

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Физический факультет



ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ГИМНАЗИИ
ИМ. Д.К. ФАДДЕЕВА СПБГУ

(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ
«КОНВЕРГЕНЦИЯ И НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»)

Описания лабораторных работ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДЫ.
СПОСОБЫ ОЧИСТКИ И ОПРЕСНЕНИЯ**

Санкт-Петербург
2018

Печатается по постановлению Учёного совета физического факультета СПбГУ от ...

Интегрированные лабораторные работы для учащихся Академической гимназии им. Д.К.Фаддеева СПбГУ (физико-математический профиль «Конвергенция и наукоёмкие технологии»). Часть III. Изд-во СПб., 2018 г.,– 30 с.

Данное пособие содержит описания интегрированных лабораторных работ «Исследование физико-химических показателей воды. Способы очистки и опреснения» и предназначена для учащихся 9 класса Академической гимназии им. Д.К. Фаддеева СПбГУ (физико-математический профиль «Конвергенция и наукоёмкие технологии»). Междисциплинарная связь проявляется в связи физики, химии, биологии, медицины, экологии и природопользования.

Авторы:

Букина Мария Николаевна, доцент физического факультета СПбГУ, к.ф.-м.н.;

Бармасов Александр Викторович, доцент физического факультета СПбГУ, к.ф.-м.н.,

Жуков Алексей Сергеевич, старший преподаватель физического факультета СПбГУ,

Носова Дарья Алексеевна, старший преподаватель физического факультета СПбГУ.

Редактор: Зароченцева Елена Петровна, старший преподаватель физического факультета СПбГУ, к.ф.-м.н.

Рецензент: Выская Софья Олеговна, доцент физического факультета СПбГУ, к.ф.-м.н.,

© Санкт-Петербургский
государственный
университет, 2018.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение по теме: Исследование физико-химических показателей воды	4
Лабораторная работа 1 Определение значения рН воды и пищевых продуктов	8
Лабораторная работа 2 Определение органолептических показателей и общей жёсткости воды	12
Лабораторная работа 3 Качественный и полуколичественный анализ воды на присутствие ионов	20
Лабораторная работа 4 Спектрально-люминесцентный анализ различных проб воды	24

*Вода, у тебя нет цвета, нет вкуса, нет запаха,
тебя невозможно описать, люди тобою наслаждаются,
при этом не ведая, что ты есть такое...
Нельзя сказать, что ты необходима для жизни –
ты есть сама жизнь.*

Антуан де Сент-Экзюпери, писатель
*Земля – водная планета, на которой качество воды опре-
деляет качество жизни. Хорошая вода – хорошая жизнь.
Плохая вода – плохая жизнь. Нет воды – нет жизни.*

Питер Блэйк, художник

Введение по теме:
**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДЫ**

Как появилась вода на нашей планете до сих пор остаётся загадкой. Однако, очевидно, что без воды жизнь на Земле не могла бы существовать. Перечислим некоторые особенно интересные её свойства. Во-первых, вода обладает высокой теплоёмкостью: для того чтобы нагреть 1 кг воды на 1 градус, требуется гораздо больше теплоты, чем для того, чтобы нагреть на 1 градус килограмм большинства других веществ. Благодаря этому океаны, моря, озёра и реки выполняют функцию огромного терморегулятора нашей планеты. В дневное время, а также летом, вода нагревается и поглощает при этом много теплоты, что не позволяет воздуху разогреваться слишком сильно. По ночам и в зимние периоды, наоборот, водные массы медленно остывают, выделяя накопленную ранее теплоту, что не позволяет воздуху слишком остывать.

25 июня 1783 г. французский химик Антуан Лоран Лавуазье (Antoine Laurent de Lavoisier) сообщил на заседании Парижской академии наук, что вода – это соединение водорода и кислорода, а ещё через 2 года вместе с военным инженером Жаном Менье (Jean Baptiste Marie Charles Meusnier de la Place) синтезировал из них воду (Рис. 1).

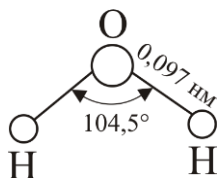


Рис. 1. Молекула воды H_2O

Молекулы воды способны сцепляться, образуя слабые межмолекулярные связи (их называют водородными) (Рис. 2). Поэтому для кипячения воды необходимо затратить много энергии, так как часть энергии тратится на разрыв этих связей. С этим связана «аномально» высокая температура кипения воды. Если бы не было водородных связей – вода кипела бы при температуре порядка минус 70 градусов! И жидкой воды при комнатной температуре не существовало бы.

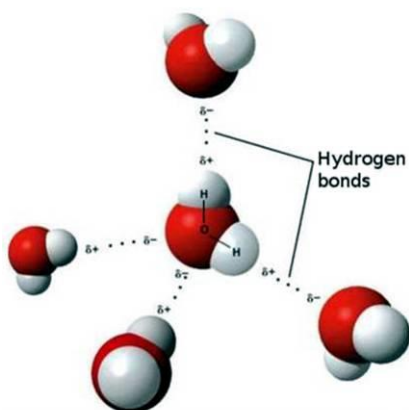


Рис. 2. Модели молекул воды с указанными водородными связями

Вода – универсальный растворитель для огромного количества химических веществ. Вода обладает высоким коэффициентом поверхностного натяжения, что позволяет ей подниматься по капиллярам и обеспечивать поставку необходимых питательных веществ в органы живых организмов.

Вода – один из важнейших компонентов биосферы и необходимый фактор существования живых организмов. Человек чрезвычайно остро ощущает изменения содержания воды в организме и может прожить без неё всего несколько суток. При потере воды до 2 % веса тела появляется жажда, при утрате 6-8 % наступает полуобморочное состояние, при нехватке 10 % появляются галлюцинации, нарушается глотание. При нехватке свыше 12 % воды наступает смерть. Избыток воды также неблагоприятен. Он приводит к перегрузке сердечнососудистой системы, вызывает изнуряющее потоотделение, сопровождается потерей солей, ослабляет организм. Для питья мы используем пресную воду – морскую воду в пищу не употребляют. Это связано с тем, что морская вода содержит большое количество различных солей (около 35 г в 1 л). Если употреблять в пищу морскую воду, то нарушается водно-солевой баланс организма, соли оседают во внутренних органах, суставах и сосудах, а необходимая вода вытягивается из межклеточных жидкостей. В результате организм страдает от обезвоживания и отравляется солевыми отложениями. Нарушается работа почек, возникает диарея, поражения нервной системы. Однако совсем не содержащая солей вода (например, дистиллированная) тоже не полезна для организма.

В природе вода не встречается в химически чистом виде. Она представляет собой растворы сложного состава, которые включают газы (O_2 , CO_2 , H_2S , CH_4 и другие), органические и минеральные вещества. Химический состав природных вод представлен в основном ионами: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- . Встречается железо, алюминий, марганец, кремнекислоты и органические вещества, имеются соединения азота (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-). Существует и техногенное загрязнение воды различными веществами – отходами промышленных и сельскохозяйственных производств.

Употребление недоброкачественной питьевой воды может быть причиной инфекционных заболеваний и гельминтозов, связанных с загрязнением водоёмов, заболеваний неинфекционной природы, связанных с необычным природным составом воды и т.п.

В настоящее время антропогенное воздействие на гидросферу значительно возросло. Открытые водоёмы и подземные водоисточники относятся к объектам Государственного санитарного надзора. В соот-

ветствии с нормативными требованиями качество питьевой воды оценивают по трём показателям: бактериологическому, содержанию токсических веществ и органолептическим свойствам.

Для оценки качества воды разработаны специальные нормативы – государственные стандарты (ГОСТы). Они определяют предельно допустимые концентрации (ПДК) различных ионов и вредных загрязняющих веществ (в мг/л). Для оценки общей загрязнённости воды определяют ряд физических и физико-химических показателей:

- органолептические свойства (цвет, вкус, запах, прозрачность, мутность);
- плотность, температура;
- рН, щёлочность, кислотность;
- жёсткость;
- содержание ионов, взвешенных веществ и т. д.

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ pH ВОДЫ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Краткое описание работы

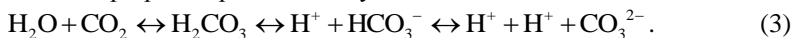
Один из важных параметров воды и водных растворов – водородный показатель pH (лат. pondus Hydrogenii – «вес водорода»). Значение pH характеризует концентрацию ионов водорода H^+ в растворе. При комнатной температуре небольшая часть молекул воды (примерно одна на каждые 10 миллионов (10^7) молекул) распадается, образуя ионы: катионы водорода H^+ и гидроксид-ионы OH^- :



Получается, что концентрация ионов H^+ будет 10^{-7} моль/л:

$$C[H^+] = 10^{-7} \text{ моль/л} . \quad (2)$$

Если вода абсолютно чистая, то гидроксид-ионов OH^- будет столько же. Показатель степени в выражении (2), взятый с обратным знаком, и есть значение pH. Таким образом, для абсолютно чистой воды $pH = 7$. Однако при растворении многих веществ в воде концентрации ионов H^+ и OH^- изменяются. Если увеличивается концентрация катионов водорода, то среда становится кислотной: $pH < 7$. Часто pH воды понижается при растворении в ней углекислого газа:



При увеличении концентрации гидроксид-ионов среда становится щелочной и $pH > 7$. В речных водах pH обычно находится в пределах $6,5 \div 8,5$, в атмосферных осадках – $4,6 \div 6,1$, в болотах – $5,5 \div 6,0$, в морских водах – $7,9 \div 8,3$. Известно, что при низком pH вода обладает высокой коррозионной активностью, а при высоком ($pH > 11$) вода приобретает характерную мылкость, неприятный запах, способна вызывать раздражение глаз и кожи. Именно поэтому для питьевой и хозяйственно-бытовой воды оптимальным считается уровень pH в диапазоне от 6 до 9.

У здорового человека pH крови равен $7,36 \div 7,45$, т. е. кровь имеет слабощелочную реакцию. Сдвиг pH крови на $0,4 \div 0,5$ (особенно в кислую сторону) приводит к тяжёлым нарушениям функций организма. В большинстве клеток организма pH чуть больше 7,0. Ткани живого организма также весьма чувствительны к колебаниям показателя pH – за

пределами допустимого диапазона разрушаются клетки, ферменты теряют способность выполнять свои функции, возможна гибель организма. Поскольку в пищу мы часто потребляем продукты с низким рН, в организме есть системы (их называют буферными), которые отвечают за поддержание значений рН в необходимых диапазонах.

Параметры рН кожи человека сдвинуты в кислотную сторону: в области кожного покрова головы $\text{pH} = 4,5 \div 5,5$. На подошвах и в области ладоней уровень рН около 6,5. Нормальный кожный покров обладает значением рН в 5,5. Поэтому использование моющих средств (мыло, шампуни и т.п.) с высокими значениями рН ($9 \div 11$) негативно сказывается на состоянии кожи.

Используемое в работе оборудование

Для определения рН можно использовать специальные индикаторы (например, лакмусовая бумага) (Рис. 3).



Рис. 3. Индикаторная бумага



Рис. 4. рН-метр

Другим методом определения рН является электрохимический метод, основанный на измерении ЭДС электрохимической ячейки, состоящей из пробы воды, стеклянного мембранного электрода и электро-

да сравнения, как правило – хлорсеребряного. При этом достигается стандартное отклонение измерений $\Delta pH = \pm 0,05$ и менее.

С помощью лакмусовой бумаги pH определяется грубо, а с помощью pH-метра (Рис. 4) более точно.

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

В работе Вам предлагается определить pH питьевой воды из разных источников (водопроводная, минеральная, бутилированная), а также различных напитков (колы, соков, и т.п.) и моющих средств. Результаты занесите в таблицу 1:

Табл. 1.

Продукт	pH, определённый лакмусовой бумагой	pH, определённый pH-метром	Вывод

Сделайте выводы из сравнения полученных результатов.

Контрольные вопросы

- ? Что такое водородный показатель pH?
- ? Какая среда считается кислотной, а какая щелочной?
- ? Почему pH воды не равен точно 7?
- ? В каких диапазонах изменяется pH крови?
- ? В каких диапазонах изменяется pH кожи?
- ? Что такое буферная система?

Дополнительные вопросы и задания (самостоятельная работа учащихся с литературными источниками):

1. Сделайте небольшое сообщение о количестве водных ресурсов на нашей планете.
2. Что такое водородные связи? За счёт каких сил они образуются?

3. Что такое кислотно-щелочной баланс организма?
4. На каких космических объектах (кроме нашей планеты) найдена вода?
5. Расскажите о свойствах воды, отличающих ее от других жидкостей.

Задание

Индикаторную бумагу можно изготовить самостоятельно, используя некоторые пищевые продукты. Попробуйте изготовить индикаторную бумагу, используя краснокочанную капусту. В краснокочанной капусте имеется пигмент под названием антоцианин, именно он и отвечает за чувствительность к рН. Антоцианин придаёт растениям тёмно-синий оттенок.

Нарезаем капусту (достаточно $\frac{1}{4}$ кочана) на маленькие кусочки. Помещаем в миску и заливаем кипятком до уровня капусты. Даем настояться (20-30 минут). Процеживаем. Нарезаем бумагу (лучше фильтровальную) на небольшие полоски и пропитываем её отваром. Высушиваем. И приступаем к исследованиям.

Цвет самодельных индикаторных полосок при нейтральных и щелочных значениях рН будет несколько отличаться от стандартной шкалы. Постройте шкалу рН для своих полосок самостоятельно, заполнив таблицу 2:

Табл. 2.

Продукт	Цвет индикатора (зарисуйте, подобрав соответствующие цвета)	рН из литературных источников
Раствор уксусной кислоты		
Лимонный сок		
Лимонад		
Вода водопроводная		
Вода минеральная		
Раствор стирального порошка		
Нашатырный спирт		

Лабораторная работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОБЩЕЙ ЖЁСТКОСТИ ВОДЫ

1. ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

К органолептическим показателям относят такие характеристики как цвет, мутность, запах, вкус.

1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАХА ВОДЫ

Чистая питьевая вода не должна иметь никакого запаха. Любой запах указывает на присутствие в воде либо продуктов биологического распада растительных или животных организмов, либо каких-либо химических соединений, посторонних для питьевой воды. Например, запах сероводорода указывает на возможное наличие в воде патогенных микроорганизмов. Хотя иногда это лишь следствие избыточного количества в воде солей серной кислоты, например сернистого железа. Это чаще всего характерно для некоторых минеральных вод. Фенольный, смоляной и другие запахи свидетельствуют о возможном загрязнении воды промышленными сточными водами, запах хлора – об избыточных концентрациях остаточного хлора, используемого для обеззараживания питьевой воды и воды в плавательных бассейнах (выше 0,5-0,6 мг в 1 л воды).

Запахи делят на 2 группы: естественного происхождения (землистый, глинистый, торфяной, травянистый и др.) и искусственного происхождения (бензиновый, сероводородный, фенольный и т. п.). Запах воды характеризуется интенсивностью, которую оценивают (в соответствии с ГОСТ Р52769-2007) по шестибальной шкале (Табл. 3). Для питьевой воды допускается запах не более 2 баллов.

Табл. 3.

Характер проявления запаха	Интенсивность запаха воды	Оценка интенсивности запаха, баллы
Отсутствие ощутимого запаха	Запах не ощущается	0

Характер проявления запаха	Интенсивность запаха воды	Оценка интенсивности запаха, баллы
Запах, не замечаемый потребителем, но обнаруживаемый специалистом	Очень слабый	1
Запах, обнаруживаемый потребителем, если обратить на это внимание	Слабый	2
Запах, легко обнаруживаемый, может быть причиной того, что вода неприятна для питья	Заметный	3
Запах, обращающий на себя внимание, может заставить воздержаться от питья	Отчётливый	4
Запах настолько сильный, что делает воду непригодной для питья	Очень сильный	5

Порядок выполнения работы при температуре 20⁰С

1. Наполните колбу с притёртой пробкой водой примерно на 1/3 объёма и закройте пробкой.
2. Несколько раз сильно взболтайте, откройте и определите характер запаха и его интенсивность (осторожно, не допуская глубоких вдохов).
3. Запишите результат.

Порядок выполнения работы при температуре 60⁰С

Такое же определение выполняют по указанию преподавателя при нагревании воды до 60⁰С:

4. В колбу отмеривают 100 см³ исследуемой воды, накрывают колбу стеклом и подогревают на водяной бане до температуры 50-60 °С.
5. Содержимое колбы несколько раз перемешивают, затем сдвигают стекло в сторону и определяют характер и интенсивность запаха.

1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МУТНОСТИ ВОДЫ

Мутность определяют фотометрически (по ослаблению проходящего света или по светорассеянию в отражённом свете), а также визуально – по степени мутности столба высотой 10-12 см в мутномерной пробирке. В последнем случае пробу описывают качественно следующим образом: «прозрачная» (мутность не заметна); «слабо опалесцирующая¹»; «опалесцирующая»; «слабо мутная»; «мутная»; «очень мутная».

Порядок выполнения работы

1. Заполните пробирку водой до 10-12 см.
2. Определите мутность воды, рассматривая пробирку сверху на тёмном фоне при достаточном боковом освещении.
3. Запишите результат.

1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ

В случаях, когда вода имеет незначительные окраску и мутность и их определить трудно, пользуются показателем «прозрачность». Под **прозрачностью** воды понимается её способность пропускать свет и делать видимыми предметы, находящиеся на определённой глубине. Прозрачность воды определяется количеством содержащихся в ней механических и химических примесей.

Мутная вода всегда подозрительна в эпидемиологическом отношении, т. к. в ней создаётся питательная среда для различных микроорганизмов, а значительная мутность препятствует свободному проникновению вглубь водоема солнечных ультрафиолетовых лучей и их бактерицидному действию на микроорганизмы.

Мерой прозрачности служит высота столба воды, при которой можно различать на белой бумаге шрифт (высота 3,5 мм, ширина 0,35 мм, либо чёрный крест) (Рис. 5). Результаты выражаются в сантиметрах.

¹ Опалесцирующая вода – вода, в которой при просвечивании появляется оттенок перламутра, обусловленный взвешенными в воде тонкодисперсными веществами.



Рис. 5. Определение прозрачности воды

Прозрачность питьевой воды должна быть не менее 30 см, а воды плавательных бассейнов – 20 см.

Порядок выполнения работы (Рис. 5)

1. Пробу тщательно перемешайте и поместите в стеклянный цилиндр.

2. Установите цилиндр на высоте около 4 см над образцом шрифта.
3. Наблюдая сверху через столб воды, определите высоту столба, позволяющего чётко видеть шрифт (метку). Измеренное значение прозрачности (т. е. столба воды) записывайте с точностью до 1 см.

Такие параметры, как «Прозрачность» и «Мутность» очевидно коррелируют друг с другом. Примерная корреляция представлена в Табл. 4.

Табл. 4. Таблица перевода прозрачности в мутность

Прозрачность, см	Мутность, мг/л	Прозрачность, см	Мутность, мг/л
2	745	16	48
4	360	18	34
6	250	20	22
8	190	22	14
10	140	24	10
12	100	26	8
14	70	28	6
		30	3

1.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ ВОДЫ

Питьевая вода должна быть бесцветной. Окраска воды, как и её мутность, делает воду неприятной для питья. Совершенно бесцветная вода встречается редко (например, в подземных водоносных слоях). В открытых водоёмах вода обычно имеет тот или иной оттенок. Желтоватый оттенок чаще всего свидетельствует о наличии в воде солей железа или гуминовых веществ, образующихся в процессе гниения или разложения растительных остатков. Он характерен для воды болот. Зеленоватый цвет воде придают микроводоросли.

Цветность воды определяют визуально (или фотометрически), сравнивая окраску пробы с окраской специальных стандартных растворов, которые называются «платино-кобальтовой шкалой» или «шкалой цветности».

Табл. 5.

Цветность	Единицы измерения – градус платино-кобальтовой шкалы
Очень малая	До 25
Малая	Более 25 до 50
Средняя	Более 50 до 80
Высокая	Более 80 до 120
Очень высокая	Более 120

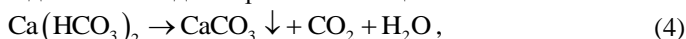
Порядок выполнения работы

1. Заполните пробирку водой до высоты 10–12 см.
2. *При отсутствии специальных стандартных растворов, которые называются «платино-кобальтовой шкалой», проведём эксперимент качественно (а не количественно).*
3. Определите цветность воды, рассматривая пробирку сверху на белом фоне при хорошем боковом освещении. Отметьте наиболее подходящий оттенок («слабо-желтоватая», «светло-желтоватая», «жёлтая», «интенсивно жёлтая», «коричневая»).
4. Запишите результат.

2. ЖЁСТКАЯ И МЯГКАЯ ВОДА

Воду называют **жёсткой**, если в ней содержится большое количество солей. Такое название возникло исторически из-за того, что ткани, постиранные в жёсткой воде, становились более жёсткими на ощупь. Чаще всего понятие жёсткости связывают с наличием в воде двухвалентных катионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}), хотя все двухвалентные катионы в той или иной степени влияют на жёсткость. Они взаимодействуют с анионами, образуя соединения (соли жёсткости), способные выпадать в осадок. Одновалентные катионы (например, натрий Na^+) таким свойством не обладают. Различают **временную** (карбонатную) жёсткость, обусловленную гидрокарбонатами кальция и магния $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, и **постоянную** (некарбонатную) жёсткость, вызванную присутствием других солей, не выделяющихся при кипячении воды: в основном, сульфатов и хлоридов Ca и Mg (CaSO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 , MgCl_2). Временная жёсткость устраняется кипячением. Например, при

нагреве воды гидрокарбонаты распадаются с образованием угольной кислоты и выпадением в осадок карбоната кальция:



При этом карбонаты кальция могут оседать на термоэлементах в виде накипи. Постоянная жёсткость кипячением не устраняется.

Таким образом, **общая жёсткость** складывается из **временной** и **постоянной**.

2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ЖЁСТКОСТИ ВОДЫ

Определить общую жёсткость можно с помощью прибора – **солемера**. Принцип его действия основан на измерении проводимости воды. Возможен также химический метод определения жёсткости воды.

Существует несколько единиц измерения жёсткости воды. В системе СИ используется моль на кубический метр (моль/м³), однако, на практике для измерения жёсткости используются градусы жёсткости и миллиграмм-эквиваленты на литр (мг-экв/л).

По степени жёсткости вода бывает: **мягкая**, если общая жёсткость её до 10° или до 3 мг-экв/л; **средней жёсткости**, если общая жёсткость её до 20° или до 7 мг-экв/л; **жёсткая**, если общая жёсткость её до 40° или до 14 мг-экв/л; **очень жёсткая**, если общая жёсткость её выше 40° или выше 14 мг-экв/л. Очень жёсткая вода имеет неприятный вкус, может ухудшать течение почечнокаменной болезни.

В разных странах используются разные (национальные) единицы выражения жёсткости (Табл. 6).

Табл. 6.

Единицы жёсткости					
ммоль/кг	немецкий градус, Н°	французский градус, τ°	американский градус, °	английский градус, °	ppm (мг/дм ³) CaCO ₃
1,000	2,804	5,005	50,05	3,51	50,05

Соотношение некоторых единиц жёсткости – см. Табл. 7.

Табл. 7.

10 Ж	более 500 ppm	более 0,5 г солей в 1 л воды	жёсткая, постоянное употребление воды опасно для здоровья
------	---------------	------------------------------	---

> 7 Ж	более 350 ppm	более 0,35 г солей в 1 л воды	жёсткая, неочищенная вода из источника или природного водоёма
> 5 Ж	более 250 ppm	более 0,25 г солей в 1 л воды	жёсткая, неочищенная водопроводная вода
> 3 Ж	более 150 ppm	более 0,15 г солей в 1 л воды	удовлетворительное состояние воды, после очистки фильтром или с родника
< 1,5 Ж	менее 75 ppm	менее 0,075 г солей в 1 л воды	идеальная вода для питья

Порядок выполнения работы

1. Пользуясь солемером и таблицей, определите общую жёсткости водопроводной, кипячёной, минеральной и дистиллированной воды.
2. Запишите результат.
3. Сделайте выводы.

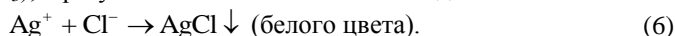
Лабораторная работа 3

КАЧЕСТВЕННЫЙ И ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВОДЫ НА ПРИСУТСТВИЕ ИОНОВ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИДОВ

Хлориды присутствуют практически во всех водах. В основном это связано с вымыванием из горных пород хлорида натрия NaCl (поваренной соли). Хлориды натрия содержатся в значительных количествах в воде морей, а также некоторых озёр и подземных источников. Большое содержание хлоридов возможно при прохождении водоносного горизонта через солончаковые почвы, загрязнении воды сточными водами (экскрементами человека и животных, мочой, кухонными отбросами). Согласно нормативам содержание хлоридов в воде не должно превышать 350 мг/л. Содержание хлоридов в воде свыше 350 мг/л придаёт воде солёный вкус. Значительное содержание хлоридов, аммиака, высокая окисляемость в сочетании с неблагоприятными бактериологическими показателями указывают на санитарное неблагополучие водоисточника.

Для определения присутствия хлоридов, в воду добавляют нитрат серебра (AgNO₃), в результате появляется белый осадок:



Порядок выполнения работы

Исследуйте несколько проб воды (водопроводная, бутилированная, минеральная) на содержание хлоридов.

1. К 5 мл исследуемой воды 3 капли 10 % раствора азотнокислого серебра (AgNO₃). Появление осадка или мути указывает на наличие анионов хлора.
2. С помощью Табл. 8 проведите полуколичественное определение хлоридов.

Табл. 8.

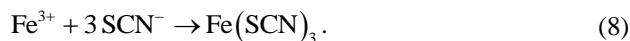
Характеристика осадка или муты	Содержание хлоридов, мг/л
Опалесценция (резкое усиление рассеяния света) или слабая муть	1÷10
Сильная муть	10÷50
Образуются хлопья, осаждаются не сразу	50÷100
Белый объёмистый осадок	Более 100

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА

В воде могут находиться соединения железа (II) и железа (III). Большие количества растворённого в воде железа не оказывают вредного влияния на здоровье людей, но такая вода непригодна для хозяйственно-бытовых целей. Повышенное содержание железа вызывает окрашивание, помутнение, придаёт воде запах сероводорода, неприятный чернильный привкус, а в сочетании с гуминовыми соединениями – болотный привкус. Колонии железобактерий могут закупорить трубопроводы. Вода с повышенным содержанием железа не пригодна для использования в ряде отраслей промышленности.

Санитарными нормами установлена для воды водопроводов ПДК железа, равная 0,3 мг/л. Для воды местных источников водоснабжения допускается содержание железа до 0,5-0,6 мг/л. Для водопроводов, подающих воду без специальной обработки, по согласованию с ГСЭН, допускается содержание железа до 1 мг/л (Табл. 9).

Для определения ионов железа в воде используют раствор роданида калия. Если в воде присутствуют ионы трёхвалентного железа, возникает роданид железа $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ и раствор окрашивается в кроваво-красный цвет.



Исследуйте несколько проб воды (водопроводная, бутилированная, минеральная) на содержание железа.

Порядок выполнения работы

1. Налейте 1/3 пробирки испытуемой воды и добавьте несколько ка-

пель азотной (или соляной) кислоты (для создания кислой среды и для окисления двухвалентного железа в трёхвалентное) и прибавьте 5 капель 10 % раствора роданида калия KCNS.

2. При наличии ионов Fe^{3+} появляется красное окрашивание (табл. 9).

Табл. 9.

Цвет раствора	Желтовато-красный	Красный	Ярко-красный
Содержание Fe^{3+} , мг/л	0,4÷1,0	1,1÷3,0	3,1÷10,0

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФАТОВ

Материалы и оборудование

Химический стакан объёмом 100 см³, мерный цилиндр объёмом 100 см³, раствор соляной кислоты (1:5), раствор молибдата аммония, раствор хлорида олова, мерные пипетки объёмом 5 см³.

Порядок выполнения работы

В химический стакан объёмом 100 см³ налейте 50 см³ пробы воды, добавьте 1 см³ соляной кислоты (1:5), 1 см³ раствора молибдата аммония и по каплям введите раствор хлорида олова (всего 3 капли).

По интенсивности окраски полученного раствора оцените количество фосфат-ионов в исследуемой воде (Табл. 10).

Табл. 10. Данные для определения содержания фосфатов в воде

Характеристика осадка или мутности	Содержание фосфатов, мг/л
Светло-голубая	0,1-10
Голубая	10-45
Синяя	Более 45

Содержание ионов в воде должно удовлетворять нормативным показателям (см. Табл. 11).

Табл. 11.

Показатель	Нормативные показатели		
	Цели водопользования		
	Хозяйственно-питьевые	Коммунально-бытовые	Рыбохозяйственные
Запах	Не более 2 баллов		
Цветность	Не более 20 °	Не более 40 °	Вода не должна приобретать посторонней окраски
рН	6,5÷8,5		
Содержание сульфатов	500 мг/л		100 мг/л
Содержание хлоридов	350 мг/л		300 мг/л
Содержание фосфатов	45 мг/л		0,2 мг/л
Содержание железа	1,0 мг/л		0,1 мг/л

Лабораторная работа 4

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРОБ ВОДЫ

Определить наличие примесей в воде можно спектрально-люминесцентным методом. Это связано с тем, что молекулы примесей могут поглощать и излучать свет различных длин волн. Если нам известно, в каких диапазонах длин волн и насколько интенсивно вещество поглощает или испускает свет, мы можем судить о том, присутствует ли оно в воде и в каком количестве.

1. **Спектр поглощения вещества** - это зависимость интенсивности поглощения от длины волны света, падающего на вещество. На рисунке 6 приведены спектры поглощения важных биологических соединений. Видно, что их спектры поглощения находятся в ультрафиолетовой (200-400 нм) и видимой (400-700 нм) части спектра.

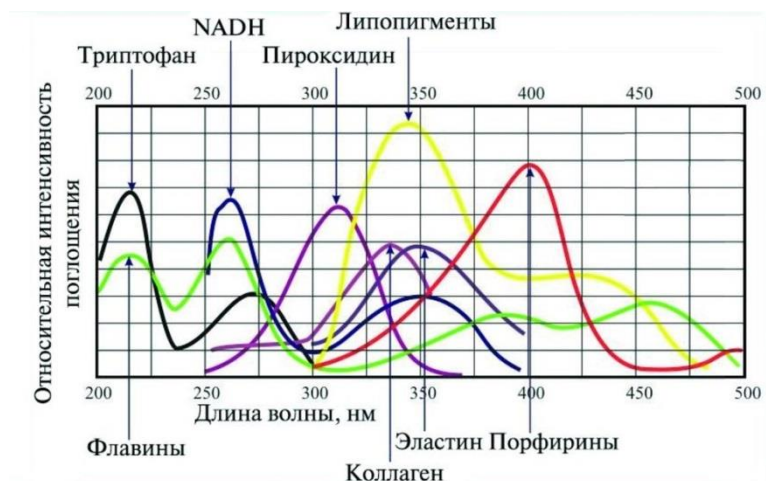


Рис.6.

В этом же диапазоне длин волн находятся и спектры поглощения большинства других органических молекул. В то же время чистая вода в этой спектральной области не поглощает свет. Поэтому если в спектре

поглощения воды в УФ и видимом диапазоне наблюдаются полосы – значит, они принадлежат каким-либо примесям.

Принципиальная схема установки для наблюдения спектра поглощения показана на рис. 7.

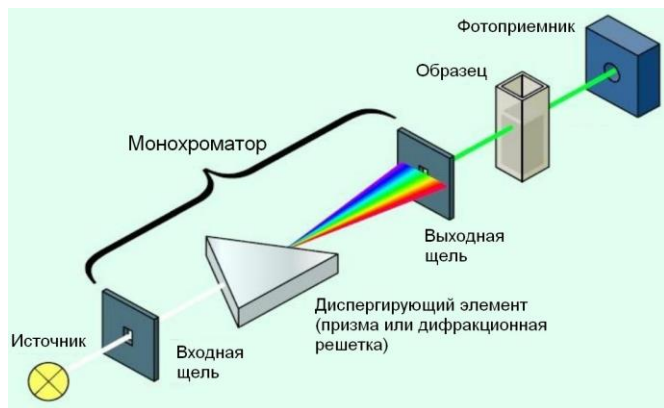


Рис.7.

Свет от источника попадает в монохроматор (устройство, выделяет в падающем свете определенную длину волны), затем на кювету с образцом, а затем в фотоприемник (устройство, преобразующее свет в электрический ток). Отношение интенсивности прошедшего через кювету света I к интенсивности падающего на кювету света I_0 можно измерить. Таким образом, выделяя монохроматором различные длины

волн в выбранном нами диапазоне и измеряя для них отношение $\frac{I}{I_0}$,

получают спектр пропускания образца.

Для растворов, согласно закону Бугера-Ламберта-Бера:

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-D} \quad (1)$$

Величина D называется **оптической плотностью раствора**. Она показывает, во сколько раз ослабляется свет определенной длины волны, после прохождения через кювету с образцом. К примеру, если $D = 3$ то это означает, что свет был ослаблен в $10^3 = 1000$ раз, а если D близко к нулю, свет практически не поглощается образцом. Оптическая плотность зависит от концентрации растворенного вещества, толщины кюветы

ты, в которой записывается спектр, и от способности молекул вещества поглощать свет:

$$D = cl\varepsilon \quad (2),$$

где c – концентрация растворенного вещества (моль/л), l – толщина кюветы, ε – молярный коэффициент экстинкции (величина, характеризующая поглощательную способность молекул образца). Спектр поглощения раствора может быть представлен в виде зависимости оптической плотности от длины волны света, падающего на образец. Исследование характеристик поглощения различных веществ называется спектрофотометрией.

Спектрофотометрический метод обладает высокой чувствительностью. Многие органические молекулы (особенно ароматические) имеют довольно высокие значения ε ($10^4 - 10^5$ л/моль·см), а современные приборы для регистрации спектров поглощения (их называют спектрофотометры) способны регистрировать оптическую плотность порядка $D = 0,01$. Стандартная кювета для спектрофотометрии имеет толщину 1 см. Следовательно, минимальная концентрация, определяемая спектрофотометрическим методом, составляет около 10^{-7} моль/л (см. формулу 2).

2. Спектр люминесценции.

Люминесценция — это нетепловое (не связанное с тепловым движением атомов и молекул) излучение света веществами, происходящее после поглощения энергии. В зависимости от того, каким образом веществу передана энергия, выделяют различные виды люминесценции:

Таблица 12.

Виды люминесценции	Как передана энергия возбуждения
Фотолюминесценция	Поглощение света УФ и видимого диапазонов
Катодолюминесценция	Удары быстрых электронов
Электролюминесценция	Электрический разряд
Хемилюминесценция	Химические реакции
Рентгенолюминесценция	Рентгеновское излучение
Биолюминесценция Свечение некоторых живых организмов (вид хемилюминесценции)	Биоимические реакции

С явлением люминесценции мы постоянно встречаемся в окружающем нас мире. Свечение рекламных огней в газоразрядных трубках (рис 8) – пример **электролюминесценции**. В таких трубках присутствуют анод и катод, между которыми летят электроны. Трубка заполнена газом. Электрон, при столкновении с электронной оболочкой атома газа, не ионизирует атом, а передает ему часть своей энергии. Атом переходит в состояние с повышенной энергией, которое называется **возбужденным**. В этом состоянии атом находится обычно несколько наносекунд. Затем возбужденный атом релаксирует, то есть переходит в основное, не возбужденное состояние, испуская при этом энергию в виде излучения. Так, например, пары ртути излучают зеленовато-фиолетовый свет, пары натрия — желтый, аргон — розовый, неон — оранжевый свет и т. д.



Рис.8.

В природе мы можем наблюдать **биолюминесценцию** - свечение гниющего дерева, некоторых грибов и выброшенных на берег рыб, фонарики жучков-светлячков (Рис.9). Наиболее распространенная биохимическая реакция, результатом которой является свечение, - это окисление в организме кислородом сложного вещества люциферина и передача образовавшейся при этом энергии другому веществу - люциферазе. Она то и излучает видимый «живой» свет. Некоторые организмы светятся сами, свечение других происходит за счёт поселившихся на них светящихся бактерий. Мореплователи могут наблюдать свечение поверхности моря ночью (рис. 10). Оказывается, свет излучают миллиарды существ

диаметром 2 – 3 мм, известных под названием ночесветок. Но чаще всего светящиеся живые существа встречаются в морских глубинах.



Рис.9.



Рис.10.

В нашей работе мы будем изучать **фотолюминесценцию**, при которой молекулы вещества возбуждаются светом. Если известен спектр поглощения раствора, то мы знаем, на какой длине волны молекулы сильнее поглощают (где расположен максимум поглощения). При облучении на этой длине волны молекулы переходят в возбужденное состояние, а затем испускают свет, переходя в основное. Обычно длина волны испускаемого света больше, чем поглощенного. Например, вещество может поглощать ультрафиолетовое излучение, а люминесцировать в видимой части спектра. Это свойство некоторых красок используют для защиты от подделок документов и денежных купюр (рис.11).



а



б

Рис.11 Банкнота, освещенная видимым (а) и ультрафиолетовым (б) светом.

Зависимость интенсивности (яркости) излучения от длины волны (при фиксированной длине волны возбуждения) называется **спектром испускания люминесценции**. Длины волн люминесценции больше-

ства органических и биологически важных соединений (например белки, ДНК) лежат в ультрафиолетовой и видимой части спектра. Чистая вода в этой области не люминесцирует, поэтому люминесцентный метод эффективно используется для определения наличия органических примесей.

Люминесцентные методы обладают еще более высокой чувствительностью, чем методы фотометрии. По спектрам люминесценции можно выявлять наличие и определять концентрацию вещества в растворе (для некоторых веществ чувствительность позволяет определять концентрации до 10^{-10} моль/л), судить о межмолекулярных взаимодействиях и взаимодействии молекул вещества с растворителем.

Цель работы: провести спектрально-люминесцентный анализ чистоты воды из разных источников.

Приборы и материалы: спектрофлюориметр ФЛЮОРАТ-02-ПАНОРАМА (рис.12), кварцевые кюветы шириной 1 см, различные пробы воды: спектрально-чистая бидистиллированная вода, питьевая бутилированная вода, водопроводная вода, вода из природных водоемов.



Рис. 12. Спектрофлюориметр ФЛЮОРАТ-02-ПАНОРАМА.

Порядок выполнения работы

1. Перед выполнением работы ознакомьтесь с описанием программного обеспечения и правилами работы на спектрофлюориметре ФЛЮОРАТ-02-ПАНОРАМА.

2. Пропишите спектры пропускания образцов, начиная с бидистиллированной воды.
3. Используя встроенный калькулятор, определите оптическую плотность образцов в области 240-500 нм (спектр бидистиллированной воды считайте фоном), и получите спектры поглощения (зависимость оптической плотности от длины волны). Проанализируйте полученный результат. Оцените, в какой из проб максимальное количество примесей.
4. Пропишите спектры люминесценции образцов. Длина волны возбуждения должна быть равна той длине волны, при которой образец имеет максимальную оптическую плотность. Сравните с соответствующими спектрами бидистиллированной воды.
5. Сделайте выводы о наличии и природе примесей в пробах. Расположите их по степени чистоты.

Контрольные вопросы

- ? Что такое люминесценция? Какие виды люминесценции бывают?
- ? Что такое оптическая плотность?
- ? Чему равна оптическая плотность жидкости, если после прохождения сквозь кювету с этой жидкостью, свет ослабился в 100 раз?