

Министерство образование Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»  
Кафедра водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Водоподготовка»

для студентов специальности

70 04 03 - «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Брест · 2008

УДК 532

Методические указания подготовлены для студентов дневной формы обучения, изучающих курс «Водоподготовка».

Настоящие методические указания содержат порядок выполнения лабораторных работ, предусмотренных рабочей программой.

Составители: Волкова Г. А., доцент, к.т.н.  
Сторожук Н. Ю., ассистент

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТРАБОТКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ .....	4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ КОАГУЛЯНТА ПРОБНЫМ КОАГУЛИРОВАНИЕМ .....	6
ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС КОАГУЛИРОВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ ЩЕЛОЧНОСТИ .....	8
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОЗ ФЛОКУЛЯНТА .....	8
ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОСАЖДАЕМОСТИ ВЗВЕСИ, ОБРАБОТАННОЙ И НЕОБРАБОТАННОЙ КОАГУЛЯНТОМ .....	10
СИТОВОЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЗАГРУЗОК .....	12
ОТРАБОТКА РЕГЛАМЕНТА ПРОМЫВКИ СКОРОГО БЕЗНАПОРНОГО ФИЛЬТРА.....	13
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ ХЛОРСОДЕРЖАЩЕГО РЕАГЕНТА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ РАЗЛИЧНОГО КАЧЕСТВА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЛОРИРУЕМОСТИ ВОДЫ, ХЛОРПОГЛОЩАЕМОСТИ И ХЛОРПОТРЕБНОСТИ .....	14
ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД УПРОЩЕННОЙ АЭРАЦИЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ .....	16
ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КОАГУЛЯЦИЕЙ И ФИЛЬТРОВАНИЕМ.....	18
ДЕЗОДОРАЦИЯ ВОДЫ СОРЕБЦИЕЙ.....	19
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ НИТРАТОВ И НИТРИТОВ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ .....	21
ЛИТЕРАТУРА .....	23

**ОТРАБОТКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ**

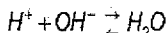
Цель работы: изучить и отработать методики определения жесткости общей и карбонатной, щелочности, кислотности.

Ход работы.

**1. Кислотность.**

Кислотность природных вод обусловлена содержанием свободной угольной кислоты, гуминовых и других органических кислот, а также растворимых солей, образованных слабым основанием и сильной кислотой.

В природных водах в большинстве случаев определяют общую кислотность реакцией нейтрализации при взаимодействии кислоты с щелочностью:



Ход определения. В коническую колбу емкостью 250 мл помещают 100 мл исследуемой воды, добавляют 5-10 капель раствора фенолфталеина. Пробу титруют 0,1 раствором NaOH до появления слабо-розового окрашивания, не исчезающего в течение 2-3 минут.

Общую кислотность  $K_{\text{общ}}$  (мг-экв/л) вычисляют по формуле:

$$K_{\text{общ}} = K \cdot B,$$

где  $K$  – поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора NaOH точно к 0,1 н.;  $B$  – расход 0,1 н. раствора NaOH на титрование, мл.

**2. Жесткость.**

Жесткость воды обуславливается содержанием в природных водах ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , которые существуют в результате взаимодействия с известняками, доломитами или в результате растворения гипса.

Различают общую, карбонатную и некарбонатную жесткость. Согласно СанПиН 10-124-РБ 99, общая жесткость воды, используемой для хозяйственно-питьевых целей, не должна превышать 7 мг-экв/л.

**2.1. Определение общей жесткости.**

Если известно содержание катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  в воде, общая жесткость может быть вычислена. Для этого определяют количество катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  и производят вычисление по формуле:

$$J_o = \frac{nCa^{2+}}{20,04} + \frac{nMg^{2+}}{12,16},$$

где  $J_o$  – общая жесткость воды, мг-экв/л;  $nCa^{2+}$ ,  $nMg^{2+}$  – соответственно содержание в воде ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , мг/л.

В качестве индикаторов применяют хромоген черный ЕТ-00 и кислотный хром темно-синий. В присутствии катионов кальция и магния хромоген серный приобретает вино-красный, а хром темно-синий – розово-красный цвет. При отсутствии катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  хромоген черный окрашивается в синий с зеленоватым оттенком, хром темно-синий – в синий с сиреневым оттенком цвет.

Ход определения. В коническую колбу отмеряют 100 мл исследуемой воды, добавляют 5 мл аммиачного буферного раствора, 6 капель индикатора хрома темно-синего и медленно при интенсивном помешивании титруют раствором трилона Б до переходной окраски. Общую жесткость  $J_o$  (мг-экв/л) вычисляют по формуле:

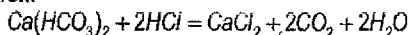
$$Ж_0 = \frac{aKV_1N \cdot 1000}{V_2},$$

где  $V_1$  – объем раствора трилона Б на титрование пробы воды, мл;  $N$  – нормальность раствора трилона Б,  $V_2$  – объем исследуемой воды, мл.

### 2.2. Карбонатная и некарбонатная жесткость.

Карбонатная жесткость воды обуславливается присутствием в воде гидрокарбонатов кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , так как карбонаты кальция  $\text{CaCO}_3$  и магния  $\text{MgCO}_3$  малорастворимы в воде.

Определение карбонатной жесткости основано на свойстве гидрокарбонатов вступать в реакцию с кислотой:



Ход определения. В коническую колбу отмеряют 100 мл исследуемой воды и, добавив 2-3 капли 0,02-0,05%-ного раствора метилоранжа, титруют 0,1 н. раствором соляной кислоты до перехода желтой окраски в оранжевую.

Карбонатную жесткость  $Ж_k$  (мг-экв/л) вычисляют по формуле:

$$Ж_k = \frac{V_1N \cdot 1000}{V_2},$$

где  $V_1$  – объем раствора трилона Б на титрование пробы воды, мл;  $N$  – нормальность раствора соляной кислоты,  $V_2$  – объем исследуемой воды, мл.

Карбонатная жесткость равна щелочности, если  $Ж_0 \geq \text{Щ}$ .

Некарбонатная жесткость обуславливается наличием в воде хлоридов, сульфатов и других некарбонатных солей кальция и магния ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgSiO}_3$  и др.).

Некарбонатную жесткость воды  $Ж_n$  (мг-экв/л) вычисляют по формуле:

$$Ж_n = Ж_0 - Ж_k,$$

где  $Ж_k$  – жесткость карбонатная, мг-экв/л.

### 3. Щелочность.

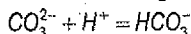
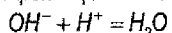
Щелочность воды обусловлена наличием в ней гидроксильных ионов  $\text{OH}^-$ , а также анионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  и других, представляющих соли слабой кислоты и сильного основания.

Щелочность большинства природных вод зависит в основном от содержания солей угольной кислоты. Поэтому различают обычно лишь гидрокарбонатную и карбонатную щелочность.

Некоторые приемы обработки воды при pH выше 8,4 приводят к появлению гидратной щелочности.

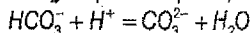
Определение общей щелочности титрованием основано на реакции образования нейтральных солей при титровании воды соляной кислотой. Общая щелочность воды обусловлена присутствием ионов  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Ионы  $\text{OH}^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  титруются соляной кислотой в присутствии индикатора фенолфталеина (при pH 8,3) и обуславливают щелочность воды по фенолфталеину. При титровании воды соляной кислотой в присутствии фенолфталеина протекают следующие реакции:



Ионы  $\text{HCO}_3^-$  титруются соляной кислотой в присутствии индикатора метилового

оранжевого при (рН 3,6). Протекающую при этом реакцию можно выразить уравнением:



Если щелочность по фенолфталеину равна нулю, то общая щелочность обусловлена присутствием только гидрокарбонатов  $\text{HCO}_3^-$ .

Ход определения. В коническую колбу отмеряют 100 мл исследуемой воды и добавляют 2-3 капли 0,1%-ного раствора фенолфталеина. Если появится розовая окраска, воду титруют 0,1 н. раствором соляной кислоты до обесцвечивания. Затем в ту же пробу добавляют 2-3 капли 0,03%-ного раствора метилоранжа и продолжают титрование 0,1 н. раствором соляной кислоты до перехода окраски из желтой в розовую. Записывают объем 0,1 н. раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование с фенолфталеином, и общий объем 0,1 н. раствора соляной кислоты, израсходованный на все титрование.

Общую щелочность  $\text{Щ}_{\text{общ}}$  (мг-экв/л) воды вычисляют по формуле:

$$\text{Щ}_{\text{общ}} = \frac{VN \cdot 1000}{V_1}$$

где где V – общий объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование взятого объема исследуемой воды, мл; N – нормальность раствора соляной кислоты, V<sub>2</sub> – объем исследуемой воды, мл.

*Ф. Г. Г.*  
*В. С. С.*

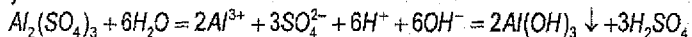
## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ КОАГУЛЯНТА ПРОБНЫМ КОАГУЛИРОВАНИЕМ

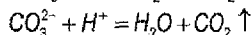
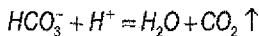
Цель работы: определить оптимальную дозу коагулянта для воды из природного источника и скорректировать ее пробным коагулированием.

Коагуляция примесей воды – это процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частиц дисперсной системы за счет их взаимодействия и объединения в агрегаты. Завершается этот процесс отделением агрегатов слипшихся частиц от жидкой фазы и осаждением.

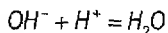
Диспергированные, коллоидные и взвешенные частицы примесей природных вод в большинстве случаев несут одинаковый заряд, что обуславливает возникновение межмолекулярных сил отталкивания и агрегативную устойчивость. В технологии очистки воды предусматривается частичное или полное удаление примесей, поэтому агрегативную устойчивость частиц стремятся нарушить, а заряд снизить до нуля или близких к нему величин. Для этого добавляют к воде сульфат алюминия, сульфат железа (II) и сульфат железа (III), хлорид алюминия, хлорид железа (III), оксихлорид алюминия и другие вещества, которые, являясь коагулянтами, нарушают агрегативную устойчивость системы и образуют хлопья гидроксидов, сорбирующие частицы примесей. При введении, например, в обрабатываемую воду сульфата алюминия происходит диссоциация и гидролиз его молекул:



Для быстрого и полного протекания процесса гидролиза коагулянтов необходим некоторый щелочной резерв воды, то есть наличие в ней определенного количества бикарбонат-ионов и карбонат-ионов, которые связывают ионы водорода, выделяющиеся при гидролизе:



Одновременно избыток ионов водорода прекращает процесс гидролиза сульфата алюминия:



Ход работы.

1. Определить цветность исходной воды.
2. Рассчитать теоретическую дозу коагулянта по цветности воды:

$$D_x = 4\sqrt{C}, \text{ мг/л}$$

В качестве коагулянта используется сернокислый алюминий  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , 2,5%-ный раствор.

В колбу налить 100 мл. исходной воды, добавить такое количество коагулянта, которое соответствовало бы теоретической дозе коагулянта.

Пример расчета дозы коагулянта.

Цветность исходной воды  $C = 70$  град.

$$\text{Доза коагулянта: } D_x = \sqrt{C} = \sqrt{70} = 33 \text{ мг/л}$$

В 100 мл 2,5%-ного раствора коагулянта содержится 2,5 г (2500 мг)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , тогда объем раствора, в котором содержится 33, мг будет:

$$x = \frac{33 \cdot 100}{2500} = 1,32 \text{ мл}$$

Значит для обесцвечивания воды необходимо добавить 1,32 мл 2,5%-ного раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  на 1 литр или 0,132 мл на 100 мл воды.

3. Заполнить 6 колб исходной водой по 100 мл, в которые ввести по схеме коагулянт:

№ колбы	1	2	3	4	5	6
Количество раствора коагулянта, мл						
Доза коагулянта, мг/л						

4. Отстоянную в течение 30 минут воду отфильтровать через фильтр и определить остаточную цветность.

5. Результаты оформить в виде таблицы и построить график.

Таблица

№ п/п	Коагулянт		Цветность, град.	
	Доза, мг/л	Объем, мл	Исходная	После очистки
1				
2				
3				
4				
5				
6				

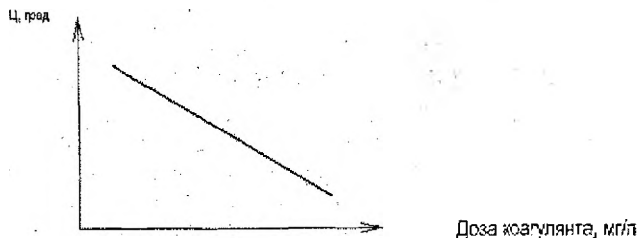


Рис. 1. График зависимости остаточной цветности воды от дозы коагулянта.

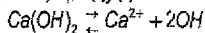
### Лабораторная работа № 3

## ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ НА ПРОЦЕСС КОАГУЛИРОВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

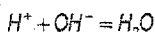
Цель работы: определить оптимальную дозу подщелачивающего реагента для воды из природного источника.

Наличие достаточного щелочного резерва имеет важное значение при рассмотрении условий протекания процесса коагулирования примесей воды.

Если щелочной резерв недостаточен, в воду дополнительно вводят известь или соду.



известь                      гидратная щелочность



### Ход работы.

Предварительно определить цветность, прозрачность, щелочность и pH исследуемой воды, а затем теоретическую дозу коагулянта.

В пять мерных цилиндров налить по 250 мл исследуемой воды, добавить дозу коагулянта  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , соответствующую теоретической дозе. Одновременно с коагулянтом добавить известковую воду (1 мг/мл  $\text{CaO}$ ) в следующих количествах, необходимых для нейтрализации кислоты, которая образуется при гидролизе коагулянта:

Таблица

№ цилиндра	1	2	3	4	5
Количество раствора коагулянта $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , прилитого в цилиндр, мл					
Доза коагулянта $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , мг/л, соответствующая теоретической дозе					
Количество известковой воды, вводимой совместно с $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , мл	4	6	8	12	16
Доза извести $\text{CaO}$ , мг/л	15	22,5	30	45	60
Остаточная цветность, град.					
pH					

После добавления коагулянта воду перемешивают трехкратным опрокидыванием закрытых пробкой цилиндров. Через 2 часа из каждого цилиндра отбирают отстоявшийся раствор, в котором определяют остаточную цветность и pH очищенной воды.

На основании проведенных опытов строят графики в координатах: доза извести – цветность воды.

### Лабораторная работа № 4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОЗ ФЛОКУЛЯНТА

Цель работы: изучить влияние флокулянта на процесс коагуляции примесей воды.

Флокулянты – это растворимые в воде высокомолекулярные вещества, которые применяются для отделения твердой фазы от жидкости. Они образуют с находящимися в воде грубодисперсными и коллоидными частицами трехмерные структуры (агрегаты, хлопья, комплексы). Обычно флокулянты применяют совместно с коагулянтами. По сво-



ему составу флокулянты подразделяют на минеральные и органические. Из минеральных флокулянтов широкое распространение получила активированная кремнекислота (АК), поскольку она абсолютно безвредна для здоровья человека.

Наиболее широкое распространение получил органический флокулянт полиакриламид (ПАА), который используется совместно с коагулянтами. ПАА рекомендуется дозировать в воду в виде раствора концентрацией не более 0,1%. В зависимости от концентрации взвешенных веществ и места ввода доза ПАА составляет 0,05-1,5 мг/л.

Таблица 1. Выбор дозы коагулянта при обработке мутных вод (СНиП 2.04.02-84)

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/л
До 100	25 – 35
Св. 100 до 200	30 – 40
" 200 " 400	35 – 45
" 400 " 600	45 – 50
" 600 " 800	50 – 60
" 800 " 1000	60 – 70
" 1000 " 1500	70 – 80

**Ход работы.** Воду налить до метки в 10 мерных цилиндров и ввести пипеткой раствор сульфата алюминия в количестве, соответствующем оптимальной дозе коагулянта (см. таблицу 1). Содержимое всех цилиндров перемешать, быстро вращая палочку в течение 15-20 секунд, а затем медленно в течение 3-5 минут. После этого в цилиндры ввести раствор ПАА в следующих количествах:

Таблица

№ цилиндра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество введенного ПАА, % от содержания взвешенных веществ	-	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Доза ПАА, соответствующая его процентному содержанию, мг/л										

Пробы с флокулянтом опять перемешать трехкратным опрокидыванием закрытых пробкой цилиндров, а затем медленно перемешивать в течение 3-5 минут стеклянной палочкой (30-40 об/мин) и оставить в покое. При отстаивании воды в цилиндрах отметить начало образования и начало осаждения хлопьев, их вид. Через 30 минут, не взмучивая осадка, из каждого цилиндра пипеткой или сифоном из верхнего слоя воды отобрать пробы по 100-200 мл. В пробах определить содержание взвешенных веществ и цветность. По полученным данным установить наименьшую дозу ПАА (в мг/л), необходимую для снижения содержания взвешенных веществ в воде до 10 мг/л. Результаты проведенных опытов занести в таблицу.

Таблица

№ цилиндра	Доза сернокислого алюминия, мг/л	Доза ПАА, мг/л	Начало образования хлопьев, мин.	Начало осаждения, мин.	Мутность, мг/л		Цветность, град.	
					Исходной воды	Остаточная	Исходной воды	Остаточная
1	2	3	4	5	6	7	8	9

По результатам опытов построить графики зависимости остаточной мутности и цветности от дозы ПАА.

**ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОСАЖДАЕМОСТИ ВЗВЕСИ, ОБРАБОТАННОЙ И НЕ ОБРАБОТАННОЙ КОАГУЛЯНТОМ**

Цель работы: построить кривые осаждаемости взвеси, обработанной и необработанной коагулянтом.

Основная масса взвешенных в воде веществ и скоагулированных хлопьев удаляется их отстаиванием. Осаждение взвешенных веществ происходит под действием силы тяжести. Скорость осаждения частиц зависит от формы, размеров и разности плотностей частиц и воды. Взвешенные вещества природных вод и скоагулированные хлопья состоят из частиц неодинакового размера, формы и плотности.

В лабораторных условиях имитируют процесс осаждения взвеси при различных продолжительностях отстаивания, контролируя при этом количество взвеси, оседающей за различные периоды времени, и эффект осветления.

$$t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_5$$

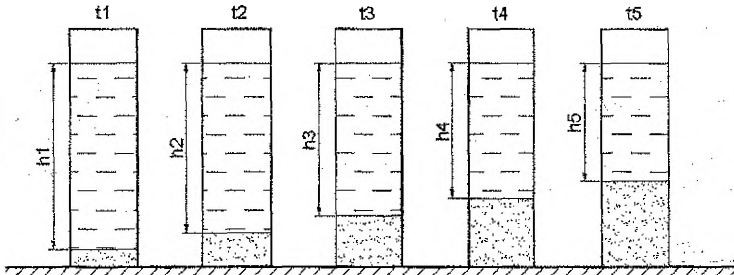


Рис. 2. Схема к определению времени выпадения взвеси

$h_1, h_2 \dots h_5$  – высота слоя воды.

$$U_1 = \frac{h_1}{t_1}; U_2 = \frac{h_2}{t_2} \text{ и т.д.}$$

$u_1, u_2 \dots u_5$  – «процентные» скорости выпадения взвеси.

По результатам строят кривую осаждаемости взвеси, которая представляет собой зависимость эффекта осветления (%) от продолжительности отстаивания (времени осветления).

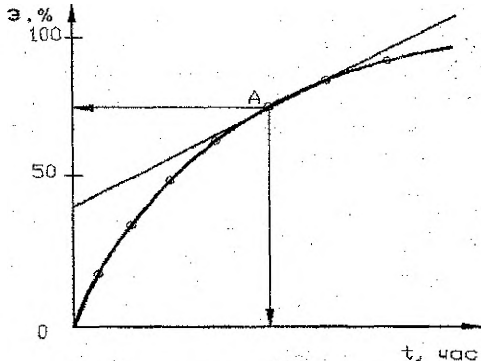


Рис. 3. Кривая осаждаемости взвеси

По кривой осаждаемости взвеси можно установить:

1. Частицы с какой гидравлической крупностью оседают при достижении требуемого эффекта. Например, при  $t_1$  оседают частицы с  $U \leq U_1$ ;

2. Определить расчетное время пребывания воды в отстойнике, по истечении которого достигается требуемый эффект очистки;

3. Можно установить процентное содержание фракций взвеси с различной гидравлической крупностью, для чего в точке кривой проводится касательная до пересечения с осью ординат  $Y$ , и отрезок, отсекаемый касательной на оси  $Y$ , соответствует процентному содержанию взвеси с определенной гидравлической крупностью. Таким образом, можно определить фракционный состав взвеси по интервалам гидравлической крупности частиц.

#### Ход работы.

1. Исследуемую воду наливают до метки в пять мерных цилиндров емкостью 250 мл и отстаивают (отметив начало отстаивания). Через 5 минут в первом цилиндре верхний слой воды сливают на глубину  $h$  и определяют в этой пробе содержание взвешенных веществ. В остальных цилиндрах пробы на анализ отбирают аналогичным образом через 10, 20, 30, 40 минут. Количество взвеси  $M_t$  (%), выпавшей за время  $t$ , определяют по формуле:

$$M_t = \frac{C_0 - C}{C_0} 100, \%$$

где  $C_0, C$  – содержание взвешенных веществ соответственно в исследуемой воде и в пробе воды через  $t$  минут отстаивания, мг/л.

Результаты исследований заносятся в таблицу.

Таблица

№ цилиндра	Время отстаивания, мин.	Содержание взвешенных веществ, мг/л		Количество выпавшей взвеси (эффект осветления), %	Скорость осаждения взвеси, мм/с
		в исходной воде	в пробе после отстаивания		
1	5				
2	10				
3	20				
4	30				
5	40				

Скорость осаждения взвеси определяется по формуле:

$$U_0 = \frac{h}{t}, \text{ мм/с},$$

где  $h$  – глубина слоя сливаемой воды, мм;  $t$  – время отстаивания, с.

По вычисленным данным строятся графики зависимости процесса выпадения взвеси ко времени отстаивания и скорости осаждения взвеси.

2. Исходную воду наливают в 5 мерных цилиндров, добавляют раствор коагулянта в объеме, соответствующем дозе, определенной исходя из исходного количества взвешенных веществ. Далее – см. п. 1.

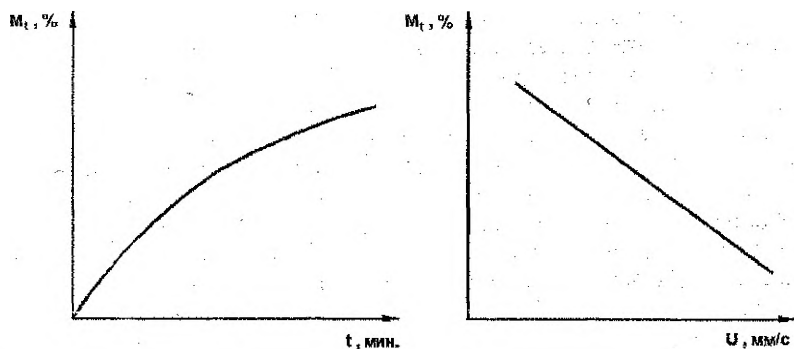


Рис. 4. Графики осаждения взвеси и показателей осаждаемости взвеси

### Лабораторная работа № 6 СИТОВОЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЗАГРУЗОК

Цель работы: 1. Выполнить ситовой анализ фильтрующих загрузок.

2. Определить для изученных типов фильтрующих загрузок эквивалентный диаметр зерен и коэффициент неоднородности.

Нормальная работа фильтра во многом зависит от правильно выбранной фильтрующей загрузки. При выборе загрузки учитывают ее стоимость и возможность получения в районе строительства водоочистой станции. Кроме того, обязательно проверяют соответствие загрузки техническим требованиям (фракционный состав, однородность размеров ее зерен, механическая прочность и химическая стойкость).

В качестве фильтрующих материалов для зернистых фильтров в настоящее время применяют кварцевый песок (речной или карьерный), дробленые кварц и антрацит, мрамор, магнетит, керамическую крошку, керамзит, аглопорит. По крупности зерен они разделяются на мелкозернистые (менее 0,4 мм), среднезернистые (0,4-0,8 мм) и крупнозернистые (более 0,8 мм). Загрузка фильтров может быть однослойной и многослойной.

Отклонение фракционного состава и однородности загрузки от проектных данных может нарушить работу фильтра и может вывести его из строя. При размере зерен загрузки больше предусмотренного проектом может происходить снижение качества осветления воды. Применение более мелких фракций загрузки приводит к уменьшению межпромывочного периода работы фильтра, перерасходу промывной воды и удорожанию эксплуатационной стоимости очистки воды.

Гранулометрический состав фильтрующих материалов в технологии очистки воды определяют ситовым анализом: измельченный материал просеивают через подобранный набор сит с различной величиной отверстий в каждом.

Ход работы.

1. На технических весах отвесить по 200 г кварцевого песка и кремниевое камня.
2. Навеску поместить на верхнее сито набора сит и просеивать в течение 3-5 мин.
3. Остатки загрузки на ситах взвесить на технических весах, массы занести в таблицу.

Таблица

Калибр сита $d_k$ мм	Осталось фильтрующего материала на ситах				Прошло фильтрующего материала через сита			
	Кварцевый песок		Кремниевый камень		Кварцевый песок		Кремниевый камень	
	г	%	г	%	г	%	г	%
7								
5,5								
5								
4,5								
3,75								
3,25								
3								
2,5								
2								
1								
0,5								
остаток								
	$\Sigma 200$	$\Sigma 100$	$\Sigma 200$	$\Sigma 100$				

4. Построить графики зависимостей количества фильтрующего материала, %, прошедшего через сита от калибра сита.

5. Определить эквивалентный диаметр зерен фильтрующей загрузки.

$$d_{\text{экв}} = \frac{100}{\sum \left( \frac{P_i}{d_k} \right)}, \text{ мм},$$

где  $P_i$  – остаток песка на сите, %;  $d_k$  – калибр сита, мм.

6. Определить коэффициент неоднородности:

$$k_H = \frac{d_{80}}{d_{10}},$$

где  $d_{80}$  – 80%-й диаметр фильтрующей загрузки (по графику);  $d_{10}$  – 10%-й диаметр фильтрующей загрузки (по графику).

Наименование фильтрующей загрузки	Минимальный диаметр зерен, мм	Максимальный диаметр зерен, мм	Эквивалентный диаметр зерен, мм	Коэффициент неоднородности
Кварцевый песок				
Кремниевый камень				

### Лабораторная работа № 7

#### ОТРАБОТКА РЕГЛАМЕНТА ПРОМЫВКИ СКОРОГО БЕЗНАПОРНОГО ФИЛЬТРА

Цель работы: определить экспериментальным путем зависимость степени расширения фильтрующего слоя от интенсивности промывки.

Для эффективной отмывки фильтрующей загрузки от загрязнений ее взвешивают в восходящем потоке промывной воды. Интенсивность столкновения зерен должна полностью обеспечить полное освобождение их поверхности от налипшей взвеси. Эффек-

твность отмывки загрязнений зависит от степени расширения фильтрующего слоя и, следовательно, от интенсивности подачи промывной воды. Корректировку принятой провектом интенсивности подачи промывной воды проводят на конкретном фильтрующем материале при пуске и наладке фильтров, а также по сезонам года в зависимости от температуры промывной воды.

Порядок выполнения работы:

1. Измерить высоту неподвижного фильтрующего слоя.
2. Открыть кран, установить расход воды.
3. Замерить объемным способом расход промывной воды, измерить высоту слоя загрузки. Опыт повторить 5 раз.
4. Определить интенсивность подачи промывной воды, результаты занести в таблицу. По экспериментальным данным построить график зависимости степени расширения фильтрующего слоя от интенсивности подачи промывной воды.

Таблица

№ опыта	Высота неподвижного фильтрующего слоя $H_0$ , см	Высота расширенного фильтрующего слоя $H$ , см	Степень расширения слоя $\frac{H-H_0}{H_0} \cdot 100\%$	Расход промывной воды $Q = \frac{W}{t}$ л/с	Объем мерной емкости $W$ , л	Время наполнения емкости $t$ , с	Площадь фильтра $F$ , м <sup>2</sup>	Интенсивность подачи промывной воды $\omega = \frac{Q}{F}$ л/см <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

Диаметр фильтра – 8,5 см.

Лабораторная работа № 8

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ ХЛОРОСОДЕРЖАЩЕГО РЕАГЕНТА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ РАЗЛИЧНОГО КАЧЕСТВА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЛОРИРУЕМОСТИ ВОДЫ, ХЛОРПОГЛОЩАЕМОСТИ И ХЛОРПОТРЕБНОСТИ**

Цель работы: определить пробным хлорированием расчетную дозу хлорсодержащего реагента для исследуемой воды и рассчитать ее хлорпотребности и хлорпоглощаемость.

Поведение природной воды при нормальном хлорировании характеризуется показателем хлорируемости воды, представляющим собой дробь, выражающуюся отношением единицы к наибольшей дозе вводимого хлора (в мг/л), при которой вода, обрабатываемая в течение 30 минут, содержит 0,5 мг/л остаточного хлора.

По этому показателю устанавливают степень загрязнения воды различными примесями: чем чище вода, тем он больше. С увеличением загрязнения воды (хлорпоглощаемости) возрастает и доза водимого хлора, которая должна обеспечить содержание в воде 0,5 мг/л остаточного хлора. Следовательно, показатель хлорируемости уменьшается.

Для определения показателя хлорируемости воды устанавливают зависимость количества остаточного хлора при 30-минутном контакте с хлором.

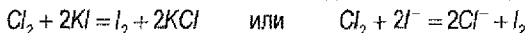
Ход определения.

В восемь плоскодонных колб наливают пипеткой по 100 мл исследуемой воды и последовательно в каждую из них с интервалом в 4 минуты приливают пипеткой хлорную воду, содержащую 0,1 мг/мл активного хлора, в следующих количествах:

№ колбы	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество хлорной воды, мл	0,5	1	1,5	2	2,5	3	5	10
Доза хлора, соответствующая данному объему хлорной воды, мг/л	0,5	1	1,5	2	2,5	3	5	10

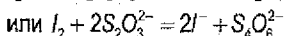
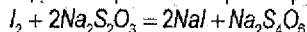
Колбы взбалтывают и закрывают пробками. Поскольку время обработки воды хлором во всех колбах должно быть равно 30 минутам, то через 2 минуты после добавления раствора хлорной воды в последнюю (восьмую) колбу приступают к определению остаточного хлора в первой колбе. В каждой последующей колбе остаточный хлор определяют через 4 минуты.

Для того, чтобы установить количество остаточного хлора в воде, к 100 мл исследуемой воды добавляют 5 мл 10%-ного раствора иодида калия, 5 мл буферной смеси с рН 4,6 и 1 мл 1%-ного раствора крахмала. При наличии активного хлора раствор окрашивается в синий цвет, так как хлор вытесняет свободный йод из иодида калия:



(выделившийся йод окрашивает воду в синий цвет).

Затем к раствору прибавляют по каплям из бюретки 0,005 н. раствор тиосульфата натрия до обесцвечивания раствора. При этом протекает следующая реакция:



Раствор обесцвечивается, когда весь йод связывается тиосульфатом натрия. Иодид натрия и тетраионат натрия, образующиеся в результате реакции, крахмал не окрашивают.

Содержание активного хлора вычисляют по формуле:

$$X_{cl} = \frac{35,5 \cdot V_1 \cdot N \cdot 1000}{V_2}, \text{ мг/л,}$$

где  $V_1$  – объем раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование исследуемой воды, мл;  $N$  – нормальность раствора тиосульфата натрия,  $V_2$  – объем исследуемой воды, взятой для титрования, мл; 35,5 – миллиграмм-эквивалент хлора.

По полученным данным строят график в следующих координатах: доза хлора – остаточный хлор. По графику находят дозу введенного хлора, обеспечивающего концентрацию 0,5 мг/л остаточного хлора, и вычисляют показатель хлорируемости воды. Результаты определения записывают в виде таблицы:

Таблица

№ колбы	Доза введенного хлора, мг/л	Количество остаточного хлора, мг/л	Показатель хлорируемости воды
1	2	3	4



Рис. 5. График зависимости дозы остаточного хлора от дозы введенного хлора

#### Лабораторная работа № 9

### ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД УПРОЩЕННОЙ АЭРАЦИЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: дать оценку возможности и эффективности обезжелезивания подземных вод.

При обезжелезивании подземных вод, содержащих железо (II), чаще всего используют метод аэрирования.

Чтобы установить более рациональный метод удаления из воды железа, вначале проводят пробное обезжелезивание, предварительно определив мутность, цветность, содержание железа (II) и (III), сероводорода, общую и карбонатную жесткость, pH, окисляемость, количество хлоридов и сульфатов.

Метод упрощенной аэрации применяется для обезжелезивания подземных вод, в которых содержится: до 10 мг/л железа (II) и железа (III), в том числе железа (II) не менее 70%; pH не менее 6,8; щелочность воды более  $1 + \frac{Fe^{2+}}{28}$  мг-экв/л; не более 0,5 мг/л сероводорода и не более  $[0,15(Fe^{2+}) + 5]$  мг/л  $O_2$  перманганатной окисляемости.

Обезжелезиваемая вода, обогащенная кислородом в результате аэрации, направляется на фильтр. Реакция окисления железа (II) происходит в толще фильтрующего слоя.

Осадок гидроксида железа в толще фильтрующего слоя каталитически влияет на скорость окисления железа (II) кислородом.



### Ход работы:

1. Построить калибровочный график на железо.

В мерные колбы емкостью 50 мл отмерить 0–0,5–1–2–3–4–5 мл рабочего стандартного раствора железоаммонийных квасцов и довести объем дистиллированной водой до метки. Содержание железа в серии стандартных растворов составляет 0–0,1–0,2–0,4–0,6–0,8–1 мг/л. Добавив к стандартным растворам 1 мл раствора соляной кислоты (1:1) и несколько кристаллов персульфата аммония, содержимое перемешивают.

После перемешивания в колбы вводят по 1 мл 50%-го раствора роданида калия, и, снова перемешав, определяют оптическую плотность раствора, после чего строят калибровочный график зависимости оптической плотности от концентраций железа в мг/л. При измерении интенсивности окраски в фотоэлектросколориметре применяют синезеленый светофильтр (длина волны 500 нм) и кюветы с толщиной рабочего слоя 2–5 см.

2. Провести пробное обезжелезивание воды упрощенной аэрацией. Для этого исследуемую воду пропустить через аэрационную установку (см. рис. 6) и определить содержание железа.

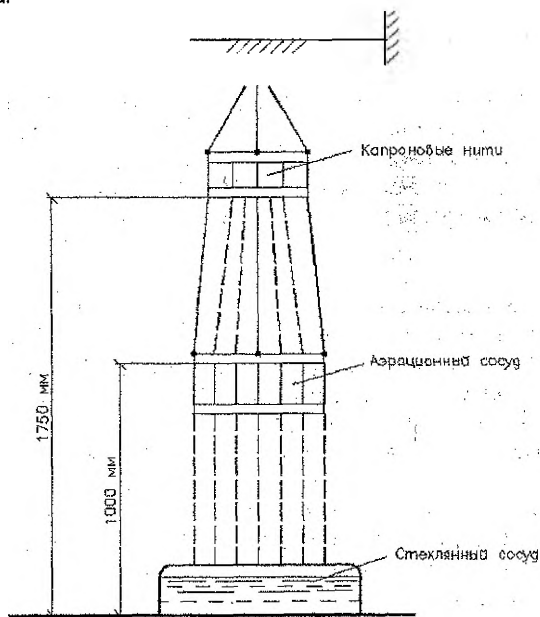


Рис. 6. Схема аэрационной установки

Ход определения железа общего. В мерную колбу наливают до метки исследуемую воду и, добавив 1 мл раствора соляной кислоты (1:1) и несколько кристаллов персульфата аммония, содержимое перемешивают. Затем вводят 1 мл 50%-го раствора роданида калия. После перемешивания сразу же измеряют оптическую плотность и по калибровочному графику находят соответствующую ей величину железа. Содержание железа определяют по формуле:

$$X_{Fe} = \frac{C \cdot 50}{V}, \text{ мг/л,}$$

где С – концентрация железа, найденная по калибровочному графику, мг/л; V – объем пробы, взятой для определения, мл.

3. Воду пропустить через фильтр, загруженный кремниевым камнем. Определить содержание железа общего в фильтрате.

4. Воду последовательно пропустить через аэрационную установку, а затем через слой фильтрующего материала. В фильтрате определить остаточное содержание железа.

### Лабораторная работа № 10

## ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КООГУЛЯЦИЕЙ И ФИЛЬТРОВАНИЕМ

Цель работы: определить необходимую дозу коагулянта для обезжелезивания воды.

Реагентные методы обезжелезивания применяют, когда безреагентными аэрационными методами удалить железо не удастся. При удалении из воды железа коагуляцию сульфатом алюминия, сульфатом железа (II) либо смешанным коагулянтом используют в тех случаях, если железо находится в воде только в трехвалентной форме (в виде коллоидов, тонкодисперсных взвесей и комплексных органических соединений).

Сущность процесса обезжелезивания воды коагулированием заключается в основном в способности коллоидных гидроксидов алюминия или железа сорбировать из воды ионы железа.

Ход работы.

1. Построить калибровочный график на железо.

В мерные колбы емкостью 50 мл отмерить 0–0,5–1–2–3–4–5 мл рабочего стандартного раствора железоммонийных квасцов и довести объем дистиллированной водой до метки. Содержание железа в серии стандартных растворов составляет 0–0,1–0,2–0,4–0,6–0,8–1 мг/л. Добавив к стандартным растворам 1 мл раствора соляной кислоты (1:1) и несколько кристаллов персульфата аммония, содержимое перемешивают.

После перемешивания в колбы вводят по 1 мл 50%-го раствора роданида калия, и, снова перемешав, определяют оптическую плотность раствора, после чего строят калибровочный график зависимости оптической плотности от концентраций железа в мг/л. При измерении интенсивности окраски в фотоэлектроколориметре применяют синезеленый светофильтр (длина волны 500 нм) и кюветы с толщиной рабочего слоя 2-5 см.

2. В пять стеклянных цилиндров объемом 1 л наливают исследуемую воду и вводят в 1-й сосуд 1 мл 1%-ного раствора коагулянта (доза 1 мг/л), во второй сосуд – 2 мл, в третий – 3 мл и т.д. Затем содержимое сосуда тщательно перемешивают в течение 5-6 минут и оставляют в покое на 2 часа. Далее содержимое каждого сосуда фильтруют через песчаный фильтр. Первые порции фильтрата отбрасывают, в последующих определяют общее содержание железа.

Ход определения. В мерную колбу наливают до метки исследуемую воду и, добавив 1 мл раствора соляной кислоты (1:1) и несколько кристаллов персульфата аммония, содержимое перемешивают. Затем вводят 1 мл 50%-го раствора роданида калия. После

перемешивания сразу же измеряют оптическую плотность и по калибровочному графику находят соответствующую ей величину железа. Содержание железа определяют по формуле:

$$X_{Fe} = \frac{C \cdot 50}{V}, \text{ мг/л}$$

где С – концентрация железа, найденная по калибровочному графику, мг/л; V – объем пробы, взятой для определения, мл.

Результаты исследований заносятся в таблицу.

Таблица

№ цилиндра	Доза коагулянта, мг/л	Содержание железа в воде, мг/л	
		в исходной воде	в обработанной
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		

## Лабораторная работа № 11

### ДЕЗОДОРАЦИЯ ВОДЫ СОРБЦИЕЙ

**Цель работы:** 1) оценить эффективность адсорбционного метода дезодорации воды; 2) на основании полученных экспериментальных данных рассчитать относительную адсорбционную емкость фильтра, загруженного активированным углем, до проскока загрязнений и рассчитать полную динамическую адсорбционную емкость фильтра.

Запахи и привкусы, вызываемые органическими веществами биологического происхождения или вносимые со сточными водами в природные водоемы, являются стойкими. Удаляют их в большинстве случаев окислением, адсорбированием, иногда аэрированием. Для адсорбционной очистки воды от примесей, ухудшающих органолептические показатели, применяются порошкообразный и гранулированный активированный уголь, углеродные волокнистые материалы, активированный антрацит и неуглеродные адсорбенты (глинистые породы, цеолиты и др.).

При очистке воды адсорбцией в динамических условиях адсорбент используют для загрузки фильтров. При этом адсорбционная емкость сорбента в динамических условиях приближается к значениям адсорбционной емкости в статических условиях при одной и той же величине равновесных концентраций. При фильтровании однокомпонентной системы через слой сорбента фронт адсорбции (процент насыщения слоя сорбента) перемещается вплоть до полного насыщения всего сорбента и проскока сорбируемого вещества за пределы слоя. Защитное действие слоя сорбента, характеризующее его активность по отношению к удаляемому веществу определяется динамической активностью слоя, которая зависит от природы адсорбируемого вещества и сорбента, скорости фильтрования и концентрации адсорбируемого вещества. Зависимость времени защитного действия загрузки фильтра  $T_z$  от его высоты графически описывается кривой ОАВ.

Стадию формирования фронта адсорбции характеризует кривая OA.

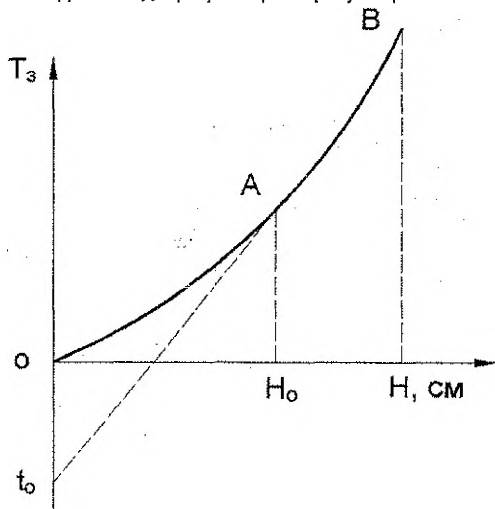


Рис. 7. График зависимости защитного действия загрузки фильтра  $T_z$  от высоты фильтра  $H$  при адсорбции в динамических условиях

Ход работы.

Исследуемую воду, содержащую вещества, которые обуславливают цветность воды (гуминовые кислоты, различные красители, попадающие со сточными водами), пропускают через фильтр с загрузкой из активированного угля  $m$ .

Фильтрацию проводят со скоростью  $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Объемную скорость фильтрации  $V$  (мл/мин) рассчитывают по формуле:

$$V = \frac{10S \cdot 10^6}{60 \cdot 10^4}$$

где  $10$  – линейная скорость,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  – площадь колонки,  $\text{см}^2$ ;  $d$  – диаметр колонки,  $\text{см}$ ;  $10^6$  – коэффициент пересчета метров кубических в сантиметры кубические;  $60$  – коэффициент пересчета 1 часа в минуты;  $10^4$  – коэффициент пересчета метров квадратных в сантиметры квадратные.

Профильтрованную воду собирают порциями по 100 мл и определяют ее цветность.

По экспериментальным данным строят график в следующих координатах: объем профильтрованной воды – цветность или концентрация раствора красителя. На основании графика рассчитывают относительную адсорбционную емкость фильтра до проскока загрязнений и полную динамическую адсорбционную емкость фильтра.

Емкость фильтра до проскока  $\alpha_{пр}$  (%) находят следующим образом:

$$\alpha_{пр} = \frac{C_{исх} \cdot V \cdot 100}{m \cdot 10^3}$$

где  $C_{исх}$  – исходная концентрация красителя до адсорбции,  $\text{мг/л}$ ;  $V$  – объем фильт-

рата до проскока красителя, л;  $m$  – навеска угля, г;  $10^3$  – коэффициент пересчета миллиграммов в граммы; 100 – коэффициент пересчета емкости фильтра в проценты.

Полную динамическую адсорбционную емкость угля  $\alpha_{полн}$  (%) графически рассчитывают по формуле:

$$\alpha_{полн} = \frac{S \cdot 100}{m \cdot 10^3}$$

где  $S$  – площадь OADC, ограниченная выходной кривой.

Полученные данные записывают в виде таблицы.

Таблица

№ пробы	Навеска угля $m$ , г	Высота слоя угля в колонке $h$ , мм	Диаметр колонки $d$ , см	Площадь колонки $S$ , см <sup>2</sup>	Объемная скорость фильтрации $V$ , мг/мин	Цветность, град, или концентрация красителя мг/л	
						исходная	после фильтрации
1	2	3	4	5	6	7	8

## Лабораторная работа № 12

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ НИТРАТОВ И НИТРИТОВ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ

Цель работы: определить в природной воде концентрации азотсодержащих соединений.

Азотсодержащие вещества (ионы аммония  $\text{NH}_4$ , нитритные  $\text{NO}_2^-$  и нитратные  $\text{NO}_3^-$  ионы), образуются в воде в результате разложения различных сложных органических веществ животного и растительного происхождения, а также в результате разложения белковых веществ, попадающих в водоемы с бытовыми сточными водами.

Нитраты содержатся главным образом в поверхностных водах (до 0,001-0,003 мг/л), а нитриты – в артезианских водах (десятые доли миллиграмма в литре).

Предельно-допустимая концентрация нитритов (по  $\text{NO}_2^-$ ) в питьевой воде должна быть не более 45 мг/л (по СанПиН 10-124 РБ 99). Наличие в питьевой воде более 45 мг/л нитратов приводит к нарушению окислительной функции крови, известной под названием метгемоглобинемии.

Конечный продукт разложения белковых веществ – аммиак. Наличие в воде аммиака растительного происхождения не опасно в санитарном отношении. Если же аммиак образуется в результате разложения белка сточных вод, такая вода непригодна для питья.

Содержание азота аммонийных солей в речной воде в зависимости от степени ее загрязнения колеблется от 0 до 1 мг/л.

Ход работы:

1. Определение массовых концентраций нитратов.

Приготовление калибровочных растворов.

В фарфоровые чашки налить 1, 2, 3, 4, 6, 8 мл рабочего стандартного раствора азотнокислого калия и довести дистиллированной водой до объема 10 мл. Добавить не-

сколько крупинок салицилово-кислого натрия и выпарить досуха. Сухой остаток обработать следующим образом: после охлаждения увлажнить 1 мл концентрированной серной кислоты, хорошо растереть стеклянной палочкой и оставить на 10 мин. Затем добавить 10 мл дистиллированной воды и количественно перенести в мерную колбу на 50 мл, прибавить 7 мл 10 н. раствора гидроксида натрия и довести объем дистиллированной водой до метки, перемешать. Снять на ФЭК оптическую плотность. Результаты обработать по методу наименьших квадратов.

Таблица

№ колбы	Объем рабочего раствора, мл	Концентрация мг/л (X)	Оптическая плотность D (Y)	X · Y	X <sup>2</sup>
1					
2					
3					
...					
		ΣX =	ΣY =	ΣXY =	ΣX <sup>2</sup>

$$a = \frac{\sum X^2 \cdot \sum Y - \sum X \cdot \sum XY}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}, \quad b = \frac{n \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$k = \frac{1}{b} \cdot a$$

Определение нитратов в исходной воде. В фарфоровую чашку добавить 10 мл воды и несколько кристаллов салицилово-кислого натрия. Выпарить досуха. Остаток обработать так же, как при приготовлении калибровочных растворов.

Концентрация нитратов определяется по формуле:

$$C = k \cdot D, \text{ мг/л,}$$

где D – оптическая плотность, определенная на ФЭК.

## 2. Определение массовых концентраций нитритов.

Приготовление калибровочных растворов.

В мерные колбы вместимостью 50 мл внести 0,5; 1,0; 2; 5; 10% 15 мл рабочего стандартного раствора и довести объем до метки дистиллированной водой. В колбу добавить 1 мл раствора Грисса № 1 и 1 мл раствора Грисса № 2, перемешать, оставить на 40 минут. Затем снять оптическую плотность на ФЭК при длине волны 520 нм по отношению к раствору сравнения (раствор сравнения – исходная вода, в которую добавлено 2 мл 12%-й уксусной кислоты).

Результаты обработать по методу наименьших квадратов.

Определение нитритов в исходной воде. В 50 мл исходной воды добавить по 1 мл растворов Грисса № 1 и № 2, после 40 минут отстаивания снять оптическую плотность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Практикум по технологии очистки природных вод. Строкач П.П., Кульский Л.А. – Минск: Высшая школа, 1980. – 320 с.
2. СанПиН 10-124 РБ 99 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества".
3. Технология очистки природных вод. Кульский Л.А., Строкач П.П. – Киев: Вища школа, 1981. – 328 с.
4. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. – М.: Высш. шк., 1984. – 368 с.
5. СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения" – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.

**Учебное издание**

**Составители:** Волкова Галина Александровна

Сторожук Наталья Юрьевна

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Водоподготовка»

для студентов специальности

70 04 03 - «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Ответственный за выпуск: Волкова Г.А.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Кармаш Е.Л.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 12.06. 2007. Формат 60x84 1/16. Бумага «Снегурочка». Усл. п. л. 1,4.  
Уч. изд. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 13. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет».  
224017, Брест, ул. Московская, 267