросы.**

1. Почему коллоидные растворы термодинамически неустойчивы?
2. Чем определяется агрегативная и кинетическая устойчивость?
3. Действием каких внешних факторов можно вызвать коагуляцию коллоидного раствора?
4. Как используется коагуляция при очистке воды?
5. Даны пороги коагуляции для следующих электролитов ммоль/л:  $\text{KNO}_3$ – 50,  $\text{MgCl}_2$ – 0,72,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ – 43,  $\text{MgSO}_4$ – 0,81,  $\text{AlCl}_3$ – 0,099. Каков заряд зольей?
6. В чем причина автокоагуляции и какова скорость этого процесса в сравнении с коагуляцией?
7. В чем проявляется особенность коагуляции зольей под действием электролитов? Приведите пример антагонизма ионов на биологических объектах.
8. Как можно определить знак коллоидной частицы?
9. Что произойдет с коллоидной частицей, если полностью удалить присутствующий в ней электролит?



## Практическая работа № 2

### Оценка эффективности процессов обработки природной воды.

#### Отстаивание

##### Процесс отстаивания сточной воды

Основным уравнением скорости осаждения (гидравлической крупности) взвешенных частиц в воде является формула Стокса

Формула Стокса верна при некоторых допущениях. Во-первых, частицы должны иметь форму шара. Поскольку взвешенные частицы далеки от шарообразной формы, вводится понятие «эквивалентный диаметр», который равен диаметру шарообразной частицы, имеющей одинаковую с данной частицей гидравлическую крупность.

Во-вторых, процесс осаждения должен происходить в монодисперсной агрегативно-устойчивой системе, когда частицы имеют одинаковые размеры и при осаждении не меняют своей формы и размеров.

При отстаивании сточных вод процесс происходит в полидисперсной агрегативно-неустойчивой системе с большим диапазоном размеров частиц, которые в процессе осаждения агломерируются, изменяют свою форму, плотность и размеры; вследствие этого изменяется и скорость их осаждения. Поэтому кинетику процесса осаждения или всплывания гру-бодисперсных примесей сточных вод устанавливают опытным путем в лабораторных условиях для сточных вод определенного состава.

Характеристику осаждения взвешенных частиц выражают в виде графиков функциональной зависимости: эффекта отстаивания от продолжительности отстаивания или же эффекта отстаивания от гидравлической крупности частиц.

Эффект осаждения зависит от высоты слоя воды, в котором происходит отстаивание.

Глубина отстаивания  $H$  в натурных сооружениях равна 2—4 м. В лабораторных условиях кинетика процесса отстаивания сточных вод обычно изучается при меньшей высоте слоя воды.

Госкомитетом по науке и технике и техническим советом стран—членов СЭВ принято, что для сравнения результатов исследований, выполненных разными авторами, эксперименты по отстаиванию взвешенных веществ в покое должны проводиться при высоте слоя жидкости  $h = 500$  мм, принимаемой за эталон.

В тех случаях, когда данные отсутствуют и не могут быть получены по каким-либо причинам экспериментальным путем, отстойники рассчитывают по имеющимся данным для близких по составу сточных вод или применяют другие способы расчета.

В целях повышения эффективности работы отстойников, особенно при содержании в сточной воде взвешенных веществ более 300 мг/л, необходимо

принимать дополнительные меры: а) добавлять к сточным водам химические реагенты — коагулянты, способствующие увеличению гидравлической крупности частиц примесей; б) добавлять хорошо оседающие взвешенные вещества, в частности, активный ил, выполняющий роль сорбента и биокоагулянта; в) предварительно аэрировать сточные воды, что способствует флокуляции (хлопьеобразованию и укрупнению) находящихся в сточной воде мельчайших нерастворенных примесей.

Химические реагенты применяют главным образом при очистке производственных сточных вод, биокоагуляцию и флокуляцию — при очистке бытовых сточных вод и их смесей с производственными водами.

### **Горизонтальные отстойники**

Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный на несколько отделений. Обычно строят два или несколько параллельно работающих отделений отстойника, чтобы при чистке или ремонте одного из них не выключать из работы все сооружения.

Скорость перемещения взвешенной частицы в отстойнике представляет собой равнодействующую вертикальной скорости оседания частицы  $v_0$  под действием силы тяжести и скорости горизонтального движения воды  $v$  вдоль отстойника. Траектория движения частицы направлена здесь по равнодействующей этих двух скоростей. При заданных величинах  $H$ ,  $L$  и  $v$  можно найти такое значение скорости оседания  $v_0$ , при котором равнодействующая пройдет через наиболее удаленную точку дна отстойника  $г$ . В отстойнике будут задерживаться лишь взвешенные частицы, имеющие скорость оседания  $v_0$ , которая является наименьшей для данного отстойника. Ее называют охватываемой скоростью, т. е. гидравлической крупностью тех наиболее мелких взвешенных веществ, которые задерживаются отстойником указанной длины. Более мелкие частицы, скорость падения которых меньше  $v_0$ , будут выноситься с водой.

Высота борта отстойника над поверхностью воды обычно не превышает 0,4 м.

Между проточной и иловой частью отстойника предусматривается нейтральный слой высотой 0,4 м.

Ширина отстойника принимается в зависимости от способа удаления из него осадка, однако с таким расчетом, чтобы число отделений отстойника было не менее двух. Обычно эта ширина не превышает 9 м. Ширину отстойника целесообразно увязывать с шириной аэротенков (6 и 9 м), чтобы иметь возможность объединить эти сооружения в секции.

Имеющиеся унифицированные сборные панели высотой 3,6 и 4,8 м для прямоугольных емкостей позволяют подобрать по глубине проточной части два типоразмера горизонтальных отстойников—3,2 и 4,4 м.

Осадок из отстойников удаляется под гидростатическим давлением и с помощью различных механизмов (скребков, насосов, элеваторов и др.).

Основными преимуществами горизонтальных отстойников являются: малая глубина, хороший эффект очистки, возможность использования одного скребящего устройства для нескольких отделений. К недостаткам их относится необходимость применения большего числа отстойников вследствие ограниченной ширины.

### **Вертикальные отстойники**

Вертикальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар с коническим дном.

Сточная вода подводится к центральной трубе и спускается по ней вниз. При выходе из нижней части центральной трубы она меняет направление движения и медленно поднимается вверх к сливному желобу. При этом из сточной воды выпадают грубодисперсные примеси, плотность которых больше плотности сточной воды. Для лучшего распределения воды по всему сечению отстойника и предотвращения взмучивания осадка опускающейся водой центральную трубу делают с раструбом, ниже которого устанавливают отражательный щит.

Каждая частица нерастворенных примесей, поступившая в отстойник, стремится двигаться вместе со слоем воды вверх с той же скоростью  $V$ , с какой движется вода; в то же время под действием силы тяжести она стремится вниз со скоростью  $u_0$ , зависящей от размера и формы частиц, их плотности и вязкости жидкости.

Сточная вода содержит механические примеси различной гидравлической крупности, поэтому при протокe ее в отстойнике с какой-либо постоянной скоростью  $v$  частицы этих примесей будут занимать самые различные положения. Одни из них (при  $u_0 > v$ ) быстро осаждаются на дно отстойника, другие (с  $u_0 = v$ ) находятся во взвешенном состоянии, третьи (с  $u_0 < v$ ) увлекаются вверх. Последние на своем пути встречают зону воды с массой взвешенных частиц, так называемый взвешенный слой. Проходя его и сталкиваясь с более крупными частицами, мельчайшие частицы укрупняются, что способствует их осаждению.

Для бытовых сточных вод величину  $v$  принимают равной 0,7 мм/с. Продолжительность отстаивания зависит от требуемой степени осветления сточных вод и принимается в пределах от 30 мин (перед полями фильтрации) до 1,5 ч (перед аэротенками и биофильтрами).

Уровень воды в отстойнике определяется гребнем переливного (сборного) желоба, в который поступает отстоенная вода. Отсюда она направляется на последующую очистку. Взвешенные вещества, выделившиеся из сточной воды, образуют осадок (примерно 0,8 л/сутки по расчету на одного жителя), скапливающийся в иловой части отстойника, вместимость которой рассчитывают на двухсуточный объем осадка.

Осадок из вертикальных отстойников удаляют под действием гидростатического давления через иловую трубу диаметром 200 мм, выпуск

которой расположен на 1,5—2 м ниже уровня воды в отстойнике. Влажность осадка 95%.

Вертикальные отстойники имеют преимущества по сравнению с горизонтальными; к числу их относятся удобство удаления осадка и меньшая площадь, занимаемая сооружением. Однако они имеют и ряд недостатков, из которых можно отметить: а) большую глубину, что повышает стоимость их строительства, особенно при наличии грунтовых вод; б) ограниченную пропускную способность, так как диаметр их не превышает 9 м.

При проектировании вертикальную скорость движения сточной воды принимают равной наименьшей скорости выпадения той части взвешенных веществ, на содержание которой рассчитывается отстойник; величина  $v_0$  останавливается по графику осаждения взвешенных частиц. Расчетная площадь поперечного сечения отстойника равна площади поверхности воды в нем (в плане) за вычетом площади центральной трубы. Рабочей длиной (высотой) отстойника является расстояние от низа центральной трубы до поверхности воды.

Эффект осветления сточной воды в вертикальных отстойниках составляет практически не более 40%, теоретически расчет ведется на эффект осветления 50%.

Число отстойников зависит от принятого конструктивного типа, диаметра одного отстойника и расчетного расхода сточной воды. Полная строительная высота (глубина) отстойника определяется как сумма высоты проточной части, нейтрального слоя, иловой части (или камеры) и высоты борта над уровнем воды, принимаемой 0,3—0,4 м.

Высота иловой камеры зависит от ее объема и диаметра отстойника. Расчетную вместимость иловой камеры определяют по объему выпадающего осадка и продолжительности пребывания его в камере.

Иловую часть отстойников выполняют конической (для круглых отстойников) с углом наклона стенок днища  $50^\circ$ , чтобы обеспечить сползание осадка. Внизу конуса (или пирамиды) устраивают площадку диаметром 0,4 м.

Во избежание попадания в сток всплывших загрязнений перед сборными лотками (периферийными и радиальными) устанавливают полупогружные доски (щитки), расположенные на расстоянии 0,3—0,5 м от лотка; их погружают в воду на глубину 0,25—0,3 м от поверхности воды; высота непогруженной в воду части должна быть не менее 0,2—0,3 м.

Вертикальный отстойник новой конструкции с нисходяще-восходящим потоком сточной воды представляет собой круглый резервуар с периферийным лотком для сбора осветленной воды. Отличие этого отстойника от типового заключается в том, что центральная труба заменена не доходящей до дна полупогружной перегородкой, разделяющей площадь отстойника на две равные части, а впускное устройство выполнено на внутренней поверхности перегородки по всему периметру в виде переливного зубчатого распределителя с затопленным отражательным козырьком.

Сточная вода поступает по лотку (или по трубе) в приемную камеру, а затем в лоток, имеющий зубчатый водослив, из которого вода равномерно переливается и движется по периметру внутренней части отстойника. Отражательный козырек меняет направление движения воды с вертикального на горизонтальное. По мере продвижения от перегородки к центру вода опускается вниз, распределяясь равномерно по всему сечению внутренней нисходящей части отстойника. При движении сточной воды вниз с малыми скоростями поток теряет свою транспортирующую способность, благодаря чему происходит осаждение взвешенных частиц. Интенсивное разделение жидкой и твердой фаз происходит на повороте потока. Далее вода движется восходящим потоком, переливается через борт сборного лотка и отводится через отводную трубу. Всплывающие вещества скапливаются у воронки и периодически удаляются через трубу. Осадок удаляется под гидростатическим давлением по иловой трубе.

Вертикальный отстойник этого типа увеличивает эффект задержания взвешенных веществ до 60—70% или при сохранении эффекта осветления обычного вертикального отстойника увеличивает пропускную способность примерно в 1,5 раза.

## Практическая работа № 3

### Оценка эффективности процессов обработки природной воды.

#### Фильтрация

##### Цель:

- изучение работы безнапорного однослойного фильтра;
- определение эффективности очистки сточных вод.

##### Оборудование:

- безнапорный фильтр с фильтрующей загрузкой,
- секундомер,
- эксикатор,
- весы,
- сушильный шкаф,
- мерный цилиндр на 1 л (2 шт),
- стаканы для отбора проб (4 шт),
- беззольный бумажный фильтр,
- воронки,
- колбы конические.

##### Теоретическая часть:

Технологическое назначение фильтров при очистке промышленных сточных вод определяют местом расположения их в технологических схемах очистки и видом загрязнений, снимаемых при фильтровании. Фильтры можно применять для общей доочистки сточных вод после механической, физико–химической (ионный обмен, адсорбция, экстракция и др.) или биологической (нефтедержащие стоки) очистки, а также для выделения некоторых специфических загрязнений – нефти, смол, масел и др.

Выбор вида загрузки зависит, в основном, от общего состава сточных вод и характера удаляемых при фильтрации загрязнений.

При выборе загрузки и материалов для конструктивных элементов фильтров следует учитывать агрессивность сточных вод и их химический состав.

В большинстве случаев фильтрование используется в качестве завершающего этапа в технологии очистки сточных вод. В процессе фильтрования воды происходит задержание и накопление в порах загрузки и на ее зернах частиц взвеси, обуславливающих мутность воды.

Эффект фильтрования зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются размер частиц взвеси, величина зерен фильтрующего материала и скорость фильтрования. Зависимость между этими факторами может быть выражена формулой:

$$d = c\sqrt{eV}$$

где  $d$  – диаметр наименьших частиц взвеси, задержанных в слое фильтрующего материала, мм;

$c$  – эффективная величина зерен фильтрующей загрузки, мм (калибр сита, через которое проходит 10 % зерен фильтрующего материала);

$V$  – скорость фильтрования, м/ч;

$e$  – коэффициент пропорциональности.

Интенсивность процесса фильтрования характеризуется скоростью фильтрования. Скорость фильтрования определяется расходом обрабатываемой (фильтруемой) воды ( $\text{м}^3$ ), прошедшей за 1 час через  $1 \text{ м}^2$  площади фильтра:

$$V = \frac{Q}{F};$$

где  $V$  – скорость фильтрования, м/ч;

$Q$  – количество фильтруемой воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$F$  – рабочая площадь фильтра,  $\text{м}^2$ .

Проверка размерности для выражения (1.2), выглядит так:

Фильтрование воды через загрузку происходит под действием разности давления на входе  $P_{\text{вх}}$  и на выходе  $P_{\text{вых}}$  из фильтра, которая называется потерей напора в фильтрующем слое  $\Delta P$  и определяется по формуле:

$$\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}$$

В начальный момент работы фильтра она зависит от скорости фильтрования воды, ее вязкости, размера и формы пор фильтрующего слоя, его толщины.

Эффект осветления воды при фильтровании зависит от суммарного результата двух противоположных процессов:

- процесса извлечения частиц из воды и их закрепления на зернах фильтрующей загрузки под действием сил прилипания;

- процесса частичного отрыва ранее прилипших частиц, обратного их поступления в воду (под действием гидродинамических сил потока) и повторного задержания в более глубоко расположенных слоях загрузки.

Для фильтрования сточных вод используется лабораторная установка, состоящая из бака 1, в котором осуществляется приготовление исходной воды. Исходная вода готовится путем замутнения обычной водопроводной воды осадком, взятым с производственных фильтров, или же путем отбора сточной воды промышленного предприятия предварительной стадии очистки. Исходная вода в баке не циркулирует, что позволяет поддерживать взвесь во взвешенном состоянии. Далее в установку входит модель безнапорного однослойного фильтра с фильтрующей загрузкой 3. Регулирование работы осуществляется посредством запорно–регулирующей арматуры 2.

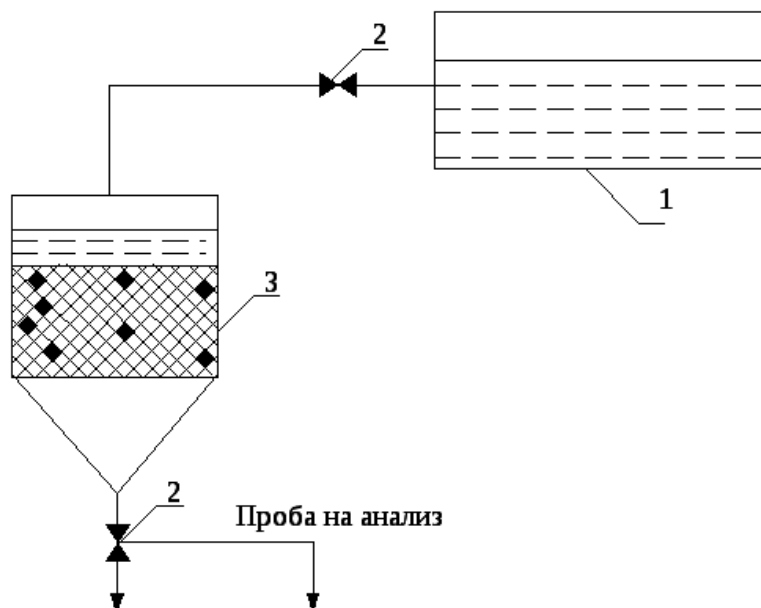


Рисунок 1 – Установка для фильтрования сточных вод

1– бак исходной сточной воды; 2– вентили; 3– безнапорный фильтр с фильтрующей загрузкой.

П о р я д о к п р о в е д е н и я р а б о т ы:

1) Измерить диаметр модели фильтра ( $d$ ).

2) Вычислить рабочую площадь фильтра,  $\text{м}^2$ , используя формулу:

$$F = \frac{\pi d^2}{4}$$

3) Задавшись рекомендуемой скоростью фильтрации  $V$ , определить расчетную производительность модели фильтра по формуле:

$$Q = F \cdot V$$

4) Установить на модели соответствующую производительность, регулируя расход вентилем 2 и замеряя объем обрабатываемой воды мерным цилиндром за определенное время, отсчитываемое секундомером.

5) После 20 – 25 минут работы модели фильтра в расчетном режиме произвести отбор проб воды и замерить количество взвешенных веществ в профильтрованной жидкости. Для этого берут беззольный фильтр, предварительно высушенный при температуре  $105^\circ\text{C}$  в течение 1–2 часов и взвешенный, и пропускают через него 100 мл анализируемой сточной воды. Затем фильтр помещают в заранее взвешенный бюкс, высушивают при температуре  $105^\circ\text{C}$ , охлаждают в эксикаторе и снова взвешивают. Высушивание, охлаждение и взвешивание повторяют до достижения постоянной массы. Содержание грубо дисперсных примесей вычисляют по формуле:

$$X = \frac{(a - b) \cdot 1000}{V}$$

где  $a$  – масса фильтра с осадком, мг;



$b$  – масса фильтра без осадка, мг;

$V$  – объем профильтрованной сточной воды, мл.

Пункт 5) рекомендуется повторить не менее 3–х раз с 15–минутными интервалом.

6) Рассчитать эффект задержания взвести в слоях загрузки по формуле:

$$\Xi = \frac{M_1 - X}{M_1} \cdot 100\%$$

7) Результаты расчетов занести в таблицу 1.1.

Результаты экспериментальных исследований

Содержание взвешенных веществ в воде, мг/л				Эффект задержания взвести в слоях загрузки, Э, %
В исходной воде, $M_1$	Пробы после обработки			
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	

8) Построить график зависимости эффективности очистки  $\Xi_{оч}$  от времени очистки  $\tau_{оч}$ .

### Контрольные вопросы

1. Технологическое назначение фильтров.
2. Определение эффекта фильтрования.
3. Скорость фильтрования
4. Эффект осветления вод при фильтровании.
5. Принцип действия установки для фильтрования сточных вод.

## Практическая работа № 4

### Оценка эффективности процессов обработки природной воды.

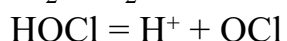
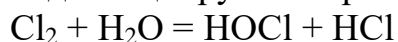
#### Хлорирование

**Цель работы:** изучить методы обеззараживания питьевой воды, овладеть методом лабораторного контроля за обеззараживанием воды хлорированием.

Для улучшения качества и санитарно-эпидемиологической безопасности питьевой воды производят ее обеззараживание. Из таких известных методов обеззараживания воды, как хлорирование, озонирование, обработка солями тяжелых металлов, йодирование, ультрафиолетовое облучение, действие ионизирующей радиации, ультразвука, в настоящее время наиболее распространено хлорирование.

При хлорировании воды используют газообразный хлор, хлорную известь, гипохлорит кальция, хлорамин, дихлоризоциануровую кислоту и др.

Молекулярный хлор в воде гидролизует с образованием хлорноватистой и хлористоводородной кислот. Нестойкая хлорноватистая кислота диссоциирует с образованием гипохлоритного иона  $\text{OCl}^-$ :



Основное бактерицидное действие оказывает хлорноватистая кислота и гипохлоритный ион, которые вместе входят в понятие «активный хлор».

Достаточная эффективность обеззараживания воды зависит от наличия взвешенных частиц, количества и вида микроорганизмов, степени перемешивания воды и достаточной длительности контакта воды с хлором (в теплое время года - 30 мин, в холодное - 60 мин).

Хлор, поступающий в воду, связывается микроорганизмами, органическими веществами и недоокисленными неорганическими соединениями, что составляет хлорпоглощаемость воды. После связывания активного хлора в воде должно остаться некоторое количество остаточного свободного хлора. Обеззараживание воды считается надежным, если остаточный свободный хлор составляет 0,3-0,5 мг/л.

#### Ход работы

##### *Оrientировочное определение остаточного свободного хлора*

Исследуемую воду в количестве 10 см<sup>3</sup> наливают в пробирку, прибавляют 1 мл 10 %-ного раствора йодида калия и 0,5 мл 1 %-ного раствора крахмала. Перемешивают содержимое пробирки встряхиванием и рассматривают степень окраски над листом белой бумаги.

Количество хлора определяют исходя из окраски раствора:

- едва заметная синева - 0,05 мг/л остаточного хлора;
- слегка синеватая окраска - 0,1 мг/л;
- светло-синяя - 0,2 мг/л;

- синяя - 0,3 мг/л;
- густая синяя - 0,5 мг/л;
- сине-черная (не видно дна пробирки) - 1 и более мг/л.

*Определение остаточного свободного хлора титрованием метиловым оранжевым.*

Метод основан на окислении свободным хлором красителя метилового оранжевого. Анализируемую воду в количестве 100 см<sup>3</sup> помещают в фарфоровую чашку, добавляют 2-3 капли 5н раствора соляной кислоты и, помешивая, быстро титруют 0,005 %-ным раствором метилового оранжевого до появления не исчезающей розовой окраски.

Содержание свободного остаточного хлора в мг/дм<sup>3</sup>, вычисляют по формуле 1:

$$X = \frac{0,04 + (v \cdot 0,0217) \cdot 1000}{V}, (1)$$

где  $v$  - количество 0,005 %-ного раствора метилового оранжевого, израсходованного на титрование, мл;

0,0217 - титр раствора метилового оранжевого;

0,04 - эмпирический коэффициент;

$V$  -объем воды, взятый для анализа, мл.

### **Контрольные вопросы**

1. Что включают химические показатели питьевой воды?
2. Каково гигиеническое значение химических показателей питьевой воды?
3. Какие показатели определяют загрязнение питьевой воды?
4. Что такое обеззараживание питьевой воды?
5. Как определяется эффективность обеззараживания питьевой воды?

## **Практическая работа № 5**

### **Оценка эффективности процессов обработки природной воды.**

#### **Озонирование**

**Процесс озонирования может быть разделен на два последовательных этапа:**

Первичное и вторичное или озон вводится единовременно при окончательной обработке воды (после фильтров). Озон во всех случаях окисляет названные выше соединения, приводя к их расщеплению, сопровождающемуся исчезновением привкусов и запахов.

Таким образом происходит нейтрализация веществ путем своего рода «холодного сжигания». Между тем хлор оставляет иногда в воде специфический запах; по-видимому, это особенно часто происходит с водами маломинерализованными.

По сравнению с другими окислителями озон обладает рядом преимуществ. Так, благодаря более высокой окислительной способности, озон в состоянии действовать на такие соединения, которые не поддаются действию других химических реагентов. Обработка воды избыточным количеством озона не влечет за собой никаких нежелательных явлений: избыточный озон, будучи нестойким, снова превращается в кислород в течение нескольких минут.

Озонирование не создает дополнительных или замещающих соединений, тогда как хлор дает с некоторыми веществами сложные соединения, вызывающие появления весьма резких запахов. Типичным примером является хлорфенол, образующийся при обработке хлором воды имеющей примесь фенолов.

В этих случаях хлорированная вода приобретает весьма неприятные привкусы и запахи, даже если фенолы присутствуют в ничтожной пропорции 1:100000.

Именно поэтому ГОСТ 2874-54 в числе дополнительных требований к качеству питьевой воды устанавливает необходимость отсутствия хлорфенольных запахов при хлорировании воды.

В предварительно хлорированной воде г. Ницы замечали некоторый запах хлорфенола. Однако после озонирования фильтрованной воды этот запах никогда не наблюдался за все время 55-летней эксплуатации озонирующей установки

Но и при отсутствии фенольных загрязнений хлорирование вызывает усиление привкуса и запаха исходной воды. Так, на Восточной водопроводной станции в Москве обработка воды хлором, как правило, вела к усилению болотно-тенистых запахов волжской воды. После озонирования на опытной установке дозами 0,5-1 мг/л эти запахи воды интенсивностью 3 балла полностью исчезали.

	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
760										X								
700	X																	
640																		
560																		
480																		
400																		
320																		
240													X		X			X
160			X				X								X			
80									X			X						
0		X		X	X	X		X			X		X			X		
	D			E			F			G			H			I		

*Разбавление воды, при котором исчезает запах с помощью озона*

А – интенсивность запаха до озонирования;

В – то же, после озонирования; С – то же, после хлорирования

Запахи: D и E – затхлый; F – actin-condiens; G - actin-griesens; H – actin-creataceus; I – actin-coelicolor

## Исследование

Озон является очень мощным дезинфицирующим средством. В таблице 1 сравниваются КВ-значения (концентрация \* время) различных дезинфицирующих средств для дезактивации вирусов.

Хлор подходит для дезактивации бактерий и вирусов, но не может быть использован, чтобы деактивировать простейших.

В таблице 2 показана скорость дезинфекции Giardia cyst.

В этой таблице вы можете увидеть, что хлор и хлорамин имеют более низкие КВ-значения. Это означает, что озон является более мощным дезинфицирующим средством, чтобы дезактивировать этот микроорганизм.

Простейшие Cryptosporidium практически не деактивируется хлором и хлораминном.

КВ-значения для дезактивации хлора колеблются в пределах от 3000 до 4000 мг мин / л для 1-лога дезактивации (= 90% деактивации).

**Таблица 1: КВ-значения для дезактивации вирусов различными дезинфицирующими средствами**

Дезинфицирующее средство	Единица измерения	Обеззараживание		
		2-лог	3-лог	4-лог
Хлор*	мг * мин/л	3	4	7
Хлорамин**	мг * мин/л	643	1067	1491
Диоксид хлора***	мг * мин/л	4.2	12.8	25.1

Озон	мг * мин/л	0.5	0.8	1.0
Ультрафиолет	мВ * с/см2	21	36	-

\*Данные получены при температуре 10\*С, рНв диапазоне 6-9 и свободный хлор 0.2 – 0.5 мг/л.

\*\*Данные получены при температуре 10\*С и рН 8.

\*\*\*Данные получены при температуре 10\*С и рН 6-9.

**Таблица 2: КВ-значения для инаktivации Giardia cyst различными дезинфицирующими средствами**

Дезинфицирующее средство	Обеззараживание (мг * мин/л)					
	0.5-лог	1-лог	1.5-лог	2-лог	2.5-лог	3-лог
Хлор*	17	35	52	69	87	104
Хлорамин**	310	615	930	1.230	1.540	1.850
Диоксид хлора***	4	7.7	12	15	19	23
Озон	0.23	0.48	0.72	0.95	1.2	1.43

\*Данные получены при температуре 10\*С, рН 7 и свободный хлор равен или меньше 0.4 мг/л.

\*\*Данные получены при температуре 10\*С и рН 6-9.

\*\*\*Данные получены при температуре 10\*С и рН 6-9.

Преимущество озона является то, что он минимально влияет на рН и температуру.

Тем не менее, растворимость озона уменьшается при повышении температуры, уровень дезинфекции увеличивают при 10 ° С. В диапазоне 0 - 30 ° С, эти два фактора уменьшают друг друга.

Скорость обеззараживания озоном почти не изменяется в диапазоне pH от 6 - 8,5.

Для некоторых резистентных микроорганизмов (таких как *Giardia Muris*), скорость дезинфекции увеличивается при более высоких значениях pH.

Для других видов микроорганизмов, все наоборот.

## **Варианты технических решений**

Для очистки и доочистки воды рассмотрите возможность внедрения озонаторов для воды.

Опираясь на опыт работы, мы можем предложить установку озонирования под ваши нужды.

Получить консультацию по озонаторам, вы можете путем заполнения опросного листа или связавшись с нами.



## **Практическая работа № 6**

### **Оценка эффективности процесса стабилизационной отработки воды**

Для защиты водопроводных труб от коррозии и инкрустации (солеотложения) следует предусматривать стабилизационную обработку воды, необходимость которой устанавливается на основании химического анализа воды и технологических исследований по оценке агрессивности воды.

При определении необходимости стабилизационной обработки воды следует учитывать изменение ее качества в результате предшествующей обработки (коагулирование, умягчение, обезжелезивание, обезмарганцевание, аэрация и др.).

Для стабилизационной обработки воды должны применяться: открытая аэрация воды, фильтрация через материалы, выделяющие щелочные субстанции, или введение в воду щелочных реагентов (извести, соды или их смеси). При этом следует предусматривать введение щелочных реагентов в смеситель перед фильтрами и в фильтрованную воду перед вторичным хлорированием.

При стабилизационной обработке воды посредством фильтрования в качестве фильтрующей загрузки следует применять гранулированный карбонат кальция (известняк, мрамор) или полуобожженный доломит при нейтрализации воды с высоким значением уровня pH.

При высоком содержании железа (более 5 мг/л) и марганца (более 3 мг/л) требуется разделение процессов обезжелезивания и обезмарганцевания от стабилизационной обработки воды.

Стабилизационная обработка воды с применением гидроокисей (также соды) должна применяться при производительности установок более 10 000 м<sup>3</sup>/сут.

Для образования защитного слоя на трубах с целью предотвращения коррозии и образования солеотложений необходимо централизованно вводить в определенных случаях пропорционально расходу воды соли моно- и полифосфорных кислот, кремниевых кислот и их солей или смесей этих веществ.

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
**«Южно-Уральский государственный технический колледж»**

## **ОТЧЕТ**

по выполнению лабораторных работ

**МДК 03.01. Очистка и контроль качества природных и сточных вод**

**Выполнил:** \_\_\_\_\_

Группа: \_\_\_\_\_

**Проверил:** \_\_\_\_\_

Челябинск, 20\_\_

## Список литературы

### Основные источники:

1. Базавлук, В. А. Инженерное обустройство территорий. Мелиорация : учебное пособие для СПО / В. А. Базавлук. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 139 с.
2. Клиорина, Г. И. Инженерная подготовка городских территорий : учебник для СПО / Г. И. Клиорина, В. А. Осин, М. С. Шумилов. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 331 с.
3. Павлинова, И. И. Водоснабжение и водоотведение : учебник и практикум для СПО / И. И. Павлинова, В. И. Баженов, И. Г. Губий. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 380 с.
4. Феофанов, Ю. А. Инженерные сети: современные трубы и изделия для ремонта и строительства М. : Издательство Юрайт, 2018. — 157 с. -5-534-04929-9.
5. Каракеян, В. И. Очистные сооружения в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для СПО / В. Б. Кольцов, О. В. Кондратьева ; под общ. ред. В. И. Каракеяна. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 277 с.
6. Каракеян, В. И. Очистные сооружения в 2 ч. Часть 2 : учебник и практикум для СПО / В. Б. Кольцов, О. В. Кондратьева ; под общ. ред. В. И. Каракеяна. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 311 с.

### Дополнительные источники:

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001.