

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)**

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«УЧЕНИЕ О ГИДРОСФЕРЕ»

Направление подготовки 05.04.06 Экология и природопользование

Разработчик: доцент, к.т.н. Манвелова Н.Е.

Санкт-Петербург

2018

Лабораторная работа №1

«Определение наличия ионов металлов в поверхностных водах»

Цель выполнения работы: применяя стандартные методики, определить в отдельных образцах поверхностных вод наличие ионов металлов (Fe^{3+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+}); используя справочные данные, установить, какая вода является наиболее токсичной для живых организмов водных экосистем.

Оборудование, реактивы, материалы:

- набор пробирок, пипетки;
- модельные растворы ($C_{\text{г-г}} = 0,1$ моль/л): FeCl_3 , CaCl_2 , CuCl_2 , $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$;
- реактивы-индикаторы ($C_{\text{г-г}} = 0,5$ моль/л): $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$, HCl , $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, KJ ; $\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{конц.})}$;
- образцы поверхностных вод: № 1, № 2, № 3.

Вода является универсальным растворителем. Природные воды, контактируя с горными породами, почвой, растворяют минеральные и органические соединения и переносят их на большие расстояния. Химические соединения попадают в природные воды в больших количествах и со стоками предприятий.

Присутствие в воде водоемов следов ионов металлов: Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} и др. играет жизненно важную роль в обменных процессах в биоценозах. При повышении концентрации соединений металлов выше допустимой нормы (табл. 5) они становятся токсичными по отношению к живым организмам. К наиболее токсичным относятся соединения ртути Hg^{2+} , кадмия Cd^{2+} , свинца Pb^{2+} . Микроорганизмы водоема переводят ионы металлов в металлорганические соединения, которые легко усваиваются тканями рыб, что может привести к их массовой гибели или представлять угрозу здоровью человека в случае употребления рыбы в пищу. Соединения токсичных металлов попадают также в донные отложения и нарушают биологическую активность донного населения водоема.

Предельно допустимые концентрации некоторых ионов металлов
в водоемах рыбохозяйственного водопользования

Ингредиент	Лимитирующий показатель вредности	ПДК, мг/л
Hg ²⁺	Токсикологический	0,001
Ca ²⁺	Общесанитарный	180
Cd ²⁺	Токсикологический	0,005
Co ²⁺	«	0,01
Cu ²⁺	«	0,001
Ni ²⁺	«	0,01
Fe ³⁺	Санитарно-токсикологический	0,05
Pb ²⁺	Токсикологический	0,1
Zn ²⁺	«	0,05
Cr ³⁺	«	0,001

Последовательность выполнения работы

Провести качественные реакции на ионы: Ca²⁺, Fe³⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, используя модельные растворы. Для проведения опытов воспользоваться данными табл. 2, графу «наблюдения» заполнить самостоятельно.

В лабораторный журнал перенести табл. 2.

В отдельную пробирку поместить 5 капель раствора соли конкретного металла, подобрав модельный раствор по табл. 2. Определить реактив-индикатор и поместить в пробирку с модельным раствором нужное количество капель. Записать наблюдения: появление осадка, его цвет, растворение осадка при дальнейшей обработке или изменение его цвета.

Пользуясь данными табл. 2, в каждом из образцов поверхностных вод провести качественные реакции на ионы металлов: Ca²⁺, Fe³⁺, Cu²⁺, Pb²⁺. Опыты выполнять в отдельных пробирках, помещая в них по 1 мл пробы воды, количество капель реактива-индикатора взять из табл. 2. Полученные результаты занести в табл. 3.

Таблица 2

Качественные реакции на ионы некоторых металлов

Определяемый ион Me^{n+}	Модельный раствор (формула)	Количество капель	Реактив-индикатор			Наблюдения
			Формула (название)	Количество капель	Уравнения реакций	
Ca^{2+}	$CaCl_2$	5	$(NH_4)_2C_2O_4$ (оксалат аммония)	2–4	$CaCl_2 + (NH_4)_2C_2O_4 = CaC_2O_4 \downarrow + 2NH_4Cl$;	
			HCl (добавить к осадку)	5–6	$CaC_2O_4 \downarrow + 2HCl = CaCl_2 + H_2C_2O_4$	
Fe^{3+}	$FeCl_3$	5	$K_4[Fe(CN)_6]$ (гексоцианоферрат калия)	2	$4FeCl_3 + 3 K_4[Fe(CN)_6] = Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 12KCl$.	
Cu^{2+}	$CuCl_2$	5	$K_4[Fe(CN)_6]$ (гексоцианоферрат калия)	2–3	$2CuCl_2 + K_4[Fe(CN)_6] = Cu_2[Fe(CN)_6] \downarrow + 4KCl$.	
			NH_4OH (добавить к осадку)	3–4		
Pb^{2+}	$Pb(CH_3COO)_2$	5	KJ	2–3	$Pb(CH_3COO)_2 + 2 KJ = PbJ_2 \downarrow + 2CH_3COOK$.	

Таблица 3

Результаты наблюдений

Определяемые ионы металлов в воде	Образец поверхностных вод		
	№ 1	№ 2	№ 3
Ca^{2+} Fe^{3+} Cu^{2+} Pb^{2+}			
Заключения по качеству поверхностных вод			

ВЫВОД: на основании проведенных исследований и данных табл. 5 сделать вывод: какая из рассматриваемых поверхностных вод наименее токсична к биоценозу водоема, какая – наиболее токсична?

Литература:

1. Федорова, А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А. И. Федорова, А. Н. Никольская. – М. : ВЛАДОС, 2001. – 285 с.
2. Мазур, И. И. Курс инженерной экологии / И. И. Мазур, О. И. Молдаванов. – М. : Высш. шк., 1999. – 446 с.
3. Николайкин, Н. И. Экология / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – М. : Дрофа, 2003. – 621 с.
4. Денисов, В. В. Экология: 100 экзаменационных ответов / В. В. Денисов, И. А. Денисова. – М. : ИЦК МарГ, 2003. – 285 с.
5. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». – М. : Госсанэпидемнадзор России от 26.01.2001.
6. Кульский, Л. А. Теоретическое обоснование технологии очистки воды (классификация примесей воды и выбор методов ее очистки) / Л. А. Кульский. – Киев : Наукова думка, 1968. – 196 с.
7. Тимофеева, С. С. Экология : практикум / С. С. Тимофеева, Ю. В. Шешуков. – Иркутск : Иркутский ГТУ, 1997. – 68 с.

Лабораторная работа № 2

«Определение органолептических и физических показателей питьевой воды и модельной воды природного источника воды»

Цель выполнения работы: определить физические и органолептические показатели питьевой воды (запах, мутность, цветность, рН), установить соответствие полученных данных санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам (СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения»); провести определение физических и органолептических: запах, мутность, цветность, рН, температура воды природного источника (модельной).

Оборудование, реактивы, материалы:

- набор пробирок 20 шт.,
- штатив для пробирок;
- мутномерная пробирка бесцветная прозрачная высотой 15-20 см - 1 шт;
- образец шрифта для определения мутности;
- лист темной бумаги (в качестве фона);
- ртутный термометр;
- стакан стеклянный на 150 мл – 2 шт.
- бумажные фильтры (белая, синяя лента);
- универсальная индикаторная бумага.
- пробирка бесцветная прозрачная высотой 15-20 см – 1 шт.;
- лист белой бумаги (в качестве фона).
- воронка лабораторная,
- пробирка колориметрическая с пробкой (2 шт.),
- штатив для пробирок

- фильтры «синяя лента».
- хром-кобальтовая шкала цветности в виде модельных эталонных растворов (0; 10, 20; 30; 40; 60, 100, 300, 500 градусов цветности)
- пленочный вариант контрольной шкалы «Цветность» (0; 30; 100; 300, 1000 градусов цветности);
- исследуемые пробы воды в склянках
- № 1 - проба питьевой воды;
- № 2 - проба воды, отобранной из природного источника (модельная).

Для водоснабжения используют поверхностные воды рек, озер, каналов, водохранилищ и прудов, а также подземные воды. Особенностью всех поверхностных вод являются сезонные колебания их состава, что в свою очередь проявляется в изменении таких показателей качества воды как: мутность, цветность, щелочность, жесткость, температура.

Состав питьевой воды определяется совокупностью физико-географических условий (климат, рельеф местности, почвенный покров, характер растительности) и деятельностью человека (строительство ГЭС, регулирование стока, сброс сточных вод и пр.).

Выделяют три группы показателей, определяющих качество питьевой воды:

А – характеризующие органолептические свойства;

Б – характеризующие химический состав воды;

В – характеризующие эпидемиологическую безопасность.

К основным физическим и органолептическим показателям питьевой воды относятся: **запах, мутность, цветность, прозрачность, pH (водородный показатель), температура.**

Органолептические свойства нормируются по интенсивности их восприятия человеком – это запах, привкус, цветность, прозрачность, мутность, температура, примеси (пленка, водные организмы, пена).

Температура. Этот показатель зависит от происхождения источника водоснабжения, времени года. Температуру определяют сразу после отбора пробы или непосредственно в водоеме термометром с ценой деления 0,1 °С. Термометр в измеряемой воде держат в воде не менее 5 минут.

Мутность. Вода бывает мутной из-за присутствия в ней взвешенных частиц: глины, песка, ила, органических взвесей, недостаточного качества очистки.

Существует несколько методов определения мутности воды: весовой, визуальный (сравнение мутности исследуемой воды со стандартным образцом), фотоэлектроколориметрический (основан на способности взвешенных частиц рассеивать свет).

Прозрачность воды характеризуется её свойством пропускать свет (светопропусканием). Ослабление светопропускания вод обусловлено окраской и мутностью, т.е. содержанием в ней различных окрашенных веществ, а также взвешенных веществ и микрообъектов.

Мерой прозрачности является высота столба воды, при которой ещё можно наблюдать опускаемую белую пластину определенных размеров (диск Секки) или различать на белой бумаге фигуру определенного размера и типа (черную крестообразную метку либо шрифт средней жирности высотой 3,5 мм). Результаты выражаются в метрах или в сантиметрах с указанием способа измерения.

Значение мутности воды и прозрачности воды взаимосвязаны и взаимозависимы. Прозрачность воды определяют наряду с мутностью.

Запах. В зависимости от происхождения запахи делят на две группы:

1-я – запах естественного происхождения (от живущих и умирающих в воде организмов, влияния берегов, дна, срубов колодцев, состояния водопроводной сети);

2-я – запах искусственного происхождения (от обработки водопроводной воды реагентами, длительного хранения и пр.).

Запахи первой группы определяют при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, второй – при $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Запахи воды определяют по классификации, представленной в табл. 1.

Чистая природная и питьевая вода запахов не имеет.

Интенсивность запаха (вкуса) воды определяют по 5-балльной шкале (Табл 1).

Таблица 1

Классификация запахов воды

Символ	Характеристика
А	Ароматный
Б	Болотный
Г	Гнилостный
Д	Древесный
З	Землистый
П	Плесневелый
Р	Рыбный
С	Сероводородный
Т	Травянистый
Н	Неопределенный
Х	Хлорный

Таблица 2

Интенсивность запахов (вкуса)

Балл	Запах (вкус)	Описание определения
0	Отсутствует	Не ощущается
1	Очень слабый	Обнаруживается только опытным исследователем
2	Слабый	Обнаруживается потребителем только в том случае, если указать на него
3	Заметный	Обнаруживается потребителем, вызывает его неодобрение
4	Отчетливый	Обращает на себя внимание и делает воду не пригодной для питья

5	Очень сильный	Делает воду совершенно не пригодной для питья
---	---------------	---

Цветность. Это природное свойство воды, обусловленное наличием гуминовых веществ, которые придают ей окраску от желтоватого до коричневого цвета. Гуминовые вещества, образующиеся при разрушении органических соединений в почве, вымываются из нее и поступают в водоемы. В некоторых случаях цветность воды повышается из-за ненадлежащего качества очистки воды.

Чистая вода в малом объеме бесцветна, в толстом слое – голубоватого оттенка. Иные оттенки свидетельствуют о наличии в воде различных растворимых и взвешенных примесей.

Цветность воды определяется в *градусах цветности* колориметрическим методом: путем сравнения цвета исследуемой воды с эталонной шкалой (хромат-кобальтовой), имитирующей эту окраску.

Вода, имеющая цветность < 20 градусов, считается бесцветной.

pH (концентрация ионов водорода или активная реакция воды).

Водородный показатель выражают величиной *pH*, представляющей собой десятичный логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком:

$$pH = -\lg C_{H^+} \quad (1)$$



pH определяют в интервале от 1 до 14.

pH большинства природных вод находится в пределах от 6,5 до 8,5 и зависит от соотношения концентраций свободного диоксида углерода (CO_2) и бикарбонат-иона (HCO_3^-). Более низкие значения *pH* могут наблюдаться в кислых болотных водах. Летом при интенсивном фотосинтезе *pH* может

повыситься до 9,0. Данный показатель является индикатором загрязнения открытых водоемов при выпуске в них кислых или щелочных сточных вод.

Качество питьевой воды, по СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения», представлено в табл. 3.

Таблица 3

СанПиН 2.1.4.1074-01

Запах	Мутность	Цветность	pH
≤ 2 балла	≤ 1,5 мг/л	≤ 20 град	6,5–8,5

Последовательность выполнения работы

♦ Опыт № 1. Определение запаха питьевой воды

В пробе воды определить вид и интенсивность запаха при температуре 20 и 60 °С.

В коническую колбу объемом 250 мл на 2/3 ее объема налить воды из-под крана, предварительно слив первые порции, накрыть часовым стеклом или калькой, взболтать вращательными движениями, открыть и понюхать воду. Оценить вид и интенсивность запаха по табл. 1, 2.

Эту же колбу закрыть плотно калькой и на водяной бане поднять температуру воды до 60 °С. Воду взболтать вращательным движением, снять кальку и втянуть носом воздух из колбы. Оценить вид и интенсивность запаха нагретой воды.

Результаты выполненного определения записать в таблицу 5.

♦ Опыт № 2. Определение мутности питьевой воды

Определение проводится визуальным методом.

Визуальный метод является простейшим для определений в лабораторных и полевых условиях. Согласно этого метода характеризуют зрительно воспринимаемую мутность пробы воды в мутно мерной пробирке,

при высоте столба 10-12 см. Данный метод применяется для малозагрязненных вод.

Определение мутности основано на определении прозрачности путем измерения максимальной высоты водяного столба, при которой можно визуально различить черный шрифт (высота 3,5 мм, ширина 0,35 мм) или юстировочную метку (черный крест на белом фоне).

Определение мутности воды (качественное)

Заполнить пробирку водой до высоты 10-12 см.

Определить мутность воды, рассматривая пробирку сверху на темном фоне при достаточном боковом освещении.

Выбрать определение мутности наиболее подходящее из приведенных в таблице 4.

Таблица 4.

Перечень типов характеристик для определения мутности воды (качественного)

- Мутность не заметна (отсутствует)
- Слабо опалисцирующая
- Опалисцирующая
- Слабомутная
- Мутная
- Очень мутная

Результаты определений внести в таблицу 5.

♦ Опыт № 3. Определение цветности питьевой воды

Цветность воды определяется визуально по хромат-кобальтовой шкале цветности.

Выполнение определения цветности

1. Ополаскивают колориметрическую пробирку 2-3 раза анализируемой водой.

2. Наполняют пробирку пробой воды так, чтобы до верхнего края пробирки оставалось 0,3-0,5 см.

3. Удерживая пробирку рукой в вертикальном положении, закройте ее пробкой. Убедитесь в плотном прилегании пробки.

4. Извлеките образцы модельных эталонных растворов из упаковки и расположите их на ровной поверхности **пробкой вниз**.

5. Проведите колориметрирование пробы. При визуальном колориметрическом определении пробирку с анализируемой водой переверните пробкой вниз и сравните окраску исследуемого образца с пленочной контрольной шкалой образцов окраски проб для визуального колориметрирования «Цветность» либо с окраской модельных эталонных растворов.

6. Окраску наблюдают сверху вниз, на белом фоне, при достаточном освещении.

7. Для исследуемого образца определите ближайшее по окраске поле пленочной шкалы или ближайший образец окраски эталонного раствора и соответствующее ему значение в градусах цветности.

8. При заметном загрязнении взвешенными частицами пробы воды, например, отобранной из природного источника (или модельной) её предварительно отфильтровывают, взяв небольшое количество пробы воды и используя стаканчик на 50 мл, воронку и фильтры.

9. Затем выполняют определение цветности воды согласно п.п. 1-7.

Примечание: Если цвет и оттенок образца воды не соответствуют модельным эталонным образцам хром-кобальтовой шкалы, то эти показатели оценивают качественно, например: окраска образца красновато-коричневая.

Более точно цветность можно определить на фотоэлектроколориметре «Экотест-2020». Растворы с различной цветностью анализируют в кюветах длиной 10 мм в синей части спектра на фоне дистиллированной воды. Значения определяются по калибровочному графику хромат-кобальтовой шкалы цветности, построенной предварительно лаборантом.

При цветности воды выше 35градусов водопотребление ограничивается.

♦ **Опыт № 4. Определение pH питьевой воды**

Для определения pH воды используется универсальная индикаторная бумага. С ее помощью можно определить pH с точностью до 0,2–0,3.

В пробирку налить исследуемую воду, намочить полоску универсальной индикаторной бумаги, сравнить ее цвет со шкалой и определить значение pH питьевой воды.

Данные, полученные по определению pH воды, занести в таблицу 5.

♦ **Опыт № 5. Определение температуры питьевой воды**

В стакан на 100 мл налить исследуемую воду, внести термометр, держать его в течение 5 мин. и определить значение температуры питьевой воды t , °С.

Таблица 5

Показатели качества исследуемой питьевой воды и воды природного источника (модельной)

Образец	Запах				Мутность D_i / M_i , мг/л	Цветность, град.	pH	t , °С
	Вид при t , °С		Интенсивность при t , °С, баллы					
	20	60	20	60				
Исследуемая питьевая вода								
СанПин 2.1.4.1074-01								
Исследуемый образец воды, отобранной из природного источника (модельный)								

Сделать вывод по выполненным определениям, включающий оценку качества исследованных образцов водопроводной воды на соответствие с СанПиН 2.1.4.1074-01; по каким показателям исследованная вода

соответствует и / или не соответствии регламентированным требованиям?
Определить возможность использования воды природного источника для целей водоподготовки.

Вывод:

Вопросы для проверки:

1. Перечислить физические показатели качества воды.
2. Перечислить органолептические показатели качества воды.
3. Наличие каких примесей в питьевой воде характеризуют органолептические показатели.
4. Каким документом регламентируется качество питьевой воды.
5. Перечислить значения величин органолептических показателей (запах, мутность, цветность, рН), регламентированных СанПиН 2.1.4.1074-01 для питьевой воды.
6. Начиная с какой величины цветности, водопотребление ограничивается.

Литература

1. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / под ред. А.Г. Муравьева. – СПб.: «Крисмас+», 2011. -264 с.
Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / под ред. А.Г. Муравьева. – СПб.: «Крисмас+», 2011. -264 с.
2. Цитович И. К. Курс аналитической химии: учебник. — СПб.: «Лань», 2004. — 496 с.
3. Другов Ю. С., Муравьев А. Г., Родин А. А. Экспресс-анализ экологических проб: практ. руководство. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. — 424 с.
4. Другов Ю. С., Родин А. А. Экологическая аналитическая химия: уч. пос. для вузов. — СПб.: Анатолия, 2002. — 464 с.

2. Практические работы

Практическая работа № 1. Природная экогидрохимия

Цель выполнения работы: рассчитать коэффициенты водной миграции химических элементов в водах зоны гипергенеза, рассчитать коэффициенты водной миграции химических элементов в океанической и морской воде. Определить пригодность для питья образцов исследованной природной воды

Водная миграция химических элементов.

Для характеристики интенсивности водной миграции А. И. Перельман (1961) предложил использовать *коэффициент водной миграции* (K_x), равный отношению содержания элемента x в минеральном остатке воды (m_x) к его содержанию в горных породах или почвах (n_x), дренируемых этими водами. Так как содержание элемента в водах обычно измеряется в граммах на литр или dm^3 , а содержание в породах в процентах, то расчетная формула имеет вид:

$$K_x = m_x \cdot 100 / a \cdot n_x ,$$

где a – сумма минеральных веществ, растворенных в воде (в г/л).

Миграция химических элементов зависит от внешних и внутренних факторов. К внутренним факторам относят свойства химических элементов, зависящие от строения атомов, к внешним – ландшафтно-геохимические условия миграции.

Задание 1. *Анализ водной миграции химических элементов в водах зоны гипергенеза и в океанической воде*

1. По данным, приведенным в таблице 1, рассчитать коэффициенты водной миграции химических элементов в водах зоны гипергенеза.
2. Выделить группы элементов характеризующиеся разной интенсивностью водной миграции в водах зоны гипергенеза.
3. Рассчитать коэффициенты водной миграции химических элементов в океанической и морской воде.

4. Выделить группы элементов характеризующиеся разной интенсивностью водной миграции в океанической и морской воде.

5. Указать химические элементы, обладающие близкими и различными коэффициентами водной миграции в континентальных и океанических водах.

Таблица 1

Среднее содержание химических элементов в океанических
и морских водах

Элемент	Кларк литосферы (n_x), мг/кг	Содержание элементов в водах в зоне гипергенеза (m_x), г/л *	Океаническая и морская вода (m_x), % **
C	230	-	$3 \cdot 10^{-3}$
H	(0,88)	-	10,6
N	19	-	$5,2 \cdot 10^{-5}$
Ca	39600	0,043	$4 \cdot 10^{-2}$
K	25000	0,00459	$3,8 \cdot 10^{-2}$
Si	290000	-	$3,6 \cdot 10^{-4}$
Mg	18700	0,0186	0,13
P	930	0,0000575	$6 \cdot 10^{-6}$
S	470	-	$8,8 \cdot 10^{-2}$
Na	25000	0,0455	1,06
Cl	170	0,047	1,9
Fe	46500	0,000547	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Mn	1000	0,0000494	$5,5 \cdot 10^{-7}$
Al	80500	0,000279	$1 \cdot 10^{-4}$
Zn	83	0,000034	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Sr	340	0,000185	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Ti	4500	0,0000107	-
B	12	-	$4,6 \cdot 10^{-4}$
Ba	650	-	$5 \cdot 10^{-6}$
Cu	47	0,00000558	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Zr	170	0,0000013	-
Rb	150	-	$2 \cdot 10^{-5}$
Br	2,1	0,000184	$6,5 \cdot 10^{-3}$
F	660	0,00045	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Pb	16	-	$2 \cdot 10^{-5}$
Ni	58	0,00000331	$3 \cdot 10^{-8}$
Cr	83	0,0000029	-
V	90	0,00000206	$3 \cdot 10^{-8}$
Li	32	-	$1 \cdot 10^{-5}$
Co	18	-	$1 \cdot 10^{-8}$
Y	20	-	$5 \cdot 10^{-6}$
Mo	1,1	0,00000206	$1,2 \cdot 10^{-7}$
J	0,4	0,0000161	$3 \cdot 10^{-8}$
Sn	2,5	-	$3 \cdot 10^{-7}$
As	1,7	-	$1,4 \cdot 10^{-6}$
Ga	19	-	$6 \cdot 10^{-8}$
Ag	0,07	-	$2,5 \cdot 10^{-8}$
Hg	0,083	-	$3 \cdot 10^{-8}$

Au	0,0043	-	$6 \cdot 10^{-10}$
Минерализация (а)		0,43 г/л	35 г/л

* по Шварцеву (приведено по Перельман, Касимов, 1999);

** по Массону (приведено по Алексеенко, 2000)

Природные воды. Формула Курлова.

Природные воды – все воды земного шара как планеты. В природных условиях вода не встречается в химически чистом виде. Она представляет собой раствор, часто сложного состава, который включает газы (O_2 , CO_2 , H_2S , CH_4 и др.), органические и минеральные вещества. В природных водах обнаружено подавляющее большинство химических элементов. Наиболее распространенные ионы: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , а также кремниевая кислота H_2SiO_3 .

Описание природной воды по формуле М.Г. Курлова.

Для удобства сопоставления анализов воды существуют различные способы сокращённого изображения состава. Наиболее часто применяется формула М.Г. Курлова – это наглядное изображение химического состава природной воды.

В этой формуле, выражаемой в виде псевдо дроби, в числителе пишут в процент-эквивалентах в убывающем порядке анионы, а в знаменателе в таком же порядке катионы. Ионы, присутствующие в количестве менее 10 % экв, в формулу не вносят. К символу иона приписывают его содержание в процент-эквивалентах в целых числах. Впереди дроби указывают величину минерализации (М) в г/л, рН, жёсткость в мг·экв /л и компоненты, специфичные для данного анализа (CO_2 , H_2S , Br^- , J^- , радиоактивность и др.). После дроби указывают температуру воды ($t^0 C$) и дебит источника или скважины в (D), м³ / сут.

Например: $pH\ 6,7\ ж\ 2,1\ M\ 5,0\ \frac{Cl\ 40\ HCO_3\ 36\ SO_4\ 20}{Na\ 64\ Ca\ 28}\ t\ 45\ D\ 5$

Рассмотрим последовательно составные части формулы М.Г. Курлова.

Водородный показатель – рН

В воде часть молекул всегда находится в диссоциированном состоянии в виде ионов H^+ и OH^- . Концентрация недиссоциированной воды считается постоянной, поэтому количество ионов водорода и ионов гидроксила при данной температуре будет тоже величиной постоянной. При $t = 22\text{ C}$ эта величина равна 10^{-7} . Чистая вода имеет нейтральную реакцию и количество ионов H^+ должно быть равно количеству ионов OH^- .

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$$

Это выражение показывает, что при 22 C в 1 л чистой воды содержится 10^{-7} грамм-молекул воды в ионизированном виде, т.е. 10^{-7} грамм-ионов водорода и 10^{-7} грамм-ионов гидроксила.

Если $[H^+] = 10^{-7}$, то $\lg [H^+] = -7$, а $-\lg [H^+] = 7$

Выражение $-\lg [H^+]$ означает рН – отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов.

Если $pH < 7$ – **реакция воды кислая;**

Если $pH > 7$ – **реакция воды щелочная;**

$pH < 4,5$ – **сильнокислая;**

$4,5 - 5,5$ – **кислая;**

$5,5 - 6,5$ – **слабокислая;**

$6,5 - 7,5$ – **близкая к нейтральной;**

$7,5 - 8,5$ – **слабощелочная;**

$8,5 - 9,5$ – **щелочная;**

$> 9,5$ – **сильнощелочная;**

$= 7$ – **нейтральная.**

Практическая работа № 2: «Минеральный состав воды»

Цель выполнения работы: научиться оценивать химический состав природной воды по минеральным примесям на примере показателей: жесткость воды и минерализация воды.

Жёсткость воды.

Жёсткостью воды называется свойство воды, обусловленное содержанием в ней ионов кальция ($1/2 \text{Ca}^{2+}$) и магния ($1/2 \text{Mg}^{2+}$). Единицей жёсткости воды является моль на кубический метр (моль/м³). Числовое значение жёсткости, выраженное в моль /м³ равно числовому значению жёсткости, выраженному в мг·эquiv /л. 1 мг/л жёсткости воды отвечает содержанию ионов кальция ($1/2 \text{Ca}^{2+}$) 20,04 мг/л и ионов магния ($1/2 \text{Mg}^{2+}$) 12,153 мг/л.

Виды жёсткости воды.

Различают жёсткость (Ж) воды:

общую - общее количество содержащихся в воде ионов кальция и магния;

устранимую – жёсткость воды, обусловленная наличием в воде карбонатных (CO_3^{2-}) и гидрокарбонатных (HCO_3^-) ионов солей кальция и магния,

удаляемую при кипячении и определяемую экспериментально;

неустранимую - разность между общей жесткостью и устранимой жесткостью;

карбонатную – сумма карбонатных (CO_3^{2-}) и гидрокарбонатных (HCO_3^-) ионов в воде;

некарбонатную - разность между общей жёсткостью и карбонатной.

По величине общей жёсткости (по А.О. Алекину) различают следующие природные воды:

очень мягкие до 1,5 мг·эquiv /л

мягкие 1,5 – 3 мг·эquiv /л

умеренно-жёсткие 3 – 6 мг·эquiv /л

жёсткие 6 – 9 мг·эquiv /л

очень жёсткие > 9 мг·эquiv /л

Минерализация воды.

Минерализация (М) воды - концентрация растворённых в воде твёрдых неорганических веществ. Различают характер и степень минерализации.

Характер минерализации обусловлен химическим типом воды. По О.А. Алекину воды делятся на три класса по преобладающему аниону - гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные. Каждый класс подразделяется на три группы по преобладающему катиону - Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Степень минерализации.

Степень минерализации (М) выражают в мг/л или г/л (иногда г/кг) и определяют:

1). *По сухому остатку*, который получают путём выпаривания природной воды. Если количество воды выражено в мл, концентрацию солей в воде называют минерализацией - М (г/л, мг/л). Если количество воды взято в г, то концентрацию солей в воде называют **с о л ё н о с т ь ю** - S (г/кг, % 0).

2). *По химическому составу* природной воды, который определяют как арифметическую сумму весовых количеств всех ионов в 1 л воды:

$$M = \frac{\sum \text{ионов, мг/л}}{1000} = \text{г/л}$$

По степени минерализации (по В.И. Вернадскому, 1931-36 гг.; И.К. Зайцеву, 1958 г.) природные воды подразделяются на:

- пресные** до 1 г/л;
- солончатые** 1 - 10 г/л;
- солёные** 10 - 50 г/л;
- рассолы** > 50 г/л.

Определение «псевдо дроби» формулы М.Г. Курлова.

1. Из лаборатории получаем результаты химических анализов воды, выраженные в мг/л.

2. Полученные исходные данные пересчитываем в мг·экв путём деления результатов анализа в мг/л на эквивалентную массу соответствующего иона (табл. 1).

Например: концентрация Ca^{2+} 79 мг/л (результат химического анализа (табл. 2), чтобы получить эквивалентную массу кальция, нужно его атомную массу 40,08 разделить на валентность, т.е. 2, получим эквивалентную массу 20,04, затем $79:20,04 = 3,95$ мг·экв/л.

Пересчитать в мг·экв форму можно другим способом. Для этого исходные данные в мг/л умножить на соответствующие пересчётные коэффициенты. Величину пересчётного коэффициента получим путём деления единицы на эквивалентную массу.

Пересчётный коэффициент для кальция: $1:20,04 = 0,0499$. Для одновалентных ионов эквивалентной массой будет атомная масса (См. таблицу 2).

Таблица 2

Эквивалентные и атомные массы ионов природной воды

ИОН	ЭКВИВАЛ. МАССА	АТОМНАЯ МАССА	НАЗВАНИЕ ИОНА
Ca^{2+}	20,04	40,08	кальций-ион
Mg^{2+}	12,15	24,30	магний-ион
CO_3^{2-}	30,01	60,02	карбонат-ион
SO_4^{2-}	48,03	96,06	сульфат-ион
HCO_3^-	61,02	61,02	гидрокарбонат-ион
Cl	35,453	35,453	хлор-ион
NO_3^-	62,0	62,0	нитрат-ион
Na^+	22,99	22,99	натрий-ион
K^+	39,102	39,102	калий-ион
NH_4^+	18,04	18,04	аммоний-ион

3. Для вычисления процент – эквивалентов (% · экв.) принимаем сумму мг · экв. анионов (ΣA), содержащихся в 1 л воды за 100 % и вычисляем процент содержания каждого аниона в мг/экв по отношению к этой сумме. Аналогично вычисляем % экв. катионов.

Например: (табл. 2) сумма катионов равна 8,51

8,51 – 100 %

1,52 – x

$x = 17,9 \% \cdot \text{экв. (Na)}$

Суммы катионов и анионов, выраженные в мг·экв /л, должны быть равны между собой. Часто точного совпадения цифр в виду погрешностей анализа не бывает. Допустимая неточность анализа (x) определяется по формуле:

$$X = \frac{\Sigma_A - \Sigma_K}{\Sigma_A + \Sigma_K} \cdot 100 \leq 5\%, \quad \text{где}$$

ΣA – сумма мг·экв /л анионов;

ΣK – сумма мг- экв /л катионов.

Образец выполнения задания.

В таблицу 3 записываем результаты химических анализов воды, выраженные в 3х формах:

1) мг/л; 2) мг·экв /л; 3) % экв.

Таблица 3

Результаты химических анализов исследуемой воды

рН	катионы			ΣK	анионы					ΣA	ед. ИЗМ.
	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻		
6,9	35	79	37		12	66	н.о.	418	н.о.		мг/л
	1,52	3,95	3,04	8,51	0,34	1,38	-	6,85	-	8,57	мг·экв/л
	17,9	46,4	35,7	100	4	16,1	-	79,9	-	100	% экв.

При этом:

$$Ж = 3,95 + 3,04 = 6,99$$

$$M = \frac{(35 + 79 + 37 + 12 + 66 + 418) \text{ мг/л}}{1000} = 0,6 \text{ г/л}$$

$$\text{pH } 6,9 \text{ ж } 7,0 \text{ М } 0,6 \frac{\text{HCO}_3 \text{ } 80 \text{ SO}_4 \text{ } 16}{\text{Ca } 46 \text{ Mg } 36 \text{ Na } 18}$$

Заключение: вода, близкая к нейтральной, жёсткая, пресная, гидрокарбонатно-магниево-кальциевая. В название химического состава воды входят ионы, содержание которых ≥ 25 % экв. и называют воду, начиная с анионов от 25 % экв. в возрастающем порядке, затем катионы в таком же порядке, например, **вода гидрокарбонатно-хлоридно-кальциево-натриевая** .

Вывод: вода пригодна для питья.

Если вода не пригодна для питья, то в выводе перечислить, по каким показателям.

Вода не пригодна для питья, если её состав характеризуется хотя бы одним из следующих показателей:

1. с **pH** > 8,5 и < 6,5;
2. с **Ж** > 7 мг·экв /л;
3. с **М** > 1г/л;
4. если **хлоридов** > 350 мг/л;
5. если **сульфатов** > 500 мг/л;
6. если $\Sigma \text{Cl} + \text{SO}_4^{-2} \geq 450$ мг/л.

Задание 2.

В таблице 4 приведены химические анализы природных вод (в мг/л).
В каждом варианте по 3 задачи.

Таблица 4

Данные по химическому составу различных образцов природной воды

№№	pH	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	NO ₃
1	7,4	92	60	28	9	98	12	403	н.о.
	8,15	99	72	50	37	118	12	500	н.о.
	7,2	320	237	н.о.	709	357	н.о.	49	н.о.
2	7,9	26	210	31	17	302	н.о.	427	6
	7,8	38	254	70	303	131	н.о.	525	13
	7,0	150	36	146	348	247	н.о.	287	н.о.
3	8,6	117	113	105	215	108	34	494	113
	8,3	372	295	112	313	694	н.о.	488	550
	7,2	50	28	11	35	13	н.о.	195	н.о.
4	8,2	61	612	147	556	491	н.о.	555	640
	8,25	202	129	57	86	349	12	555	46
	7,5	41,9	2,5	2,15	56	5,69	н.о.	30,31	н.о.
5	8,15	778	234	298	813	849	12	720	1070
	6,8	8	2,5	3,67	20,5	0,27	н.о.	10,4	н.о.
	8,0	240	106	58	155	200	н.о.	515	220
6	8,4	75	174	30	114	96	6	537	12
	8,25	586	129	163	370	605	24	830	490
	7,1	92	19	117	202,9	151	н.о.	322	н.о.
7	6,4	75	118	5	50	57	н.о.	427	н.о.
	7,0	936	434	191	597	2496	н.о.	549	15
	7,53	906	512	262	945	2489	н.о.	488	4
8	7,3	74	56	30	16	10	н.о.	476	2
	7,6	63	65	69	86	88	6	439	н.о.
	7,5	60	122	11	142	153	н.о.	159	н.о.
9	7,55	234	22	11	5	10	12	695	2
	7,25	181	44	28	9	26	н.о.	705	н.о.
	8,6	10,4	1,19	2,38	0,37	н.о.	1,6	42	н.о.
10	7,4	231	146	97	136	690	12	409	н.о.
	7,55	216	87	84	196	362	6	366	85
	6,4	2,5	2,0	3,27	13	0,77	н.о.	7	н.о.

Определите, и аргументированно обоснуйте, какой из представленных образцов исследованной природной воды является пригодным для питья.

Сделайте вывод.

Литература

1. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / под ред. А.Г. Муравьева. – СПб.: «Крисмас+», 2011. - 264 с. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / под ред. А.Г. Муравьева. – СПб.: «Крисмас+», 2011. -264 с.

2. Цитович И. К. Курс аналитической химии: учебник. — СПб.: «Лань», 2004. — 496 с.

3.Другов Ю. С., Муравьев А. Г., Родин А. А. Экспресс-анализ экологических проб: практ. руководство. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. — 424 с.

4.Другов Ю. С., Родин А. А. Экологическая аналитическая химия: уч. пос. для вузов. — СПб.: Анатолия, 2002. — 464 с.