

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова  
Кафедра общей и биоорганической химии

# ГИДРОХИМИЯ

*Методические указания  
к учебной практике*

*Рекомендовано  
Научно-методическим советом университета  
для студентов специальности Биология*

Ярославль 2005

УДК 556+54  
ББК Д 220я73  
Г 46

*Рекомендовано  
Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного издания. План 2005 года*

Рецензент  
кафедра общей и биоорганической химии  
Ярославского госуниверситета им. П.Г.Демидова

Составители: И.М. Рублева,  
Ю.М. Кострова

Г 46 **Гидрохимия :** методические указания к учебной  
практике / Сост. И.М. Рублева, Ю.М. Кострова; Яросл.  
гос. ун-т. Ярославль: ЯрГУ, 2005. 35 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой учебной практики по гидрохимии. Рассматриваются вопросы подготовки воды для питьевых целей.

Предназначена для студентов, обучающихся по специальности Биология (дисциплина «Гидрохимия», блок СД), очной и заочной форм обучения.

УДК 556+54  
ББК Д 220я73

*Авторы выражают благодарность за консультативную помощь инженеру-химику Центральной лаборатории Водоканала Т.А. Буровой.*

© Ярославский государственный университет, 2005  
© И.М. Рублева, Ю.М. Кострова, 2005

## Введение

Воду для питьевых целей готовят в настоящее время искусственно. На Руси прообраз водопровода впервые появился в Московском Кремле в 1491 году по указу царя Ивана Васильевича (Ивана Грозного). Источником воды послужил мощный родник. Через кирпичную водопроводную трубу вода поступала самотеком. Датой открытия водопровода в Ярославле считается 30 января 1883 года. Этому предшествовал указ императора Александра II об устройстве водопроводов в крупных городах. Эта необходимость была связана и с тем, что большинство зданий в то время были деревянными. Поэтому существовала опасность больших пожаров. Таким образом, и эта причина требовала создания развитой сети водоснабжения. К этому времени во многих крупных городах водопроводы были уже созданы (Москва – 1858 г., Петербурге – 1864, 1876 гг., Киев – 1870 г., Одесса – 1873 г., и др.). В 1873 году Ярославская городская Дума обсуждала проблему создания водопровода в нескольких аспектах: использовать ли воду речную или воду из подземных скважин, где расположить резервуары для воды. Первоначально предполагалось забирать подземные воды в районе сел Крест и Лучинское, а резервуары для её хранения установить на территории, близкой к современному нефтеперерабатывающему заводу. Учитывая, что в то время вода р. Волги была очень чистой, в 1875 году Думой было принято окончательное решение об устройстве водопровода с водозабором волжской воды. И хотя проект строительства был готов довольно быстро, только в 1882 году городская управа заключила контракт на строительство с инженером-механиком Карлом Карловичем Диллем (опытный специалист, под руководством которого были уже построены водопроводы в Киеве, Гродно, Курске).

В ускорение решения строительства водопровода в Ярославле решающий вклад внес Иван Александрович Вахромеев. Этот энергичный и авторитетный купец по итогам выборов в 1881 году стал городским головой. Он лично возглавил состав новой водопроводной комиссии и стал руководить её работой. Строительство велось ускоренными темпами. Непосредственно строительством руково-

дил инженер-механик Август Васильевич Тиле. По окончании работ в 1883 году он же руководил работой водопровода по доверенности К.К. Дилля.

В пусковой период в систему водоснабжения входили следующие сооружения:

- водоподъемный колодец, сооруженный на берегу р. Волги на высоте 7 саженей (1 сажень = 2,1336 м) над уровнем горизонта воды, он имел приемник воды и всасывающие трубы;

- три осадочных резервуара на территории водопровода, ёмкость каждого - 50 тыс. ведер воды, летом они использовались как фильтры;

- здание насосной станции;

- водонапорный бак на Знаменской башне ёмкостью около 15 тыс. ведер воды;

- разводящие сети протяженностью около 6 верст (1 верста = 1,0668 км).

Через каждые 50 саженей были установлены пожарные краны, организовано 6 пунктов водоразбора. Кроме того, было сделано присоединение 50 частных домов. Мощность водопровода составляла 120 тыс. ведер в сутки. Пользование водопроводом вначале было бесплатным для всех жителей города. Однако потребление воды оплачивалось в частных домах, где непосредственно действовал водопровод, на предприятиях и в учреждениях. На предприятиях были установлены водомеры. За воду не платили гимназии, лазареты, пожарное депо и ряд других заведений.

В 1892 году начал обсуждаться вопрос о необходимости продолжить сеть водопровода в район города за р. Которосль. Денежные взносы в будущее строительство внесли М.М. Вахромеева, купцы П.А. и Н.М. Градусовы. В 1898 году эта работа была завершена.

Первый водопровод в Ярославле, по сути, был водокачкой. Очистка природной воды из р. Волги не предусматривалась. Центральная водопроводная станция (ЦВС) находится на том же месте. Сооружения очистки воды были построены в 1915 году и два раза расширялись и модернизировались (1936 и 1958 гг.). Мощность станции в настоящее время составляет 54 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

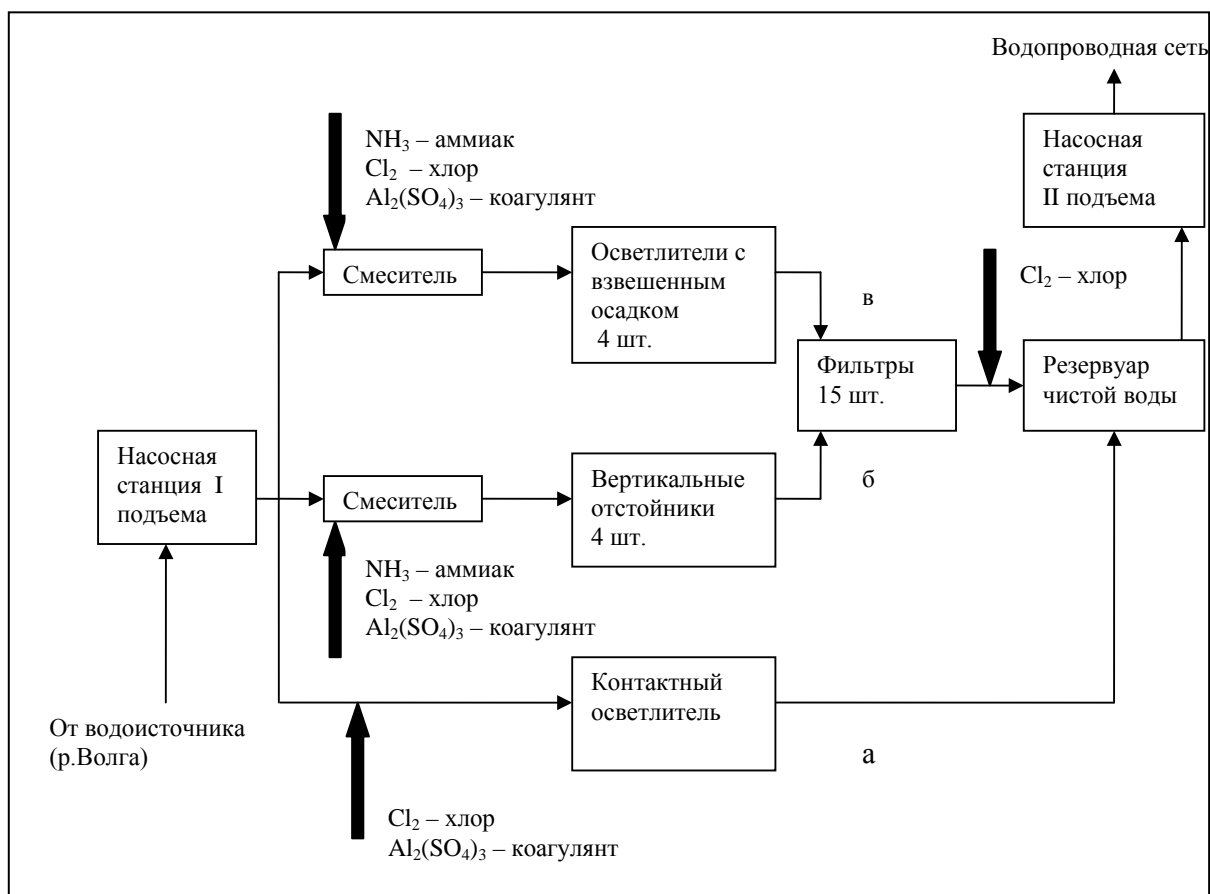
В Ярославле работают еще две станции – Южная и Северная. Южная водопроводная станция была построена в 1964 году, её производительность - 60 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Водозабор осуществляется из р. Которосль. Сама насосная станция здесь была построена в 1952 году, вода использовалась для технологических целей нефтеперерабатывающего завода.

Северная водопроводная станция вблизи с. Ивановково осуществляет водозабор из р. Волги; её мощность наращивали постепенно: первая очередь была построена в 1956 году, вторая очередь – в 1974-м, и третья – в 1980 году. На период шестидесятых годов прошлого века водопроводная сеть составляла 220 км, имелось 400 колонок, водопроводом пользовались 400 тыс. человек, расход составлял 170 л на потребителя в сутки. В настоящее время ее производительность – 225 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

## **1. Технология очистки воды на Центральной водопроводной станции**

Для обеспечения требуемого качества воды, подаваемой потребителю, обычно применяют несколько способов очистки природной воды для питьевых целей, в некоторых случаях – несколько ступеней одного и того же способа. В процессе обработки природная вода должна пройти ряд сооружений. Совокупность способов очистки и соответствующих сооружений составляет технологическую схему водоподготовки. Иногда требуемое качество воды может быть достигнуто при использовании различных технологических схем. Выбирается та, которая экономически целесообразна и обеспечивает требуемое качество очищенной воды.

На рисунке 1 представлена технологическая схема очистки природной воды коагулированием. Она же предусматривает обеззараживание очищенной воды.



*Рис. 1. Технологическая схема очистки воды на Центральной водопроводной станции (ЦВС) г. Ярославля*

Работа сооружений осуществляется по одноступенчатой схеме (вариант **а**) и двухступенчатой (варианты **б**, **в**).

На рисунке 2 показана технологическая схема очистки воды по варианту **б**.

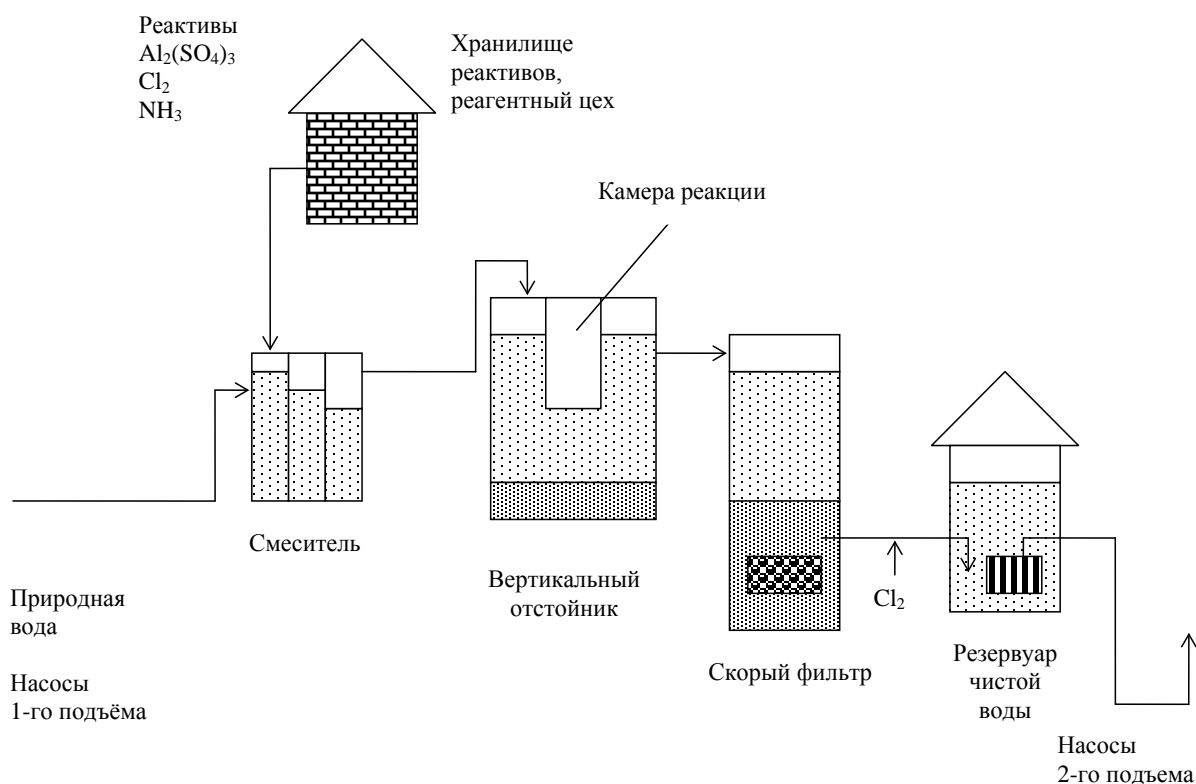
Подача природной воды из р. Волги осуществляется насосной станцией 1-го подъёма. Это водозаборное сооружение берегового типа (устраивают при сравнительно крутых берегах рек). Сооружение состоит из водоприемного берегового колодца и насосной станции, расположено на берегу р. Волги.

В водоприемный колодец (отделение) вода поступает самотеком через решетки (для предотвращения попадания рыбы). Сам колодец разделен на две части: водоприемная камера и всасывающая. В перегородку между камерами установлена мелкоячеистая сетка. Процеживание воды через решетки и сетки обеспечивают её пред-

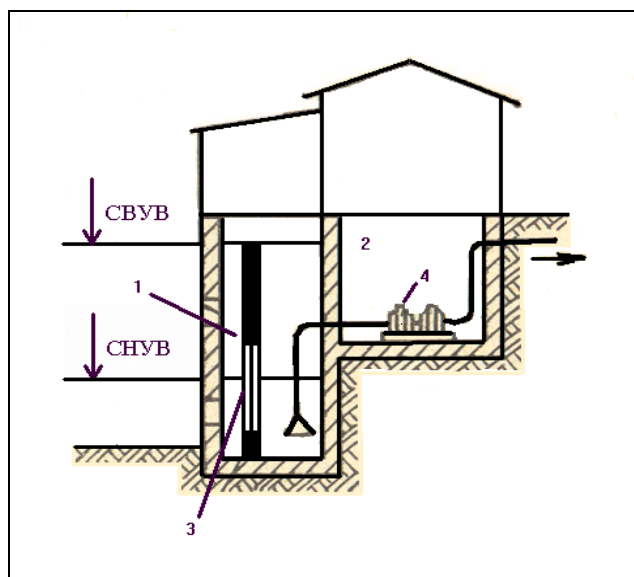
варительную очистку и предотвращают повреждение оборудования. Насосы 1-го подъема, расположенные в насосной станции, находятся на 5 – 6 м ниже уровня Волги. К ним вода поступает также самоотекот. Водоприемный колодезь может быть многосекционным. Над колодезем обязательно сооружается здание.

Для предотвращения загрязнения источника хозяйственно-питьевого водоснабжения к месту водозабора приурочена зона санитарного контроля. Она состоит из двух поясов: первый включает в себя территорию, где расположены водоприемные сооружения. Она, имея зеленую зону, окружена забором. Второй пояс охватывает территорию верхнего течения реки и её притоков.

Далее природная вода поступает в смеситель. Он представляет собой круглую емкость ( $d = 2,9$  м,  $h = 1,5$  м), в которой равномерное смешение воды с подаваемыми компонентами осуществляется за счет турбулизации потока.



*Рис. 2. Технологическая схема очистки природной воды (вариант б)*



*Рис. 3. Схема водозаборного сооружения берегового типа, совмещенного с насосной станцией:*

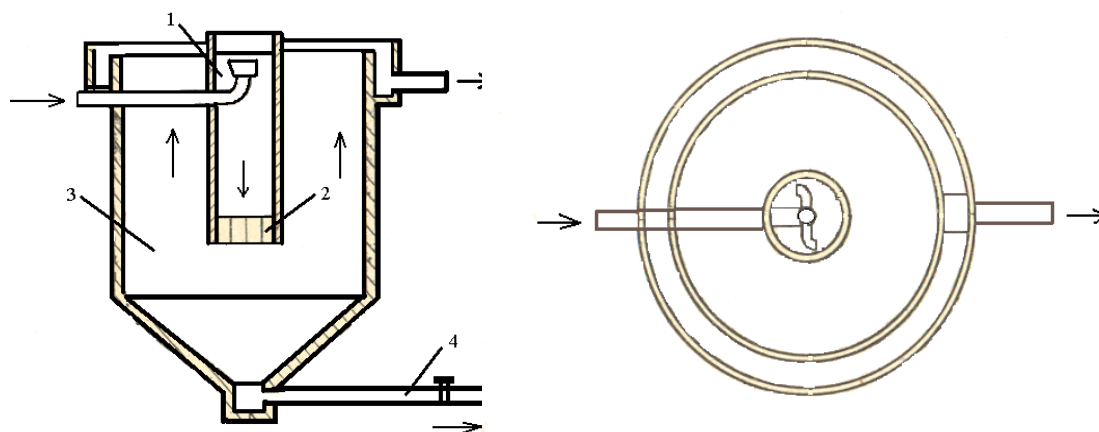
*СВУВ – самый высокий уровень воды в реке; СНУВ – самый низкий уровень воды в реке; 1 – водоприемное отделение; 2 – насосный зал; 3 – водоприемная сетка; 4 – горизонтальный центробежный насос*

В смеситель из хранилища реактивов и реагентного цеха подается коагулянт – сульфат алюминия ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ) в виде 2%-ного раствора. Коагулянт поступает через дырчатую трубу, расположенную по периметру смесителя в его верхней части. Одновременно подаются хлорная и аммиачная вода. Дырчатые трубы по периметру сооружения расположены на глубине 1,5 м и 2 м соответственно. Следует отметить, что на Южной и Северной станциях дополнительно вводят полиакриламид для улучшения процесса хлопьеобразования при коагуляции сульфата алюминия. Полиакриламид подают через 2 – 3 минуты после введения коагулянта в количестве 0,05 - 0,2 мг/л. В отдельных случаях (зимний период, паводок) подача полиакриламида увеличивается до 0,4 мг/л (его ПДК в воде составляет 2 мг/л, поэтому его содержание в очищенной воде не контролируется).

Из смесителя природная вода с введенными компонентами поступает в камеру реакции (камера хлопьеобразования). Именно здесь из сульфата алюминия образуются хлопья гидроксида алюминия. При очистке природной воды на их поверхности сорбируются мелкие, чрезвычайно дисперсные твердые частицы, большинство коллоидно-растворенных и радиоактивных. Именно здесь на по-



верхности хлопьев сорбируются до 90% бактерий, содержащихся в природной воде. Таким образом, за счет этого метода очистки устраняется большая часть бактерий даже без обеззараживания. Этот процесс завершается в вертикальном отстойнике (их 4), вариант **б** рис. 1, рис. 2. Следует отметить, что камера реакций не является самостоятельным сооружением, а встроена в вертикальный отстойник.



*Рис. 4. Схема вертикального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования:*

*1 – водоворотная камера хлопьеобразования; 2 – гаситель скорости; 3 – вертикальный отстойник; 4 – труба для выпуска осадка*

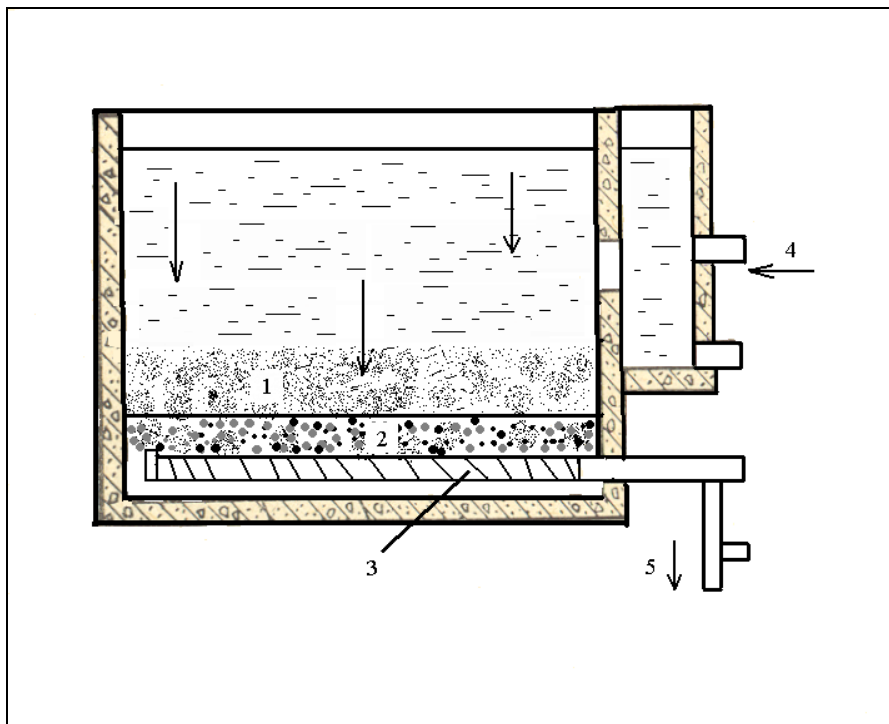
Камера реакции имеет  $d = 2,5$  м,  $h = 3,5$  м. Воду в нее подают сверху, сама подача регулируется при помощи задвижек. Вода равномерно перемешивается, и взвесь уплотняется в хлопья.

Вертикальный отстойник имеет округлую форму ( $d = 10$  м,  $h = 6,5$  м) и коническое днище для накопления осадка. На дне имеются отверстия, прикрытые колпачками. Именно через них периодически отсасывается уплотненный осадок. Он направляется в отстойник. Отстоянная вода поступает в канализацию\*.

---

\* Аналогично обрабатывается осадок на Южной станции. С Северной станции он по трубопроводу направляется на поля фильтрации, расположенные в Заволжском районе.

Отстоянная вода отводится на фильтр (их 16), рис. 5. Он предназначен для глубокого осветления воды, так как способен уловить из неё все оставшиеся взвеси.



*Рис. 5. Схема работы открытого скорого фильтра:  
1 – песчаный фильтрующий слой; 2 – гравийный поддерживающий слой; 3 – дренаж; 4 – трубопровод для подачи осветляемой воды;  
5 – трубопровод для отвода осветленной воды*

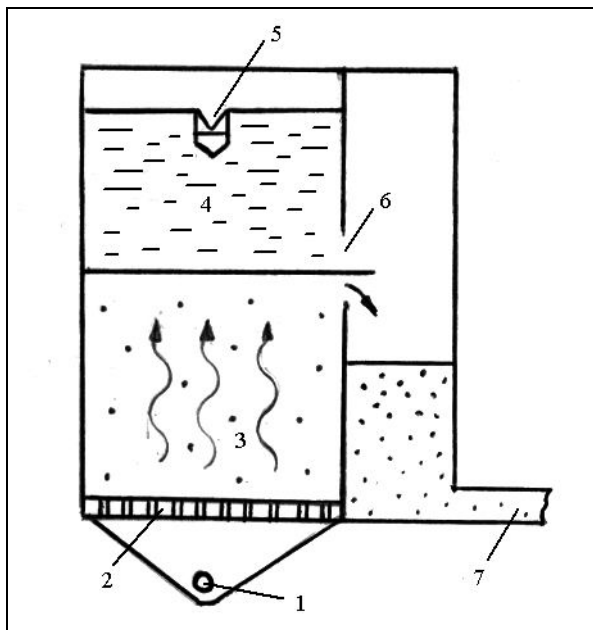
Это резервуар круглой формы ( $d = 5,5$  м,  $h = 3,3$  м). Важнейшим элементом конструкции является фильтрующий слой. Это может быть антрацит, керамзит, песок. Высота песчаного слоя зависит от крупности песка ( $d_{\text{зерен}} = 0,8 - 2$  мм,  $h_{\text{фильт. слоя}} = 1,8 - 2$  м). Под песчаным слоем расположен гравийный слой и дренаж. На ЦВС используют фильтры с однослойной и двухслойной загрузкой. Например, песок и антрацит, песок и керамическая крошка. В качестве однослойной загрузки наряду с песком используют керамзит. Слой воды над песчаной загрузкой не менее 2 м.

Важнейшей характеристикой интенсивности работы фильтра является скорость фильтрования. Это расход воды в  $\text{м}^3/\text{час}$ , осветляемой  $1 \text{ м}^2$  поверхности фильтра, т.е.  $\text{м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2) = \text{м}/\text{час}$ . В зависимости от этого различают медленные, скорые, напорные и другие фильтры. На ЦВС используют скорые фильтры, скорость фильтрования составляет от 5,5 до 12 м/час.

В результате фильтрования частицы взвеси накапливаются в толще загрузки. При этом уменьшается скорость процесса. Поэтому фильтры часто (1 - 2 раза в сутки) промывают обратным током воды. Она подается снизу и вымывает накопившуюся взвесь. Продолжительность промывки 5 – 8 минут. Промывные воды сбрасываются в канализацию. С фильтров Северной станции промывные воды направляются на поля фильтрации.

Из фильтра вода поступает в резервуар чистой воды ( $V = 2000 \text{ м}^3$ ). В трубопровод, подающий с фильтров очищенную воду в этот резервуар, подается хлор для повторного обеззараживания. Насосами 2-го подъема вода подается в водопроводную сеть.

Вариант **в** (рис. 1) отличается от рассмотренного тем, что вместо вертикального отстойника используется осветлитель с взвешенным осадком (их 4), рис. 6. В этом сооружении нет камеры реакции.



*Рис. 6. Схема осветлителя со взвешенным слоем осадка  
1 – трубопровод для подачи воды; 2 – дырчатое днище;  
3 – взвешенный слой осадка; 4 – осветленная вода; 5 – лоток  
для отвода осветленной воды; 6 – окно для отвода осадка;  
7 – труба для отвода уплотненного осадка*

Это резервуар круглой формы ( $d = 10 \text{ м}$ ,  $h = 6,5 \text{ м}$ ) с коническим днищем. Вода подводится снизу через отверстия и равномерно распределяется по его площади. Затем она проходит через слой взвешенного осадка, осветляется и отводится на фильтры. Взвешенный

слой осадка называют «псевдооживленным слоем», так как он обладает всеми признаками жидкости. Излишки осадка стекают в отделение уплотнения. Процесс коагуляции и осветления воды здесь протекает интенсивнее, чем в камерах хлопьеобразования и отстаивания, и не требует устройства камеры хлопьеобразования.

Вариант **а** (рис. 1) предусматривает одноступенчатую очистку природной воды в контактном осветлителе. Это сооружение совмещает в себе функции смесителя и камеры хлопьеобразования (верхняя часть сооружения) и фильтра. В его нижней части расположен песчаный слой и дренаж. Коагулянт и хлорная вода подаются в трубопровод природной воды перед контактным осветлителем. Очищаемая вода поступает в верхнюю часть, а очищенная отбирается снизу. Без дополнительного хлорирования она подается в резервуар чистой воды.

Южная и Северная станции подготовки воды имеют свои особенности в технологическом процессе.

## **2. Теоретические основы и контроль процессов подготовки воды для питьевых целей**

### **2.1. Коагуляция**

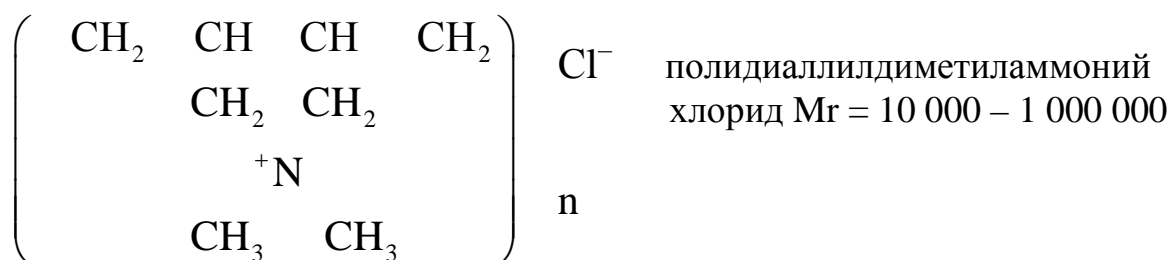
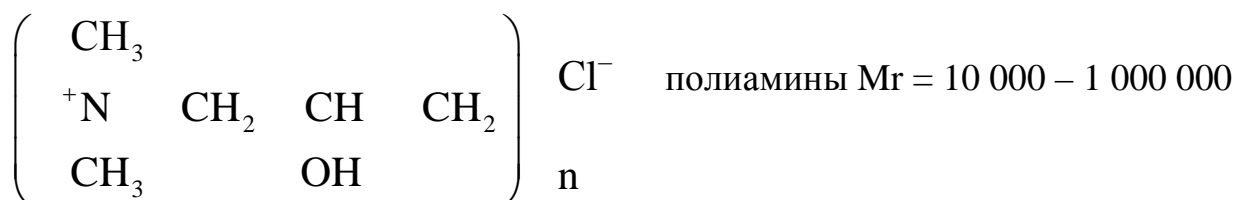
#### **2.1.1. Принцип метода**

Природные воды – сложные многокомпонентные системы, содержащие частицы различной дисперсности (взвесь, коллоидно-растворенные частицы, молекулы, ионы). В зависимости от природных, содержащихся в воде, дисперсных примесей различают мутные и цветные воды. В мутных водах преобладают неорганические примеси (кремниевая кислота, алюмосиликаты, гидроксиды, соли металлов, и др.). Цветность природных вод обусловлена присутствием солей железа, гуминовых и фульвиновых кислот и их солей. Кроме того, вода содержит различные микроорганизмы: патогенные и непатогенные бактерии, планктон, водоросли, вирусы.

Обесцвечивание воды заключается в снижении концентрации органических соединений. Обработка воды с целью удаления кол-

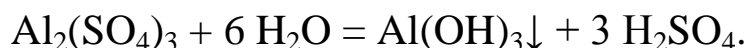
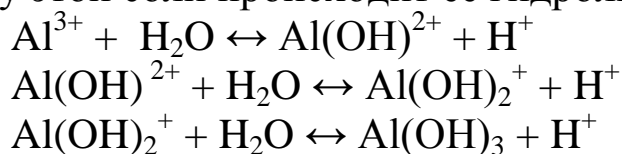
лоидных и грубодисперсных примесей называется *осветлением*. С целью удаления из воды примесей используют физико-химический метод – *коагуляцию*. При этом устраняются цвет, неприятный вкус, запах, мутность. Наиболее часто для этих целей используется неорганические коагулянты: сульфат алюминия ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ), сульфат железа (II) ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ), хлорид железа (III) ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ), дигидроксохлорид алюминия ( $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$ ).

В 1960-е годы появились органические полимеры, которые вначале использовались как добавки к неорганическим коагулянтам для интенсификации процесса коагуляции. В настоящее время полимеры используются как основные коагулянты. Это такие вещества, как:

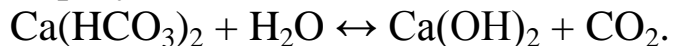


По сравнению с неорганическими коагулянтами, органические имеют ряд преимуществ: обеспечивают аналогичное (иногда лучшее) качество очищенной воды, работают в широком диапазоне pH очищаемой воды, не добавляют в воду катионов алюминия или железа, сокращают расходы на удаление и обработку осадка, и др.

Однако до настоящего времени, как правило, в качестве коагулянта используют сульфат алюминия. При внесении в природную воду этой соли происходит её гидролиз:



Для того чтобы реакция гидролиза протекала по 3-м ступеням с образованием осадка гидроксида алюминия, природная вода должна обладать щелочностью, обусловленной наличием в ней гидрокарбоната кальция, который также подвергается гидролизу, а природная вода в результате подщелачивается.



Для р. Волги щелочность составляет в среднем 1,9 мг-экв/л.

Именно поэтому гидролиз сульфата алюминия протекает до конца. Более того, при недостаточном количестве бикарбоната кальция в воде для её подщелачивания добавляют известь. Образующееся в первый момент труднорастворимое основание  $\text{Al}(\text{OH})_3$  находится в коллоидном состоянии, а под влиянием  $\text{OH}^-$  ионов, содержащихся в воде, коагулирует. Растущие сильно гидратированные хлопья коагулянта осаждаются, сорбируя на своей поверхности все нежелательные компоненты, содержащиеся в природной воде. При этом она полностью осветляется и обесцвечивается.

Степень очистки определяется многими факторами: количеством вводимого коагулянта, свойствами обрабатываемой воды, уровнем загрязнения (например, в период паводка он резко возрастает), величиной рН, температурой и др.

Выбор оптимальной дозы коагулянта проводится опытным путем в условиях, приближенных к производственным и называется «пробным коагулированием». Установление оптимальной дозы коагулянта позволяет достичь наилучших результатов в очистке природной воды. Это та доза, введение которой обеспечивает образование крупных хлопьев, быстро оседающих, а очищенная вода не имеет опаловидной мути. После фильтрации она не должна иметь цветность более 20° и мутность более 1,5 мг/л, что соответствует нормам СанПиН 21.4.559-96.

## **2.1. 2. Пробное коагулирование**

Для оценки результатов пробного коагулирования используют визуальное наблюдение за процессом образования и оседания хлопьев и метод аналитического контроля качества воды.

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой пробного коагулирования, применяемой для определения дозы коагулянта при оптимальных значениях рН раствора.

*Оборудование и реактивы.* Секундомер или песочные часы на 1 мин., мерные цилиндры ( $V = 1$  л) – 6 шт., конические колбы ( $V = 250$  мл) – 6 шт.

1 %-ный раствор сернокислого алюминия. В коническую колбу на 150 мл налить 100 мл дистиллированной воды, внести 5 г  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  и нагреть содержимое на водяной бане до  $70^\circ\text{C}$  при перемешивании. Затем раствор охладить, перенести в мерную колбу объемом 500 мл и довести дистиллированной водой до метки. Перед употреблением раствор перемешать.

*Ход определения.* Пробное коагулирование в производственных условиях проводят в мерных цилиндрах. Их количество зависит от предлагаемых доз коагулянта. В каждый цилиндр наливают по 1 л природной воды. Затем вносят требуемое количество коагулянта (заданная доза 50 мг/л – 5 мл, 80 мг/л – 8 мл, и т.д.). После внесения дозы в первый цилиндр содержимое интенсивно перемешивается в течение 1 минуты и отмечается время начала коагуляции. Затем последовательно вносится коагулянт в остальные цилиндры. Для природной воды определяется цветность, щелочность, мутность, температура (например, для воды реки Волги на 23.02.01 цветность 53 град., щелочность 2,18 мг-экв/л, мутность 2,3 мг/л,  $t = 0,2^\circ\text{C}$ ). Эти же показатели определяются в пробах воды после ее обработки коагулянтом. Полученные данные сводятся в таблицу 1.

Таблица 1

Доза коагулянта, мг/л *					Природная вода для очистки
Хлопьеобразование					
Осаждение					
Осветвление					
**Щелочность, мг-экв/л					
***Δ Щелочность, мг-экв/л					
Цветность, град.					
Мутность, мг/л					

Для реки Волга получены следующие результаты при проведении пробного коагулирования (табл. 2) от 23.02.01 и (табл. 3) от 23.06.04.

Таблица 2

Время	Доза коагулянта, мг/л *	80	90	100	110	120	130	Природная вода
15 мин	Хлопьеобразование	Муть	Муть	Мелк.	Средн.	Крупн.	Очень крупн.	-
30 мин	Осаждение	Нет	Нет	Незнач	Почти полное	Полное	Хлопья всплывают	-
60 мин	Осветвление	Нет	Нет	Незнач	Почти полное	Полное	-	-
-	**Щелочность, мг-экв/л	1,68	1,62	1,56	1,50	1,42	1,36	2,18
-	***Δ Щелочность, мг-экв/л	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,82	-
-	Цветность, град.	30	26	19	16	10	8	53
-	Мутность, мг/л	0,9	0,7	0,6	0,3	0	0	2,3

Таблица 3

Время	Доза коагулянта, мг/л *	70	80	90	100	110	Природная вода
15 мин	Хлопьеобразование	Мелк.	Средн.	Крупн.	Очень крупн.	Очень крупн.	-
30 мин	Осаждение	Незначит	Почти полное	Полное	Полное	Полное	-
60 мин	Осветвление	Незначит	Почти полное	Полное	Полное	Полное	-
-	**Щелочность, мг-экв/л	1,25	1,17	1,10	1,02	0,95	1,76
-	***Δ Щелочность, мг-экв/л	0,51	0,59	0,66	0,74	0,81	-
-	Цветность, град.	19	14	10	9	8	57
-	Мутность, мг/л	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	7,2

*Примечания:*

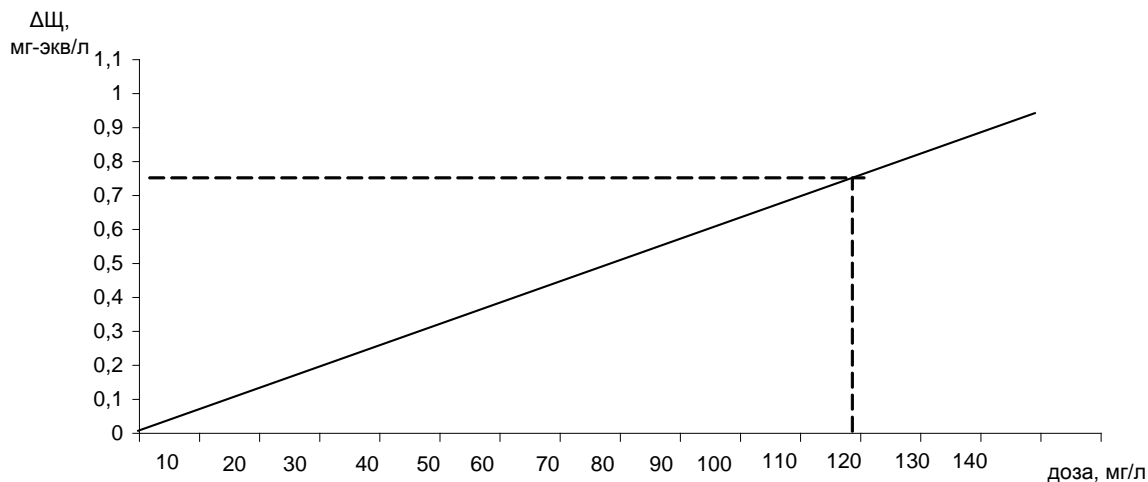
\* Интервал значений доз коагулянта может быть расширен.

\*\* Щелочность очищенной воды.

\*\*\*ΔЩелочности определяется как разность между щелочностью природной воды и очищенной с помощью коагулирования.



В результате внесения сульфата алюминия в природную воду уменьшается ее щелочность. Для всех вариантов очистки воды необходимо определить щелочную разность  $\Delta$  (щелочности) и построить график ее зависимости от дозы коагулянта. Для рассмотренного примера 1:



В зависимости от  $\Delta$  щелочности очищенной и природной воды выбирается доза коагулянта в производственных условиях. *Пример:* щелочность природной воды 2,18 мг-экв/л, щелочность воды после обработки ее коагулянтам 1,42 мг-экв/л,  $\Delta \text{Щ} = 2,18 - 1,42 = 0,76$ . Следовательно, оптимальной будет доза коагулянта 119 мг/л. Она обеспечивает максимальный эффект очистки в техническом процессе.

### 2.1.3. Методики анализов

**Фотометрический метод определения цветности.** Цветность поверхностных вод вызывается главным образом присутствием гуминовых веществ и соединений железа (III). Количество этих веществ зависит от геологических условий в водоносных горизонтах и от количества и размеров торфяников в бассейне исследуемой реки. Окрашенная вода имеет неприятный внешний вид. Имеются указания на неблагоприятное воздействие гуминовых веществ на минеральный обмен в организме.

Количественно цветность воды определяется визуально или фотометрически – путем сравнения проб с растворами, имитирующими цвет природной воды. Качественно цветность характеризуется следующим образом: бесцветная, зеленоватая, желтая, бурая и т.д.

Определение цветности проводят в прозрачной воде. Мутную воду фильтруют через мембранный фильтр № 4 или центрифугируют. Если цветность воды  $> 70^\circ$ , то её перед определением разбавляют дистиллированной водой.

Цветность выражается в условных градусах. В норме цветность воды не более  $20^\circ$  (по специальному разрешению СЭС допускается  $35^\circ$ ). Цветность воды определяется не позднее чем через 2 часа после отбора пробы воды.

*Оборудование и реактивы.* КФК-2, мерные цилиндры ( $V = 100$  мл, 14 шт., из бесцветного стекла), воронка, бумажные фильтры, стандартный раствор для определения цветности (раствор  $500^\circ$ ). Готовится по следующей методике (бихроматно – кобальтовая шкала):

– раствор **а**: 0,25 бихромата калия ( $K_2Cr_2O_7$ ) растворяют в дистиллированной воде, добавляют 1 мл концентрированной серной кислоты ( $\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$ ) и доводят объем до 1 л;

– раствор **б**: 5 г сульфата кобальта ( $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ ) добавляют 0,5 мл концентрированной серной кислоты ( $\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$ ) и доводят объем до 0,5 л.

– раствор **в**: 1 мл концентрированной серной кислоты ( $\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$ ) растворяют в дистиллированной воде и доводят объем до 1 л;

– раствор  $500^\circ$ : смешивают 350 мл раствора **а**, 200 мл раствора **б** и 450 мл раствора **в**. Оптическая плотность такого раствора  $0,74 - 0,75$  (КФК - 2;  $\lambda = 364 \text{ нм}$ ,  $L = 50 \text{ мм}$ ).

*Шкала цветности.* Для ее приготовления смешивают стандартный раствор (раствор  $500^\circ$ ) с раствором **в** в следующих соотношениях:

Таблица 4

Стандартный раствор, мл	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	20	40	50
Раствор <b>в</b> , мл	100	99	98	97	96	95	94	92	90	88	86	80	60	50
Градусы цветности	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	100	200	500

Следует учесть, что 1 мл стандартного раствора, разбавленного до 100 мл, соответствует 5 град. цветности.

Шкалу цветности хранят в темном месте и через каждые 2 – 3 месяца её заменяют.

Имея серию эталонных растворов цветности (шкала цветности), можно построить калибровочную кривую, которая отражает зависимость оптической плотности раствора от его цветности  $D = f(\text{ц})$ . Нулевой раствор – подкисленная дистиллированная вода (раствор в). Оптическую плотность растворов определяют на фотоэлектроколориметре (КФК-2;  $\lambda = 364 \text{ нм}$ ,  $L = 50 \text{ мм}$ ).

Измерив оптическую плотность раствора ( $D$ ), по калибровочной кривой определяют его цветность (град.).

Если для определения цветности воды используется шкала цветности, в цилиндры Несслера наливают 100 мл профильтрованной воды, имеющей комнатную температуру, и проводят просмотр сверху на белом фоне, сравнивая интенсивность окраски воды с окраской стандартных растворов.

***Фотометрический метод определения мутности.*** Наличие в природной и питьевой воде твердой взвеси различной степени дисперсности обуславливают качество воды, определяемое как её мутность. Мутная вода трудно поддается обеззараживанию, поскольку внутри твердых частичек бактерии защищены от действия дезинфицирующих веществ.

В питьевой воде мутность обусловлена наличием мельчайших частиц гидроксида алюминия и железа с адсорбированными примесями. При высокой степени дисперсности взвеси вода опалесцирует.

Мутность воды можно охарактеризовать качественно: вода прозрачна, опалесцирует, слабая муть, сильная муть. Количественно мутность воды определяется фотометрически. Определение проводят не позднее чем через сутки после отбора пробы.

***Оборудование и реактивы.*** КФК-2, мерные цилиндры ( $V = 1000 \text{ мл}$ , 2 шт.), мерные пипетки ( $V = 0,1; 0,2; 1; 2; 5 \text{ мл}$ , 5 шт.), мерные колбы ( $V = 100 \text{ мл}$ , 10 шт.), каолин К-2+М (ГОСТ 6138-61, для фарфоровой промышленности), ступки, шелковое сито с диаметром отверстий  $0,1 \text{ мм}$ , мембранные фильтры № 4 (предварительно прокипяченные) или центрифуга.

Основная стандартная суспензия каолина готовится по следующей методике: каолин высушивают при температуре  $t = 105 - 110^\circ\text{C}$ , просеивают через шелковое сито. Затем  $25 - 30 \text{ г}$  каолина

хорошо перемешивают с 3 – 4 л дистиллированной воды и оставляют на сутки. После этого сифоном отбирают неосветлившуюся часть жидкости. К оставшейся части вновь приливают дистиллированную воду, сильно взбалтывают и оставляют стоять на сутки. Неосветлившаяся часть жидкости отбирается. Операция повторяется трижды, каждый раз присоединяя неосветлившуюся в течение суток суспензию к ранее собранной. Накопленную суспензию собирают в цилиндр, хорошо перемешивают и через трое суток сливают жидкость над осадком. К полученному осадку добавляют 2 л дистиллированной воды, перемешивают. Это основная стандартная суспензия. Для определения содержания в ней каолина 50 – 100 мл суспензии фильтруют через предварительно взвешенный мембранный фильтр, который затем вместе с осадком высушивают при температуре 105 °С и взвешивают. Затем определяют содержание взвеси в 1 л суспензии (С, мг/л). *Пример:* вес высушенного осадка 26,8 мг после фильтрования 100 мл суспензии. Следовательно,  $C = 268 \text{ мг/л}$ ; 1 мл суспензии содержит 0,268 мг каолина, а 1 мг каолина содержится в 3,7 мл суспензии ( $X = (1 \cdot 1) : 0,268 = 3,7 \text{ мл}$ ).

Суспензия каолина стабилизируется. Для этого в нее добавляют 100 мг мелкокристаллического гексометафосфата натрия ( $[\text{NaPO}_3]_6$ ) и 10 капель хлороформа или формалина. Основная стандартная суспензия каолина может храниться в течение 6 месяцев.

Для приготовления рабочих стандартных суспензий мутности основную стандартную суспензию разбавляют дистиллированной водой в мерных колбах ( $V = 100 \text{ мл}$ ). Содержание каолина в рабочих стандартных суспензиях (С) 0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 7,0; 10 мг/л. В 100 мл будет содержаться соответственно 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0 мг (в 10 раз меньше). Следовательно, для приготовления серии рабочих стандартных суспензий следует внести в мерную колбу 0,037; 0,074; 0,111; 0,148; 0,185; 0,37; 0,74; 1,85; 2,69; 3,70 мл основной стандартной суспензии и довести ее объем до 100 мл (зная, что 1 мг взвеси содержится в 3,7 мл суспензии). Можно хранить не более суток.

Калибровочная кривая выражает зависимость оптической плотности суспензии каолина в воде от мутности ( $D = f(M)$ ). Оптическую плотность серии суспензий определяют на фотоэлектрокалориметре (КФК – 2;  $\lambda = 540 \text{ нм}$ ,  $L = 50 \text{ мм}$ ). Контроль – профильтрованная через мембранный фильтр (№ 4) вода.

*Ход определения.* В кювету вносят хорошо перемешанную воду и измеряют ее оптическую плотность. Контроль – профильтрованная через мембранный фильтр (№ 4) вода. Мутность (мг/л) определяют по калибровочной кривой.

**Определение общей щелочности.** Под общей щелочностью понимают общее содержание солей слабых кислот, в частности карбонатов и гидрокарбонатов, вступивших в реакцию с соляной кислотой с образованием хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов. Выражают в мг-экв/л. Определение следует проводить сразу после отбора воды.

*Оборудование и реактивы.* Конические колбы ( $V = 250$  мл), мерный цилиндр, бюретка для титрования 25 мл – 2 шт.

Соляная кислота 0,1 моль-экв/л (0,1 N). 8,9 мл соляной кислоты (плотность 1,17) разбавляют в 1 л дистиллированной воды.

Смешанный индикатор. 1 г метилоранжа и 2,5 г индигокармина растворяют в 1 л дистиллированной воды.

Индикатор 1%-ый спиртовой раствор фенолфталеина (спирт 60 % -ный).

Индикатор 0,1 %-ный водный раствор метилоранжа.

Раствор буры 0,05 моль-экв/л (0,05 N). 10,10 г  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды и затем доводят объем до 1 л.

**Определение молярной концентрации эквивалента соляной кислоты.** В три колбы из бюретки наливают по 20 мл 0,1 N соляной кислоты. В каждую колбу добавляют по 4 капли индикатора – метилоранжа. Раствор кислоты окрашивается в розовый цвет.

Соляную кислоту титруют бурой, прибавляя последнюю по каплям до появления желтой окраски от одной прибавленной капли раствора буры.

$$C_{(\text{HCl})} = \frac{V_1 * 0,05}{V_2},$$

где  $C_{(\text{HCl})}$  – концентрация соляной кислоты, N (моль-экв/л);

$V_1$  – объем раствора буры, пошедшей на титрование, мл;

0,05 – концентрация раствора буры, N (моль-экв/л);

$V_2$  – объем раствора соляной кислоты, взятый для титрования, – 20 мл.

*Ход определения.* В коническую колбу наливают 100 мл воды, добавляют 3 капли индикатора – фенолфталеина. Если появится розовое окрашивание, природную воду титруют соляной кислотой концентрацией 0,1 моль-экв/л до обесцвечивания. Затем к раствору добавляют 5 капель смешанного индикатора и продолжают титровать до перехода окраски из зеленой в фиолетовую (рН 3.7). При титровании зеленый цвет раствора сначала переходит в серый, а затем от одной капли соляной кислоты – в фиолетовый. Если при добавлении индикатора – фенолфталеина розового окрашивания не наблюдается, то титруют сразу со смешанным индикатором.

Число мл соляной кислоты концентрацией 0,1 моль-экв/л соответствует значению общей щелочности в мг-экв/л (при  $K = 1$ ).

#### *Содержание отчета.*

1. Цель работы.
2. Краткое описание методики проведения пробного коагулирования, методик определения цветности, мутности и щелочности воды.
3. Выводы по работе, содержащие обоснование выбора оптимальной дозы коагулянта и оценку эффективности очистки воды этим методом.

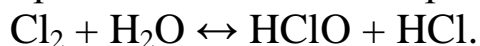
***Правила безопасного ведения работы.*** Необходимо соблюдать правила работы с кислотами, оборудованием из стекла. Перед работой с прибором следует проверить его исправность и заземление.

## **2.2. Обеззараживание воды**

### **2.2.1. Хлорирование**

Для обеспечения необходимой бактерицидной чистоты воду перед подачей потребителю обеззараживают (дезинфицируют) разными методами: хлорирование, озонирование, обработка ультрафиолетовыми лучами и др. Хлорирование воды для её обеззараживания получило наибольшее распространение. Количество хлора, необходимого для обеззараживания, зависит от рН воды, температуры, времени контакта с водой, ее загрязненности (цветности и мутности).

Хлорирование осуществляется путем введения в обрабатываемую воду приготовленной хлорной воды. Концентрация хлорной воды не уточняется, учитывается только расход жидкого хлора. Соответствующее помещение называют хлораторной. Бочки с жидким хлором размещают на весах и контролируют его поступление в промежуточные баллоны. Из баллонов хлор поступает в хлораторы для приготовления хлорной воды. При взаимодействии хлора с водой протекает химическая реакция:

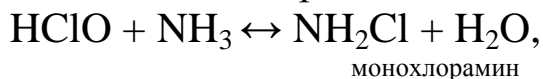


Образующаяся хлорноватистая кислота дезинфицирует воду. Она слабая, её способность к диссоциации зависит от pH среды:

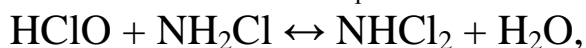


Поскольку бактерицидность недиссоциированной хлорноватистой кислоты в 70 – 80 раз больше, чем бактерицидность гипохлорит – иона, обеззараживание воды следует вести при pH < 7.

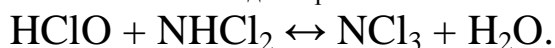
Первичное обеззараживание воды хлорированием осуществляется в присутствии аммиака. Он подается в виде аммиачной воды концентрацией примерно 10 – 18 %, концентрация не уточняется. Хлор и аммиак должны подаваться в массовом отношении  $\text{Cl}_2 : \text{NH}_3 = 4 : 1$ . Однако реально оно меняется и зависит от времени года (зима 3 : 1, лето 1 : 10). В результате в смесителе (рис. 1) протекают химические реакции:



монохлорамины



дихлорамины



трихлорамины (трихлористый азот)

При pH = 7 доля монохлорамина составляет 98%.

Последняя химическая реакция протекает при pH < 4,5. Поскольку для природной воды pH > 7, образование трихлорамина не происходит.

Моно- и дихлорамины необходимы для предотвращения возможности вторичного бактериального загрязнения очищенной воды в разводящей сети водопровода. Их бактерицидная активность гораздо ниже, чем у хлора. Дихлорамины в 3 – 5 раз активнее монохлораминов, но их способность обеззараживать воду в целом в 20 – 30 раз ниже, чем у хлора. Их главное преимущество – длительность действия. Обеззараживание воды с аммонификацией экономичнее,

улучшаются органолептические свойства воды. Одновременно уменьшается возможность образования хлорорганических веществ опасных для здоровья человека.

### *Основные термины*

1.  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HClO}$ ,  $\text{ClO}^-$  – растворенные в воде называются свободным активным остаточным хлором. Его содержание в резервуаре чистой воды должно быть 0,3 – 0,5 мг/л (норматив). Продолжительность контакта хлора с водой составляет не менее 30 минут, поэтому он называется *остаточным*.

2. Хлор, связанный в хлорамины, называется связанным активным остаточным хлором. Содержание его в резервуаре чистой воды 0,8 - 1,2 мг/л (норматив). Продолжительность контакта хлора с водой составляет не менее 30 минут, поэтому он называется *остаточным*.

Учитывая различную бактерицидность свободного активного и связанного активного хлора, следует поддерживать их остаточные концентрации различными: 0,3 – 0,5 мг/л – свободного активного хлора (1); 0,8 – 1,2 мг/л – связанного активного хлора (2).

3. Сумма свободного активного остаточного хлора ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HClO}$ ,  $\text{ClO}^-$ ) и связанного активного остаточного хлора ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$ ) в воде называется *активным хлором*.

Количество хлора, которое необходимо ввести в воду для получения заданной величины остаточного активного хлора через 30 минут контакта с водой, определяется пробным хлорированием. Оно устанавливает рабочую дозу хлора, необходимую для обеззараживания воды. По результатам анализа рассчитывают хлоропоглощаемость очищаемой воды. Хлоропоглощаемость измеряется в мг/л. Это разность между дозой подаваемого хлора (мг/л) и остаточным активным хлором (мг/л).

Хотя первичное обеззараживания осуществляется в смесителе, содержание остаточного активного хлора здесь не определяется, поскольку время контакта воды с хлором должно быть определенным (30 минут). Именно столько требуется времени, чтобы природная вода уже прошла часть сооружений по технологической схеме. Содержание остаточного активного хлора определяется в воде, проходящей фильтрацию, т. е. в фильтрах. Его содержание на этом этапе технологического процесса очистки воды должно составлять



0,6 – 0,8 мг/л (норматив) и отличается от содержания в резервуаре чистой воды – 0,3 – 0,5 мг/л (норматив).

### 2.2.2. Пробное хлорирование

**Задание.** Установить рабочую дозу хлора для очищаемой воды.

**Оборудование и реактивы.** Мерные цилиндры ( $V = 1$  л) – 7 шт., коническая колба ( $V = 100$  мл) – 1 шт. Хлорная вода с известным титром (содержание хлора в мг/мл).

**Ход определения.** Пробное хлорирование производят в производственных условиях в закрывающихся мерных цилиндрах, укрытых от света темной тканью. Их количество зависит от числа предполагаемых доз хлора. В каждый цилиндр наливают по 1 л природной воды и вносят дозы хлора для пробного хлорирования с интервалом в 0,5 мг/мл. Через 30 минут определяют остаточный активный хлор иодометрически\*. Результаты представляются в виде таблицы.

Таблица 5

Номер цилиндра	1	2	3	4	5	6	7
Доза хлора, мг/л	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Объем хлорной воды, мл	0,34	0,68	1,02	1,36	1,70	2,04	2,38
Остаточный активный хлор, мг/л	0,0	0,30	0,49	0,68	0,84	1,06	1,38
Хлоропоглощаемость, мг/л	0,50	0,70	1,01	1,32	1,66	1,94	2,12

\* В соответствии с технологией очистки природной воды следовало бы внести в каждый цилиндр аммиачную воду с дозой 0,3 мг/л. Однако в условиях производства при проведении пробного хлорирования аммиак не добавляют, поскольку наиболее важны результаты по содержанию свободного активного хлора и его остаточных количеств.

Эти данные относятся к пробному хлорированию природной воды р. Волги. Рабочей дозой для хлорирования является та, которая после 30-минутного контакта дает удовлетворительные результаты по содержанию остаточного активного хлора (0,6 – 0,8 мг/л – норматив). Полученные результаты свидетельствуют, что оптимальные данные получены в цилиндре № 4, где остаточный актив-

ный хлор составляет 0,68 мг/л (значение соответствует нормативу). На первичном этапе хлорирования природной воды хлоропоглощаемость составила 1,32 мг/л (2,0 мг/л (доза хлора) – 0,68 мг/л (остаточный активный хлор) = 1,32 мг/л). Именно такую дозу хлорной воды подают технологи в смесители, обеспечивая требуемое содержание остаточного активного хлора.

Однако реально величина остаточного активного хлора в воде фильтров поддерживается на уровне 0,8 – 0,9 мг/л, а в чрезвычайной ситуации может быть увеличена до 2 мг/л. Это зависит от уровня загрязненности природной воды (паводок, цветение и тд.), стабильности работы сооружения и др. В таблице 6 приведены результаты пробного хлорирования в указанных условиях.

Таблица 6

Номер цилиндра	1	2	3	4	5	6	7
Доза хлора, мг/л	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Объем хлорной воды, мл	2,4	4,8	7,2	9,6	12,0	14,4	16,8
Остаточный активный хлор, мг/л	0,0	0,30	0,49	0,68	0,84	1,06	1,38
Хлоропоглощаемость, мг/л	0,50	0,70	1,01	1,32	1,66	1,94	2,12

В этом случае оптимальной дозой является 2,5 мг/л, где остаточный активный хлор составил 0,84 мг/л, а хлоропоглощаемость 1,66 мг/л (цилиндр № 5).

Технологическая схема водоподготовки предусматривает вторичное хлорирование. Хлор подают в трубопровод, по которому очищенная вода с фильтров поступает в резервуар чистой воды (рис. 1). Здесь нужно ввести такую дозу хлора, чтобы величина остаточного активного хлора составляла 1 – 1,2 мг/л (норматив). При этом эта доза складывается из двух значений: имеющейся в воде уже дозы хлора на стадии её фильтрования (из приведенного выше примера, табл. 2, она составляет 2,5 мг/л) и дозы, которая выбирается для вторичного хлорирования. Следовательно, и остаточный активный хлор складывается из двух значений – по результатам первичного и вторичного хлорирования. Эта серия опытов аналогична

рассмотренной выше. Главное отличие – время контакта хлора с водой составляет 1 час. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7

Номер цилиндра	1	2	3	4	5	6	7
Доза хлора, мг/л	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Объем хлорной воды, мл	2,4	4,8	7,2	9,6	12,0	14,4	16,8
Остаточный активный хлор, мг/л	0,79	1,06	1,28	1,58	1,74	1,96	2,18
Хлоропоглощаемость*, мг/л	0,55	0,78	1,06	1,26	1,60	1,88	2,16

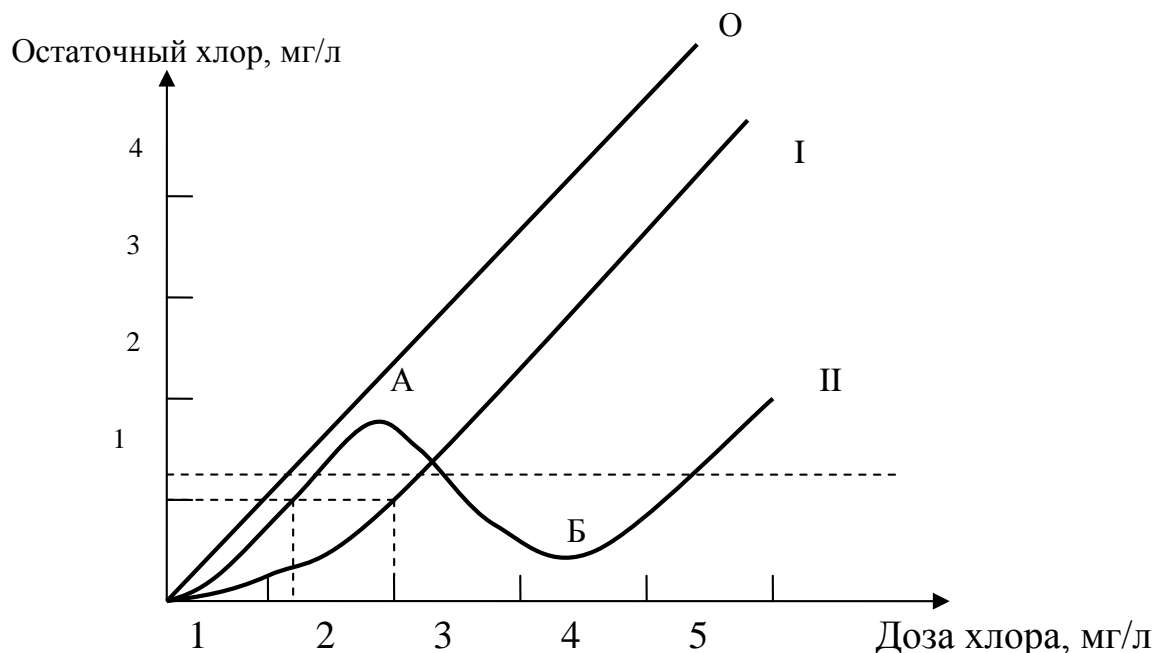
\*При расчете хлоропоглощаемости на примере результатов в 1-м цилиндре следует учесть, что при вторичном хлорировании исходное содержание хлора в воде (начало контакта его с водой) складывается из остаточного активного хлора при первичном хлорировании (0,84 мг/л, табл. 2) и дозы вторичного хлорирования (0,5 мг/л). Таким образом, эта величина составляет 1,34 мг/л, а хлоропоглощаемость составляет соответственно  $1,34 - 0,79 = 0,55$  мг/л.

Оптимальные данные получены в цилиндре № 2, где остаточный активный хлор составляет 1,06 мг/л (близко к нормативу, 0,8 – 1,2 мг/л). При вторичном хлорировании следует внести его дозу 1 мг/л, а оптимальная доза при двойном хлорировании  $2,5 + 1 = 3,5$  мг/л. Именно такую дозу подают технологи, обеспечивая необходимое содержание остаточного активного хлора при обеззараживании питьевой воды. Хлоропоглощаемость составит соответственно:  $0,84$  мг/л (остаточный активный хлор после первичного хлорирования) +  $1$  мг/л (доза хлора при вторичном хлорировании) –  $1,06$  мг/л (остаточный активный хлор при вторичном хлорировании) =  $0,78$  мг/л.

Для технологического контроля зависимости остаточного активного хлора используют графический метод. Данные представлены на рисунке 7.

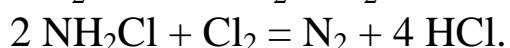
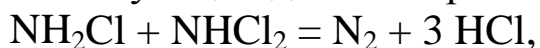
Без хлораммонизации хлоропоглощаемость природной воды имеет вид кривой (I). Кривая (II) отражает ее хлоропоглощаемость в присутствии аммиака. Кривая (O) отражает отсутствие хлоропоглощаемости. Например, если остаточный активный хлор при пер-

вичном хлорировании должен составлять 0,84 мг/л, то соответствующая доза (в отсутствии аммиака) равна 2 мг/л (2,5 – практически).



*Рис. 7. Зависимость концентрации остаточного хлора от дозы хлора*

На кривой (II) её первый участок от нуля до т. А весь соответствует практически полностью связанному остаточному активному хлору, т. е. образуются моно- и дихлорамины. На участке АБ при соответствующих дозах хлора они разрушаются:



При этом содержание остаточного активного хлора уменьшается по мере увеличения дозы введенного в воду хлора. Для достижения «точки перелома» (Б) хлора по массе необходимо в 7 – 10 раз больше, чем аммиака. Дальнейшее повышение дозы хлора приводит к возрастанию остаточного, и он будет высокобактерицидным свободным остаточным активным хлором.

Поэтому, например, при использовании хлораммонизации дозы хлора 1,7; 3,2; 4,7 мг/л обеспечивают одинаковое значение остаточного активного хлора – 1,2 мг/л. Целесообразным является использование дозы 1,7 мг/л. Это эффективно и экономично. Не следует подавать дозы хлора, соответствующие участку АБ кривой II, что обязательно учитывается в технологическом процессе.

## 2.2.3. Методики анализов

**Определение титра хлорной воды.** Титром раствора называют массу растворенного вещества, содержащуюся в 1 мл раствора, его обозначают  $T(\text{Cl}_2) = 0,21$ . Определение титра основано на том, что в кислой среде протекает окислительно-восстановительные реакции между хлором, хлорноватистой кислотой и йодидом калия. Выделившийся в эквивалентном количестве йод определяют титрованием тиосульфатом натрия.

**Оборудование и реактивы.** Конические колбы ( $V = 250$  мл) – 2 шт., мерная колба ( $V = 1$  л) – 1 шт, бюретка ( $V = 25$  мл).

Йодид калия, марки х.ч., кристаллический.

0,5 %-ный раствор крахмала (свежеприготовленный): 0,5 г крахмала растворяют в 100 мл теплой дистиллированной воды и доводят до кипения.

Тиосульфат натрия, 0,01 N: 2,48 г  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  растворяют в колбе на 1 л, и доводят объем до 1 литра. Раствор хранят в плотно закрытой темной склянке.

Раствор хлора в воде (хлорная вода) с концентрацией не менее 0,2 г/л хлора.

Дихромат калия 0,01 моль-экв/л. 0.4903 г очень мелкого кристаллического  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  растворяют в мерной колбе на 1 л, доливая дистиллированной водой до метки.

15% – ный раствор йодида калия. 15 г КJ белого цвета растворяют в 85 мл дистиллированной воды.

25% – ная серная кислота по объему, разбавленная 1 : 3. Один объем серной кислоты (98%) вносят в три объема дистиллированной воды.

**Определение поправки на молярную концентрацию эквивалента тиосульфата.** В колбу последовательно наливают 20 мл дихромата калия 0,01 моль-экв/л, 3 мл 25%-ной серной кислоты и 1 мл 15%-ного йодида калия. Выделяющийся в результате химической реакции йод окрашивает раствор в желто-коричневый цвет. Колбу закрывают часовым стеклом, чтобы не улетучился йод, и оставляют стоять 3 минуты. После этого содержимое колбы титруют раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала до исчезновения синей окраски (добавляют в конце титрования).

$$K = 20 / V,$$

где 20 – объем 0,01 N раствора дихромата калия, мл;

V – объем тиосульфата, пошедшего на титрование, мл.

*Ход определения.* В две конические колбы наливают 2 или 5 мл хлорной воды и 50 мл дистиллированной, добавляют по 2 мл серной кислоты и 0,5 г кристаллического йодида калия. Содержимое тщательно перемешивают и титруют раствором тиосульфата натрия до соломенно-желтого цвета. Затем в раствор приливают 1 мл раствора крахмала и продолжают титрование до обесцвечивания раствора. Титр хлорной воды рассчитывают по формуле:

$$T = \frac{vK \cdot 0,355}{V},$$

где v – объем тиосульфата натрия, пошедшей на титрование, мл;

K – поправочный коэффициент на концентрацию тиосульфата натрия;

0,355 – масса активного хлора (мг), соответствующая 1 мл раствора тиосульфата натрия (C = 0,01 моль-экв/л);

V – объем хлорной воды, взятый для определения.

*Пример расчета:*

$$T = \frac{2,95 \times 1 \times 0,355}{5} = 0,21.$$

Таким образом, 0,21 мг хлора содержится в 1 мл раствора хлорной воды. Для пробного хлорирования необходимо знать объем хлорной воды, в котором содержится, например, 1 мг хлора:

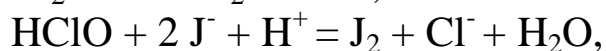
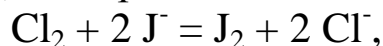
0,21 мг содержится в 1 мл раствора;

1 мг содержится в X мл раствора, следовательно,

$$X = \frac{1 \times 1}{0,21} = 4,8 \text{ мл.}$$

Таким образом, чтобы создать дозу хлора 1 мг/л, нужно добавить 4,8 мл хлорной воды.

**Определение содержания остаточного активного хлора (ГОСТ 18190).** Йодометрический метод определения основан на том, что при подкислении раствора протекают химические реакции:



Выделившейся йод определяют количественно титрованием тиосульфатом натрия. Йодометрический метод, не является специфическим, поскольку определению мешают вещества, обладающие как окислительными, так и восстановительными свойствами (пероксиды, озон, нитраты, соли железа (III), хлораты и др.). Однако подкисление воды буферным раствором (pH = 4,5) делают йодометрический метод специфическим на определение остаточного активного хлора.

#### *Оборудование и реактивы.*

Конические колбы (V = 250 мл) – 2 шт., мерная колба (V = 1 л), микробюретка.

Тиосульфат натрия, 0,005 моль-экв/л (0,005 N). 1,24 г  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  растворяют в колбе на 1 л, и доводят объем до 1 литра. Раствор хранят в плотно закрытой темной склянке.

Уксусно-ацетатный буферный раствор, pH = 4,5. Смешивают 102 мл уксусной кислоты (C = 1 моль/л) и 98 мл раствора ацетата натрия (C = 1 моль/л). Объем полученного раствора доводят дистиллированной водой до 1 л. Для приготовления раствора уксусной кислоты (C = 1 моль/л) необходимо взять 57 мл ледяной уксусной кислоты и разбавить её до 1 л. Для приготовления раствора ацетата натрия (C = 1 моль/л) 136 г  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$  растворяют в дистиллированной воде и полученный объем раствора доводят до 1 л.

Серная кислота, разбавленная 1 : 10. Один объем серной кислоты (98 %) вносят в десять объемов дистиллированной воды.

Йодид калия, марки х.ч., кристаллический.

0,5 %-ный раствор крахмала (свежеприготовленный): 0,5 г крахмала растворяют в 100 мл теплой дистиллированной воды и доводят до кипения.

*Ход определения.* В коническую колбу насыпают 0,5 г йодида калия, растворяют в 1- 2 мл дистиллированной воды и 100 мл воды

для анализа. Затем добавляют буферный раствор в количестве, приблизительно равном полуторной величине щелочности анализируемой воды. Например, при определении щелочности природной воды объемом соляной кислоты, пошедшей на титрование, – 1,96 мл, следовательно, необходимо взять 2,4 мл буферного раствора. В производственных условиях вместо буферного раствора берут 5 мл серной кислоты (1 : 10). Оба варианта методики приводят к одинаковым значениям рН в определяемой пробе. Выделившейся йод оттитровывают из микробюретки раствором тиосульфата натрия до появления соломенно-желтой окраски. Затем прибавляют 1 мл раствора крахмала и продолжают титровать до исчезновения синей окраски. Содержание активного хлора рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{v \times K \times 0,177 \times 1000}{V},$$

где  $v$  – объем раствора тиосульфата натрия, пошедшей на титрование, мл;

$K$  – поправочный коэффициент на концентрацию тиосульфата натрия;

0,177 – масса активного хлора (мг), соответствующая 1 мл раствора тиосульфата натрия ( $C = 0,005$  моль-экв/л);

$V$  – объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

#### *Содержание отчета.*

1. Цель работы.
2. Краткое описание методики проведения пробного хлорирования, методик определения титра хлорной воды, остаточного активного хлора, расчет хлоропоглощаемости природной воды.
3. Выводы по работе, содержащие обоснование выбора оптимальной дозы коагулянта. Оценка эффективности очистки воды этим методом.

#### *Правила безопасного ведения работы.*

Необходимо соблюдать правила работы с кислотами, оборудованием из стекла.



## Список использованной литературы

1. Калицин В.И. Основы водоснабжения и канализации. М.: Стройиздат, 1997.
2. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения. М.: Изд-во ВОДГЕО, 1962. 818 с.
3. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.
4. Инструкция по определению физико-химических и технологических показателей качества воды и реагентов, применяемых на водопроводах. М.: Стройиздат, 1973. 255 с.
5. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. М.: Стройиздат, 1973, 271 с.
6. САН ПиН 2.1.4. 559-96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав России, 1996.
7. САН ПиН 2.1.4. 1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав России, 2002.
8. САН ПиН 2.1.5. 980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Минздрав России, 2000.

# Содержание

<b>Введение.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Технология очистки воды на центральной водопроводной станции.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Теоретические основы и контроль процессов подготовки воды для питьевых целей .....</b>	<b>12</b>
2.1. Коагуляция .....	12
2.1.1. Принцип метода .....	12
2.1. 2. Пробное коагулирование.....	14
2.1.3. Методики анализов .....	17
2.2. Обеззараживание воды .....	22
2.2.1. Хлорирование .....	22
2.2.2. Пробное хлорирование .....	25
2.2.3. Методики анализов .....	29
<b>Список использованной литературы .....</b>	<b>33</b>

Учебное издание

# ГИДРОХИМИЯ

*Методические указания  
к учебной практике*

Составители: **Рублева** Ирина Михайловна  
**Кострова** Юлия Михайловна

Редактор, корректор А.А. Антонова  
Компьютерная верстка И.Н. Ивановой

Подписано в печать 02.12.2005 г. Формат 60х84/16.  
Бумага тип. Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 1,5.  
Тираж 100 экз. Заказ

Оригинал-макет подготовлен  
в редакционно-издательском отделе ЯрГУ.

Отпечатано на ризографе

Ярославский государственный университет  
150000 Ярославль, ул. Советская, 14



# ГИДРОХИМИЯ

