

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ И МАРИКУЛЬТУРЫ**

*Сухаренко Е.В., Зинабадинова С.С.*

# **РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ГИДРОХИМИЯ**

**ПРАКТИКУМ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ  
И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

для студентов направления подготовки

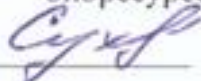
**35.03.08 ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И АКВАКУЛЬТУРА**

очной и заочной форм обучения

КЕРЧЬ, 2020 г.

УДК 612.39 (075.8)

Авторы: Сухаренко Е.В., д-р биол. наук, профессор кафедры водных биоресурсов и марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ»



подпись

Зинабадинова С.С., канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры водных биоресурсов и марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ»



подпись

Рецензент: Кулиш А.В., канд. биол. наук, зав. кафедрой водных биоресурсов и марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ»



подпись

Практикум рассмотрен и одобрен на заседании кафедры водных биоресурсов и марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ»,  
протокол № 8 от «8» мая 2020 г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.В. Кулиш

  
подпись

Практикум рекомендован к публикации на заседании методической комиссии ТФ ФГБОУ ВО «КГМТУ»,  
протокол № 10 от «10» 06 2020 г.

© ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2020 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Требования к знаниям умениям и навыкам .....	5
Примерный тематический план .....	6
Таблица вариантов .....	8
Раздел 1 Состав и особенности классификации природных вод .....	9
Раздел 2 Химические процессы в природных водах .....	13
Раздел 3 Загрязнение водных объектов .....	18
Раздел 4 Приемы гидрохимических исследований водных объектов ...	21
ТИПОВЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ ЗАДАЧИ И ЭТАЛОНЫ ИХ РЕШЕНИЯ .....	25
ЗАДАНИЯ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	40
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	49

## ВВЕДЕНИЕ

---

Настоящий практикум составлен в соответствии с рабочей программой по дисциплине. Курс «Рыбохозяйственная гидрохимия» изучается студентами высших учебных заведений направления подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура. Рыбохозяйственная гидрохимия является частью ОПОП и содержит сведения о принципах классификаций природных вод; закономерностях формирования химического состава акваторий; особенностях загрязнения водных объектов, а также основных приемах гидрохимических исследований.

*Цель изучения дисциплины* – создание теоретических и практических основ, необходимых для понимания основных путей миграции элементов, минеральных и органических веществ, а также гидрохимических процессов, протекающих в рыбоводных водоемах.

*Задачи дисциплины:*

- познакомить студентов с физико-химическими условиями формирования вод рыбохозяйственных объектов;
- сформировать знания об особенностях гидрохимических параметров водной среды и мерах, которые следует принимать для сохранения необходимого качества воды в рыбоводных водоемах;
- реализовать требования, установленные государственным общеобразовательным стандартом высшего образования РФ к подготовке специалистов;
- сформировать навыки практического использования результатов гидрохимического анализа для оценки и внесения коррективов в рыбоводный процесс.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ЗНАНИЯМ УМЕНИЯМ И НАВЫКАМ**

---

Рыбохозяйственная гидрохимия как учебная дисциплина базируется на знаниях студентов по гидрохимии природных вод и закладывает основы для изучения таких курсов, как «Биохимия гидробионтов» и «Водная токсикология», которые используются при дальнейшем освоении ОПОП и в профессиональной деятельности.

*Результаты обучения по дисциплине* должны обеспечивать формирование компетенции ОПК-1, предусмотренной ОПОП бакалавриата по направлению подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура: «способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий».

Результаты внеаудиторной самостоятельной работы оформляются в виде контрольной работы в письменном виде и предоставляются для проверки преподавателем. *Для студентов очной формы обучения* контрольная работа выполняется по индивидуальным заданиям, предварительно согласованным с преподавателем. *Для студентов заочной формы обучения* контрольная работа по дисциплине состоит из четырех теоретических и шести практических заданий. Номера заданий контрольной работы студент выбирает по двум последним цифрам шифра зачетной книжки с помощью таблицы вариантов. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, не рецензируется и студенту не возвращается.

Оценивание результатов работы проводится по двухбалльной системе «защищено», «незащищено». *Основными критериями оценивания являются следующие умения:*

- систематизировать и излагать материал;
- анализировать представленные данные и делать выводы;
- производить расчеты в соответствии с заданием.

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Рыбохозяйственная гидрохимия» изучается во 2 семестре 1 курса по очной форме обучения и во 2 семестре 1 курса по заочной форме обучения. Тематический план дисциплины представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Тематический план дисциплины «Рыбохозяйственная гидрохимия»

занятие	Наименование раздела	Трудоемкость, по формам обучения, час	
		очная	заочная
<b>Раздел 1. Состав и особенности классификации природных вод</b>			
1	Классификация по количеству растворенных веществ	5	7
2	Классификации по жесткости	5	7
3	Классификация по Алекину	4	7
4	Классификация по Вернадскому	4	7
<b>Раздел 2. Химические процессы в природных водах</b>			
5	Факторы формирования химического состава вод суши	4	6
6	Трансформация веществ атмосферных осадков	4	6
7	Закономерности формирования химического состава рек	4	6
8	Гидрохимия озер и искусственных водоемов	3	6
9	Гидрохимия океанов и морей	3	6
<b>Раздел 3. Загрязнение водных объектов</b>			
10	Источники загрязнения водных объектов	7	10
11	Гидрохимия местного стока	6	10
12	Гидрохимическая характеристика водосборов	7	10
<b>Раздел 4. Приемы гидрохимических исследований водных объектов</b>			
13	Методы химического анализа природных вод	5	8
14	Способы выражения состава водных объектов	5	7
15	Гидрохимические исследования на водных объектах	4	8
16	Прогнозирование изменений состава водных объектов	4	7
<b>Количество часов, отведенное на самостоятельную работу</b>		<b>74</b>	<b>118</b>

В результате усвоения курса «Рыбохозяйственная гидрохимия» студент должен:

Знать:

- особенности химического состава различных типов природных вод;
- основные факторы, влияющие на формирование химического состава вод суши;
- приемы гидрохимических исследований природных вод.

Уметь:

- осуществлять химический анализ состава природных вод;
- анализировать полученные экспериментальные данные;
- пользоваться справочной литературой по гидрохимии.

Владеть:

- методами комплексного анализа химических процессов в природных водах;
- методами обработки и предоставления результатов гидрохимического анализа.

**ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ**

Де-ся-тки	Единицы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,13, 24,31, 49,55, 66,80, 84,97.	2,14, 21,32, 48,56, 67,71, 85,98.	3,15, 29,33, 50,57, 68,72, 82,99.	4,16, 26,34, 41,58, 69,73, 81,100.	5,17, 27,35, 42,59, 70,74, 83,91.	6,18, 22,36, 43,60, 61,75, 87,92.	7,19, 30,37, 44,51, 62,76, 88,93.	8,20, 28,38, 45,52, 63,77, 86,94.	9,11, 23,39, 46,53, 64,78, 89,95.	10,12, 25,40, 47,54, 65,79, 90,96.
1	9,14, 23,39, 45,56, 68,71, 87,92.	7,13, 29,37, 50,58, 62,79, 84,100.	4,16, 25,34, 41,52, 70,77, 83,95.	3,18, 28,33, 49,60, 65,74, 86,91.	6,12, 22,36, 47,55, 61,73, 88,99.	8,20, 27,38, 44,51, 69,76, 82,97.	2,15, 21,32, 43,59, 67,78, 908,94	10,11, 30,40, 46,57, 64,72, 85,93.	5,19, 24,35, 48,54, 63,80, 81,96.	1,17, 26,31, 42,53, 66,75, 89,98.
2	3,15, 26,33, 48,60, 64,77, 81,94.	1,16, 23,31, 49,52, 63,73, 85,99.	5,20, 28,35, 47,54, 62,71, 86,98.	6,12, 22,36, 43,59, 66,75, 90,97.	10,14, 24,40, 41,58, 61,76, 82,93	2,19, 21,32, 45,57, 68,80, 84,91.	4,18, 27,34, 46,53, 65,72, 89,95.	9,17, 29,39, 50,51, 65,74, 88,96.	8,13, 25,38, 42,55, 64,79, 87,100.	7,11, 30,37, 44,56, 67,78, 83,92.
3	10,18, 29,40, 47,53, 65,74, 86,91.	6,19, 30,36, 42,55, 61,80, 88,92.	8,13, 27,38, 44,51, 62,76, 89,97	9,15, 25,39, 50,52, 67,78, 83,94.	3,11, 21,33, 46,57, 64,79, 85,100.	5,12, 26,35, 48,54, 70,73, 81,96.	1,17, 24,31, 49,60, 66,75, 82,984.	2,14, 22,32, 43,56, 68,71, 87,99.	7,20, 28,37, 45,58, 69,72, 84,93.	4,16, 23,34, 41,59, 63,77, 90,95.
4	5,16, 30,35, 44,59, 61,72, 88,93.	8,20, 25,38, 47,51, 63,75, 86,97	6,19, 24,36, 42,53, 67,78, 90,94.	10,11, 21,40, 45,57, 64,76, 89,92.	9,13, 23,39, 48,54, 62,85, 81,95.	1,17, 28,31, 46,52, 65,79, 83,98	3,14, 22,33, 50,55, 68,71, 87,96.	7,12, 27,37, 49,58, 66,73, 84,100.	4,15, 26,34, 41,56, 70,77, 82,99.	2,18, 29,32, 43,60, 69,74, 85,91.
5	7,19, 25,37, 42,54, 63,78, 90,96.	10,15, 27,40, 41,53, 66,77, 89,91.	9,14, 22,39, 48,56, 61,80, 85,92.	5,13, 23,35, 47,51, 62,79, 84,98	4,16, 26,34, 50,52, 68,75, 83,97.	3,11, 30,33, 49,58, 67,74, 86,100.	6,12, 28,36, 45,57, 70,73, 81,99.	1,18, 21,31, 44,60, 69,76, 82,95.	2,17, 29,32, 43,59, 65,71, 88,94.	8,20, 24,38, 46,55, 64,72, 87,93
6	2,11, 28,32, 50,57, 64,76, 85,99.	5,18, 22,35, 43,54, 69,72, 81,93.	1,17, 30,31, 46,59, 63,75, 88,100.	8,14, 24,38, 42,53, 70,71, 87,96.	7,19, 29,37, 45,60, 66,78, 84,92.	4,13, 25,34, 41,56, 62,77, 89,95.	9,20, 26,39, 48,52, 65,74, 83,91.	3,16, 23,33, 47,55, 61,79, 90,98.	10,12, 21,40, 44,51, 68,73, 86,97.	6,15, 27,36, 49,58, 67,80, 82,94.
7	4,12, 27,34, 43,51, 70,75, 89,98.	9,17, 24,39, 46,60, 68,74, 82,96.	2,11, 23,32, 45,58, 66,79, 87,93.	7,20, 30,37, 44,56, 63,72, 81,95.	1,18, 28,31, 49,53, 65,77, 90,94.	10,16, 29,40, 42,55, 64,71, 88,99	8,13, 25,38, 47,54, 69,80, 86,92.	6,15, 26,36, 44,59, 62,78, 83,97.	3,14, 22,33, 50,52, 67,76, 85,91.	5,19, 21,35, 48,57, 61,73, 84,100.
8	8,17, 21,38, 46,52, 69,73, 84,100.	4,11, 28,34, 45,59, 70,78, 87,95.	7,12, 26,37, 43,60, 65,74, 81,96.	1,19, 29,31, 48,55, 66,77, 82,93.	2,20, 30,32, 44,56, 63,71, 89,98.	9,15, 24,39, 47,53, 68,72, 90,94.	10,16, 23,37, 41,58, 64,79, 85,97	5,13, 25,35, 42,54, 67,80, 86,91.	6,18, 27,36, 49,57, 61,75, 83,92.	3,14, 22,33, 50,51, 62,76, 88,99.
9	6,20, 22,36, 41,58, 67,79, 83,95.	3,12, 26,33, 44,57, 65,76, 90,94.	10,18, 21,40, 49,55, 65,73, 82,91.	2,17, 27,32, 46,54, 61,80, 88,99.	8,15, 25,38, 43,51, 69,72, 87,96.	7,14, 23,37, 50,59, 66,78, 85,93.	5,11, 29,35, 42,56, 63,77, 84,100.	4,19, 24,34, 48,53, 70,75, 81,92	1,16, 30,31, 47,60, 62,74, 89,98.	9,13, 28,39, 45,52, 68,81, 86,97



# РАЗДЕЛ 1

## СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ ВОД

---

---

### Цель изучения раздела

Сформировать знания об особенностях классификации природных вод по количеству растворенных веществ, по жесткости, по преобладающим ионам. Познакомиться с различиями в градации природных вод по О.А. Алекину и В.И. Вернадскому. Иметь представление о химических процессах, протекающих при взаимодействии воды с горными породами, почвой и атмосферой, а также о способах умягчения воды.

### Вопросы для самостоятельного изучения

1. Принципы классификации природных вод.
2. Классификация вод по количеству растворенных веществ.
3. Классификация вод по жесткости.
4. Классификация вод по О.А. Алекину.
5. Классификация вод по В.И. Вернадскому.

### Методические указания

При изучении состава природных вод необходимо учитывать, что они представляют собой дисперсные системы, в которых дисперсионной средой является вода, а вещества, выступающие в качестве дисперсной фазы, можно разделить на четыре группы: диссоциирующие в водном растворе на ионы, образующие в воде молекулярные растворы, входящие в состав коллоидов, нерастворимые в воде.

Важно помнить, что на качественный состав природных вод оказывает существенное воздействие окружающая среда. В ходе взаимодействия воды с горными породами, почвой и атмосферой могут протекать следующие процессы: растворение веществ, химическое

взаимодействие растворенных веществ с водой, взаимодействие растворенных веществ друг с другом, взаимодействие в коллоидных системах. Необходимо обратить внимание на то, что на формирование состава природных вод также влияют процессы, протекающие в живых организмах, и при их отмирании. Они во многом определяют химический состав водоема, распределение газов, содержание микроэлементов и биогенных веществ.

Следует уяснить, что наиболее ранним типом классификации, который использовался еще до применения методов количественного анализа природных вод, является их деление на основе преобладания той или иной соли (Ф. Гофман, 1703; В.М. Севергин, 1809; Э.Х. Ленц, 1851). Дальнейшим развитием классификаций природных вод является разделение вод по одному или нескольким преобладающим компонентам (А.С. Щукарев, 1934). Более высокий теоретический уровень имеют классификации, учитывающие генезис и метаморфизацию природных вод (М.Г. Валяшко, 1935; С.А. Дуров, 1949). Новым этапом в совершенствовании классификации природных вод явилось создание классификаций с учетом соотношения между ионами. Из этих классификаций наиболее значимой является классификация природных вод с минерализацией до 50 г/кг, предложенная О.А. Алекиным. В соответствии с этой классификацией природные воды делят на классы: карбонатные (С), сульфатные (S) и хлоридные (C1). В свою очередь, по преобладающему катиону каждый класс разбивают на группы (Ca, Mg, Na). По присущей этим водам щелочности и общей жесткости, каждую группу делят на типы. По этой классификации природные воды делят на 27 видов, которые учитывают т.н. «генетический тип воды». Различия в градации природных вод, как правило, основываются на данных региональных исследований либо на результатах практического использования воды с той или иной минерализацией. Важно обратить внимание на то, что величина минерализации, характеризующая границу пресных и соленых вод (1 г/л), является общепринятой и присутствует во всех известных классификациях. Для рассолов граничные значения

минерализации, как правило, определяют на основании тех изменений, которые соответствуют заметной трансформации ионного состава растворов и характеризуется сменой одних равновесных систем другими. Одним из примеров градации природных вод на основании практических признаков является классификация по Н.И. Толстихину. Однако необходимо усвоить, что разнообразие качественного и количественного состава не позволяет классифицировать природные воды по какому-то одному признаку.

Необходимо уяснить, что жесткость природной воды обусловлена присутствием в ней катионов двухвалентных металлов, главным образом, кальция и магния. Различают общую, временную и постоянную, а также карбонатную и некарбонатную жесткость воды. В соответствии с государственными стандартами жесткость воды измеряется в миллиграмм-эквивалентах на литр воды (мг-экв/л). Для снижения жесткости (для умягчения) применяют следующие способы: термический, реагентный, катионитовый, комбинированный (например, термохимический или реагентно-катионитовый).

В ходе изучения раздела следует познакомиться с классификацией, разработанной В. И. Вернадским (1933 г.). Она представляет собой единственную систему, учитывающую физические, географические, а также геологические условия распространения и залегания природных вод. В классификации по В.И. Вернадскому природные воды рассматриваются как минералы, которые находятся в различных физических состояниях. Эта градация природных вод является наиболее подробной из всех известных в настоящее время классификаций, в соответствии с которой воды подразделяются на 485 видов. Главная особенность классификации заключается в том, что состав природных вод оценивается по преобладающим химическим элементам (за исключением водорода и кислорода). Деление на подгруппы производится с учетом агрегатного состояния воды (пары воды, растворы, льды). Каждая подгруппа, в свою очередь, делится на три класса по величине минерализации (пресные, соленые или

минерализованные и рассольные воды). В зависимости от преобладающих в воде растворенных газов классы разбивают на подклассы. Кроме деления вод на подгруппы, классы и подклассы, в зависимости от преобладающих химических элементов, степени минерализации и присутствия газов по классификации В.И. Вернадского, воду делят на царства, подцарства, семейства и виды. Царства природных вод характеризуют основное их местоположение – это поверхностные (наземные), подземные и глубинные воды. Подцарства уточняют тип местоположения. Подцарства включают семейства. Семейства делятся на виды по элементному составу компонентов, независимо от формы присутствия этого элемента в природной воде (в составе ионов или газов, либо в составе коллоидов или в живых организмах). Осуществив разделение природных вод до видов, В.И. Вернадский указывал, что в основу дальнейшей градации на подвиды может быть положено деление по таким особенностям как количество присутствующих бактерий и содержание органических золь. Главная причина, затрудняющая применение данной классификации, заключается в том, что в ее основу положено выражение состава воды в атомной форме. Хотя классификация Вернадского не получила широкого распространения, многие ее положения широко используются при изучении природных вод.

*Рекомендуемая литература: [1-7, 9].*

### **Вопросы для самоконтроля**



1. Для каких природных вод используют в качестве единицы измерения солесодержания промилле?
2. Какие соли не удаляются из воды при кипячении?
3. Природная вода, какого типа является наименее минерализованной?
4. Какой способ умягчения воды является наиболее популярным?

## РАЗДЕЛ 2

### ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

---

---

#### Цель изучения раздела

Сформировать знания о трансформации веществ атмосферных осадков, закономерностях образования химического состава рек, океанов и морей, а также искусственных водоемов.

#### Вопросы для самостоятельного изучения

1. Факторы формирования химического состава вод суши.
2. Трансформация веществ атмосферных осадков.
3. Закономерности формирования химического состава рек.
4. Гидрохимия озер и искусственных водоемов.
5. Гидрохимия океанов и морей.

#### Методические указания

Приступая к изучению материала раздела необходимо помнить, что состав природных вод во многом зависит не только от особенностей тех веществ, с которыми она соприкасалась, но и от внешних условий, при которых это происходит. Смешивание вод в природе представляет собой один из наиболее распространенных процессов, меняющих их состав. Важно обратить внимание на то, что на содержание растворенных компонентов влияет комплекс различных факторов, из которых выделяют прямые и косвенные, а также главные и второстепенные. К прямым факторам, непосредственно влияющим на химический состав природных вод, относят: состав горных пород и минералов, особенности почв, численность и видовое разнообразие живых организмов, хозяйственную деятельность человека. К косвенным факторам, определяющим внешние условия, при которых происходит взаимодействие веществ с водой, относят: климат, рельеф, гидрологический режим, гидродинамические процессы. Необходимо уяснить, что химические реакции, протекающие в природных водах, определяются важнейшим географическим законом –

законом географической зональности. Следует помнить, что изменения, происходящие в характере питания, в интенсивности испарения, в совокупности биологических процессов создают условия для непрерывной трансформации состава природных вод.

Нужно учитывать, что атмосферные осадки являются одним из факторов формирования поверхностных и подземных вод. Важно обратить внимание на то, что эти природные воды отличаются значительной изменчивостью состава, а минерализация атмосферных осадков, как правило, ниже минерализации поверхностных вод и во многом определяется физико-географическими факторами. Атмосферные осадки отличаются от поверхностных и подземных вод не только величиной минерализации, но и ионным составом, а также содержанием органического вещества. Процесс формирования химического состава атмосферных осадков можно разделить на два этапа: образование облаков и туманов; выпадение снега и дождя. Важно учитывать, что вещества, находящиеся в составе атмосферных осадков и в составе аэрозолей, могут взаимодействовать между собой.

Необходимо обратить внимание на то, что химический состав речных вод отличается: низкой минерализацией, изменчивостью состава, значительным присутствием газов. При отсутствии в водосборном бассейне легкорастворимых минералов, торфяников, болот, высокой антропогенной нагрузки, речные воды являются пресными и служат одним из основных источников водоснабжения населения. Следует уяснить, что формирование химического состава речных вод в значительной степени зависит от процессов, происходящих на водосборной площади. Реки имеют три основных источника (типа) питания: атмосферные осадки, поверхностные и подземные воды. Степень минерализации, а также состав речных вод подвержены сезонным колебаниям, что обусловлено изменением в течение года преобладающих источников питания. Максимальная минерализация вод большинства рек России наблюдаются зимой, а в южных районах – в летний период. Характеризуя закономерности формирования

химического состава рек, следует особо выделить то, что одной из наиболее значимых особенностей является высокая интенсивность водообмена, которая происходит в среднем в течение 10-15 дней.

Необходимо понять, что особенности химического состава озерных вод определяются, главным образом, содержанием минеральных и органических веществ в водах притоков и питающих озеро подземных водах. Однако минерализация вод озер может значительно отличаться от состава впадающих в него рек. Наиболее весомыми причинами неоднородности состава этих природных вод являются различия в гидрохимическом режиме озер и рек. В частности, озера характеризуются более медленным водообменом и стоком, чем реки. Поэтому природные воды значительно дольше находятся в озерах, чем в русле рек, что отражается на интенсивности испарения влаги, и влияет на минерализацию, а также на процессы ионного обмена с илами. Следует обратить внимание на то, что наиболее значимым фактором, определяющим химический состав вод озер, является степень его проточности. Минерализация вод в озерах, в отличие от речных вод, меняется в очень широких пределах.

Важно отметить, что искусственные водоемы с объемом вод более 1 млн. м<sup>3</sup>, которые характеризуются слабой проточностью, относят к водохранилищам. Большинство водохранилищ создается в долинах рек, которые перегорожены плотинами. Гидрохимический режим водохранилищ во многом сходен с озерами, но формирование химического состава этих вод в начальный период имеет ряд отличительных особенностей. Так при заполнении водохранилища происходит затопление значительных площадей суши, при этом в воду попадает большое количество минеральных веществ и органических соединений. Происходит формирование новых грунтов дна водоема. Поэтому, после заполнения водохранилищ, в составе вод могут происходить значительные изменения. На формирование химического состава вод водохранилищ значительное влияние оказывают процессы самоочищения. Следует учитывать, что в донных отложениях этих

водоемов встречаются зоны с высокой концентрацией различных токсических веществ, способных вызывать процессы вторичного загрязнения. Вследствие усиливающегося антропогенного загрязнения процессов самоочищения становится уже недостаточно для поддержания высокого качества воды.

Следует обратить внимание на то, что одной из главных особенностей морей и океанов является исключительно большой объем водной массы, формирующий непрерывную водную оболочку Земли, окружающую материки и острова, т.н. Мировой океан, который представляет собой единое целое. Обмен между его частями осуществляется сложной системой вертикальных и горизонтальных перемещений, создающих непрерывное движение воды. Эти факторы определяют основные особенности морских вод: высокую минерализацию, однородность и стабильность химического состава в течение длительного времени. Вещества, выносимые материковым стоком в океан, подвергается значительным изменениям. При перемешивании речных вод с морскими, более богатыми электролитами, уже в приустьевых зонах может происходить коагуляция механических взвесей и органических веществ. Важно уяснить, что изменяется не только содержание газов, растворимость которых в пресной воде выше, чем в морской, а также и биогенных элементов, находящихся в речной воде в значительных количествах. Осаждение солей из морской воды может происходить в результате значительного повышения их концентрации в ходе испарения. Факторами, регулирующими содержание кислорода в морских водах, являются температура, соленость и давление.

Важно уяснить, что моря, глубоко вдающиеся в материк, водообмен которых с океаном ограничен или совсем отсутствует, называют внутренними. Гидрохимический режим внутренних морей достаточно своеобразен, а влияние факторов, нарушающих однородность состава вод, проявляется наиболее сильно. Воздействие материкового стока на внутренние моря не ограничивается только понижением их солености. Материковый сток нарушает однородность содержания отдельных



главных ионов, вследствие чего в химическом составе вод внутренних водоемов наблюдаются отклонения от соотношения, которое свойственно водам океанов и открытых морей. Поэтому для многих внутренних морей соотношения между соленостью и содержанием хлорид ионов отличается от этих величин для океанических вод и открытых морей. Изолированность внутренних морей от общей системы течений океанических вод создает затруднения в глубинном водообмене. Это, наряду с увеличенным воздействием вод материкового стока, объясняет специфический гидрохимический режим их глубоководной части, что особенно отражается на содержании растворенных газов и ионов, подверженных воздействию микроорганизмов. Ярким примером такого воздействия является Черное море, в котором отсутствие глубинных течений и интенсивной вертикальной циркуляции создает мало вентилируемую зону. Резкое изменение в ионном составе глубинных вод, главным образом, обеднение кислородом, наблюдается и в ряде других морей, имеющих нарушенный водообмен и низкую вентиляцию придонных слоев (Балтийское море, Панамский залив). Таким образом, отдельные моря существенно отличаются по своему гидрохимическому режиму от океана.

*Рекомендуемая литература: [1-8].*

### **Вопросы для самоконтроля**



1. Почему содержание кислорода в речных водах минимально зимой?
2. Какими факторами объясняется аномально низкая минерализация оз. Балхаш?
3. Какими процессами, происходящими в Черном море, можно объяснить появление сероводорода на глубине от 150 м?

## РАЗДЕЛ 3

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

#### Цель изучения раздела

Сформировать знания о видах загрязнений водных объектов. Познакомиться с особенностями состава промышленных, сельскохозяйственных и хозяйственно-бытовых стоков. Иметь представление о тепловом, радиоактивном загрязнении водоемов, а также о факторах окружающей среды, усиливающих загрязнение природных вод.

#### Вопросы для самостоятельного изучения

1. Консервативные и неконсервативные загрязнения.
2. Источники антропогенного загрязнения водных объектов.
3. Отличительные черты и генетические категории вод местного стока.
4. Гидрохимическая характеристика водосборов.
5. Трансформация химического состава природных вод на водосборной площади.

#### Методические указания

При изучении этого раздела необходимо обратить внимание на то, что наиболее часто встречающимися видами загрязнений водных объектов являются химическое и бактериальное, гораздо реже происходит механическое, тепловое и радиоактивное загрязнение водоемов. Химическое загрязнение может быть вызвано различными органическими (растворители, фенолы, пестициды, поверхностно-активные вещества и пр.) и неорганическими (соли, кислоты, щелочи, шлаки) веществами. В составе стоков, поступающих в водоемы, выделяют две основных группы химических соединений: вещества, с трудом вступающие в химические реакции, практически не поддающиеся биологической деградации (консервативные загрязнители) и вещества, которые легко вовлекающиеся в природные процессы, происходящие в

ходе самоочищения водоемов (неконсервативные загрязнители).

Следует обратить внимание на то, что главным источником антропогенного загрязнения природных вод являются промышленные стоки, объем и степень загрязнения которых во многом зависят от мощности предприятия, используемых технологий производства, а также степени очистки сточных вод. Важно учитывать, что в связи с использованием различных удобрений, значительная часть загрязнений, выносимых с сельскохозяйственным стоком, приходится на соединения азота и фосфора. Количество, содержащихся в этих водах пестицидов определяются, главным образом, устойчивостью. Следует отметить, что хозяйственно-бытовые сточные воды характеризуются невысоким химическим, но ярко выраженным бактериальным загрязнением.

Необходимо помнить, что на гидрохимический режим водных объектов могут оказывать значительное влияние тепловые и атомные электростанции. Такое тепловое загрязнение, нарушая естественные процессы, часто приводит к эвтрофированию водоемов и изменению биотического круговорота. Кроме того, тепловое загрязнение водоемов может привести к усилению токсического воздействия на живые организмы других техногенных загрязнений. Особо следует выделить радиоактивное загрязнение водных объектов. Радиоактивные вещества, попадающие в природные воды, могут быть как природного, так и искусственного происхождения. Природная радиоактивность обусловлена присутствием т.н. рассеянных элементов – радия, урана, тория, радона, которые попадают в водоемы при соприкосновении воды с минералами, их содержащими. Степень радиоактивного загрязнения природных вод в этом случае обычно невелика. Причинами загрязнения водоемов искусственными радиоактивными элементами, могут быть сточные воды предприятий атомной промышленности, а также научно-исследовательские, медицинские и другие учреждения, использующие в своей деятельности радиоактивные изотопы. Радиоактивные вещества в повышенной концентрации являются одним из наиболее опасных видов загрязнений, несущих угрозу не только поверхностным водам суши, но и

всему Мировому океану. Кроме основных источников загрязнения гидросферы, увеличение антропогенной нагрузки может быть вызвано городскими ливневыми стоками, шахтными и рудничными водами, а также утечкой нефтепродуктов и химикатов при транспортировке. Поступление чужеродных химических веществ в водоемы может приводить к увеличению их концентрации в донных отложениях и паводковых водах, и, как следствие, возникновению вторичного загрязнения, связанного с образованием новых, иногда еще более вредных, химических соединений. Важно обратить внимание на то, что химический состав местного стока во многом зависит от того, в каких слоях почв и грунта заканчивается его формирование. В соответствии с этими особенностями выделяют следующие генетические категории таких вод: склоновые, почвенно-грунтовые, грунтовые. При характеристике гидрохимической зональности местного стока необходимо выделить географический (горизонтальный) и геологический (вертикальный) типы.

Необходимо учитывать, что химический состав воды, покидающей водосборный бассейн, значительно отличается от химического состава тех вод, которые поступают в виде осадков. В большей части водных объектов качество воды не отвечает нормативным требованиям. Основные реки Дон, Кубань, Волга, Лена, Обь, Енисей классифицируются как загрязненные. В особых случаях, следует учитывать, что природная вода может оказывать на гидробионтов токсическое воздействие.

*Рекомендуемая литература: [1, 2, 4- 6, 8].*

### **Вопросы для самоконтроля**



1. Какие стоки являются главным источником загрязнения природных вод?
2. Какие процессы влияют на трансформацию химического состава поверхностных, почвенных и грунтовых вод водосбора?

## РАЗДЕЛ 4

# ПРИЕМЫ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

### Цель изучения раздела

Сформировать знания об особенностях сбора информации в ходе гидрохимических наблюдений. Познакомиться с правилами использования объемных методов анализа. Иметь представление о корректности отбора проб, допустимой и фактической погрешностях химического анализа.

### Вопросы для самостоятельного изучения

1. Правильность и показатели качества анализа.
2. Методы химического анализа природных вод.
3. Способы выражения состава водных объектов.
4. Гидрохимические исследования на водных объектах.
5. Прогнозирование изменений состава водных объектов.

### Методические указания

Приступая к изучению раздела необходимо уяснить, что гидрохимическое изучение водоемов предполагает обязательный отбор проб воды в определенное время года, предпочтительно – в течение ряда лет. Количество проб и периодичность отбора зависит от целей исследования и особенностей водоема. Если в ходе исследования достаточно располагать данными о примерном химическом составе природных вод или необходима сравнительная характеристика однородности состава воды на данном участке водоема, то можно ограничиться взятием одной-двух проб. При ярко выраженной пространственной неоднородности химического состава, в случаях, когда необходимо определить распределение вод притока в реке, присутствие грунтового питания, перемешиваемость водных слоев и пр., следует отбирать серию проб.

Следует уяснить, что к наиболее значимым показателям качества анализа относятся: корректный отбор пробы, чувствительность метода к определенным компонентам, достоверность и сходимость результатов, а также безопасность и стоимость. Важно учитывать, что при отборе проб необходимо соблюдать следующие условия: определяемые компоненты должны сохраняться в пробе до момента исследования, объем пробы для анализа, должен быть оптимальным, а влияние субъективных факторов исключено.

Нужно учитывать, что при выборе чувствительности метода (предела обнаружения) минимальное содержание вещества, которое может быть выявлено, должно быть сопоставимо с величиной относительного стандартного отклонения. Важно принимать во внимание, что для анализа компонентов, содержащихся в природных водах, следует использовать методы и методики, позволяющие определять 0,1 долю от их кларкового содержания. Правильно подобранный метод, позволяет выявлять соответствующий компонент в концентрации примерно в 10-15 раз меньше, чем содержится в пробе. Если чувствительность метода недостаточно высока, то используют концентрирование.

Следует усвоить, что химический анализ природных вод (объемный метод) заключается в том, что к пробе воды, содержащей определяемое вещество (аналит), прибавляют реагирующий с ним реактив (титрант). В результате химической реакции выявляемое вещество переходит в осадок или в комплексное соединение. В объемном анализе содержание аналита, вступившего в реакцию, определяется по количеству прибавленного титранта, концентрация которого известна. Титриметрический метод широко используется при анализе природных вод, как в стационарных лабораториях, так и в полевых условиях.

Важно учитывать, что при выражении ионного состава исследуемой пробы в эквивалентной форме число эквивалентов катионов, присутствующих в растворе, должно равняться числу эквивалентов выявленных анионов. Следует уяснить, что при определении

компонентного состава природных вод допускается небольшое расхождение повторных результатов. Допустимая погрешность при анализе вод с высокой минерализацией (суммарное содержание анионов более 15 мг-экв/л) составляет 2%. Расчет фактической погрешности эксперимента позволяет оценить точность выполняемого анализа. Если выясняется, что фактическая погрешность выше допустимой, то анализ пробы воды проводят заново. Важно обратить внимание на то, что эквивалентная форма широко применяется для выражения величин щелочности и жесткости.

Нужно обратить внимание на то, что гидрохимические исследования природных вод могут проводиться в виде стационарных, специальных и экспедиционных наблюдений. При стационарных наблюдениях проводятся наблюдения за т.н. фоновым составом и загрязнением поверхностных вод. В ходе специальных наблюдений решаются научно-исследовательские задачи. Экспедиционные наблюдения за водоемами осуществляются при появлении экстремальных ситуаций. При изучении процессов самоочищения в водном объекте необходимо выбрать не менее трех створов наблюдений: фоновый, главный контрольный и замыкающий. Если в ходе наблюдений выявлено, что количество загрязняющих веществ превышает допустимые уровни, то составляют программу работ, в соответствии с которой устанавливают перечень определяемых показателей, а также периодичность и сроки проведения наблюдений.

Необходимо усвоить, что прогнозирование химического состава поверхностных вод суши проводится на основе результатов многолетних систематических гидрохимических и гидрологических наблюдений, на базе имеющихся данных об источниках загрязнения. В соответствии со сроками, на которые распространяется суждение, прогнозы делят на: оперативный, краткосрочный, среднесрочный, долгосрочный, сверхдолгосрочный. Наибольшее практическое значение имеют методы оперативного и долгосрочного прогнозирования изменений химического состава природных вод. Оперативное прогнозирование характеризуется

небольшими сроками (несколько суток, месяц, сезон). Этот вид прогнозирования предназначен для выявления снижения качества природных вод при аварийных сбросах сточных вод либо при значительном изменении гидрометеорологических условий. Как правило, такие прогнозы составляют для конкретных створов рек, расположенных ниже опасных источников загрязнения (одного или нескольких). На больших реках оперативный прогноз составляют для ближайшего створа водопользования, который расположен ниже сброса сточных вод. На малых и средних реках для этих целей используют: створы практически полного смешения сточных и речных вод, а также створы водопользования, расположенные вблизи зоны значительного влияния стоков на качество природных вод. Долгосрочное прогнозирование химического состава поверхностных вод – это сложный процесс, включающий большое число отдельных прогнозов. В этом случае чаще всего применяют бассейновую схему. В бассейне реки прогноз осуществляют с использованием данных, полученных в сети, состоящей из нескольких пунктов наблюдений. Выбор прогнозируемых показателей определяется количеством и разнообразием тех или иных загрязняющих веществ, присутствующих в водоеме и поступающих в водный объект со стоком.

*Рекомендуемая литература: [1-3, 6-9].*

### **Вопросы для самоконтроля**



1. В какие периоды производят отбор проб в ходе изучения распространения загрязняющих веществ в водоемах?
2. Какие преимущества имеет комбинированный способ оперативного прогнозирования?
3. Сколько пунктов наблюдений предполагает бассейновая схема долгосрочного прогнозирования?



## ТИПОВЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ ЗАДАЧИ И ЭТАЛОНЫ ИХ РЕШЕНИЯ

---

После изучения разделов предлагается приступить к решению обучающих задач. Необходимо попытаться решить задачу самостоятельно и только после этого прочитать готовое решение. Особого внимания заслуживает общий подход к решению задачи, так как он несет не только информационную нагрузку, но и учит, что и как нужно делать. После проработки обучающих задач можно приступить к задачам для самостоятельного решения.

### Обучающая задача 1

*Выразите концентрацию хлорид-ионов ( $Cl^-$ ) для среднего состава морской воды в ммоль/л, если его содержание в морской воде составляет 18,98‰.*

#### Типовое решение задачи

**ОБЩИЙ ПОДХОД.** Морской водой принято называть воды всех морей и океанов. Под соленостью морской воды понимают суммарное содержание всех растворенных в ней солей. Так правило, величину солености морской воды выражают в промилле. *Концентрация в промилле показывает количество вещества (в г), содержащееся в 1 кг раствора.* Соленость морской (океанической) воды изменяется от 30 до 50‰. В среднем значение солености морской воды составляет воды 34,7 ‰.

К макрокомпонентам природных вод относят главные ионы. В этой группе относятся катионы  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ , и анионы  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ . Чтобы представить концентрацию вещества в растворе, выраженную в промилле, в виде концентрации в миллимоль на литр (ммоль/л), следует исходное значение концентрации соответствующего компонента (в ‰), разделить на его молярную массу, а затем умножить

на плотность водного раствора (кг/л). Для преобразования значения концентрации в миллимоли, необходимо полученное число умножить на 1000:

$$C_m = \frac{C_1}{M_{\text{в-ва}}} \cdot \rho \cdot 1000, \quad (1)$$

где  $C_m$  – молярная концентрация вещества, ммоль/л;

$M_{\text{в-ва}}$  – молярная масса вещества

$\rho$  – плотность природной воды, кг/л.

### Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. Находим молярную массу анионов хлора по Периодической таблице химических элементов –  $M_{(\text{Cl}^-)} = 35,45$  г/моль.

ЭТАП 2. Из справочных данных узнаем среднюю плотность морской воды соленостью 34,7 ‰. При температуре 25 °С она составляет 1,0225 кг/л. Однако в усредненных расчетах плотность морской воды можно принять равной 1 кг/л.

ЭТАП 3. Для преобразования заданной концентрации, выраженной в промилле, в молярную концентрации воспользуемся формулой (1):

$$C_m = \frac{C_1}{M_{(\text{Cl}^-)}} \cdot \rho \cdot 1000 = \frac{18,98}{35,45} \cdot 1,0 \cdot 1000 = 534,6 \text{ ммоль/л}$$

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** В морской воде с содержанием хлора 18,98‰ его концентрация составляет 547,45 ммоль/л.

### **Обучающая задача 2**

*Выразите концентрацию катионов кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) для среднего состава речной воды в ммоль/л, если его содержание в ней составляет 0,020‰.*

#### Типовое решение задачи

**ОБЩИЙ ПОДХОД.** За небольшим исключением, во всех природных водах более 90% растворенных солей представлено одними и теми же анионами и катионами, поэтому их называют главными. В

среднем в речных водах количество главных ионов можно представить в виде следующих соотношений:

для катионов –  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$

для анионов –  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$

Однако следует отметить, что для речных вод это соотношение может меняться в достаточно широких пределах. В зависимости от территориальных особенностей расположения водного объекта изменяется и количество растворенных солей в речных водах.

#### Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. Находим молярную массу катионов кальция по Периодической таблице химических элементов –  $M_{(\text{Ca}^{2+})} = 40,08$  г/моль.

ЭТАП 2. Как правило, соленость речной воды не превышает 0,1 ‰ (в среднем 0,085‰). Поэтому в расчетах плотность речной воды принимаем равной 1 кг/л.

ЭТАП 3. Для преобразования заданной концентрации, выраженной в промилле, в молярную концентрации воспользуемся формулой (1):

$$C_m = \frac{C_1}{M_{(\text{Ca}^{2+})}} \cdot \rho \cdot 1000 = \frac{0,020}{40,08} \cdot 1,0 \cdot 1000 = 0,499 \text{ ммоль/л}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В речной воде с содержанием кальция 0,020‰ его концентрация составляет 0,499 ммоль/л.

### **Обучающая задача 3**

*Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной из Баренцева моря, если ее хлорность равна 15‰.*

#### Типовое решение задачи

**ОБЩИЙ ПОДХОД.** Несмотря на то, что соотношение основных компонентов морской воды под действием материкового стока может незначительно меняться, из результатов многочисленных исследований проб воды, отобранных в разных частях Мирового океана следует, что в

водах открытого океана количественные соотношения между главными компонентами солевого состава, как правило, постоянны независимо от их абсолютной концентрации. Впервые эта зависимость была экспериментально доказана У. Дитмаром и получила название *закон Дитмара*.

Пользуясь законом Дитмара можно по концентрации одного иона, рассчитать содержание остальных компонентов. Чаще всего для этого пользуются достаточно легко определяемой в природных водах величиной – хлорностью. *Хлорность воды* – это количество хлорид-ионов (в г) содержащееся в 1 кг воды, эквивалентное сумме ионов галогенов (фтора, хлора, брома и йода), осаждаемых нитратом серебра.

#### Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. Для решения задачи воспользуемся законом Дитмара:

$$\frac{C_{\text{Na}}}{C_{\text{Cl}}} = \frac{C'_{\text{Na}}}{C'_{\text{Cl}}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{Na}}$ ,  $C'_{\text{Na}}$  – концентрация катионов натрия для среднего состава морской воды и морской воды в исследуемой акватории, ‰;

$C_{\text{Cl}}$ ,  $C'_{\text{Cl}}$  – концентрация анионов хлора для среднего состава морской воды и морской воды в исследуемой акватории, ‰;

Среднее содержание катионов натрия в морской воде составляет 10,56‰, а содержание хлорид-ионов – 18,98‰

ЭТАП 2. Определяем содержание ионов натрия в Баренцевом море пользуясь формулой (2):

$$C'_{\text{Na}} = \frac{C_{\text{Na}} \cdot C'_{\text{Cl}}}{C_{\text{Cl}}} = \frac{10,56 \cdot 15,00}{18,98} = 8,34‰$$

ЭТАП 2. Находим молярную массу поваренной соли:

$$M_{\text{NaCl}} = 22,99 + 35,45 = 58,44 \text{ г/моль}$$

ЭТАП 2. Находим массу поваренной соли содержащейся в 1 кг пробы морской воды, взятой из Баренцевого моря:

$$m_{\text{NaCl}} = \frac{M_{\text{NaCl}} \cdot C'_{\text{Na}}}{M_{\text{Na}}} = \frac{58,44 \cdot 8,34}{22,99} = 21,20 \text{ г/кг}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В 1 кг морской воды с хлорностью 15‰, отобранной из Баренцева моря, содержится 21,20 г NaCl.

#### Обучающая задача 4

*Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) Белого моря, если ее хлорность равна 14,38‰.*

#### Типовое решение задачи

**ОБЩИЙ ПОДХОД.** Определить содержание солей в морской воде с высокой точностью очень затруднительно, так как при выпаривании пробы часть бикарбонатов разлагается, а часть хлоридов подвергается гидролизу. Поэтому в настоящее время, при характеристике минерального состава морских вод, используют понятие соленость. *Соленость – это общее количество твердого остатка, полученное из 1 кг морской воды, которое определено после того, как весь карбонат переведен в окись, бром и йод и замещены хлором, а органическое вещество полностью окислено.*

Для ориентировочной оценки солености по величине хлорности можно воспользоваться эмпирическими формулами, позволяющими определить соленость с погрешностью до 0,1‰. Впервые такую зависимость установил М. Кнудсен еще в 1902 г.:

$$S = 0,030 + 1,805Cl, \quad (3)$$

где S – соленость морской воды, ‰;

Cl – хлорность морской воды, ‰.

В 1967 г. международным соглашением взамен формулы М. Кнудсена была принята формула, получившая название «международной»:

$$S = 0,030 + 1,80655Cl, \quad (4)$$

Из-за того, что солевой состав заливов и внутренних морей незначительно отличается от среднего солевого состава океанских вод, в настоящее время существуют аналогичные эмпирические формулы для отдельных морских вод:

$$\text{Черного моря} - S = 1,1856 + 1,7950Cl, \quad (5)$$

$$\text{Балтийского моря} - S = 1,115 + 1,805Cl, \quad (6)$$

$$\text{Азовского моря} - S = 0,21 + 1,794Cl, \quad (7)$$

$$\text{Каспийского моря} - S = 0,140 + 2,360Cl, \quad (8)$$

#### Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. Для решения задачи воспользуемся международной эмпирической формулой (4):

$$S = 0,030 + 1,80655Cl = 0,030 + 1,80655 \cdot 14,38 = 26\text{‰}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Ориентировочная соленость природных вод с хлорностью 14,38‰, отобранных из Белого моря составляет 26‰.

### **Обучающая задача 5**

*Найдите массу  $Ca(OH)_2$  и  $Na_2CO_3$ , которую надо взять, чтобы устранить жесткость воды объемом 5 дм<sup>3</sup>, если ее общая жесткость обусловлена присутствием ионов кальция и равна 6,52 мг-эquiv/л, а временная – 3,32 мг-эquiv/л. Напишите уравнения происходящих реакций.*

#### Типовое решение задачи

ОБЩИЙ ПОДХОД. Жесткость воды – это свойство, обусловленное наличием в ней солей кальция и магния (ммоль-эquiv/л). За единицу жесткости принимают число миллиэквивалентов (мг-эquiv) катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , которые содержатся в 1 л воды. Общую жесткость можно вычислить по формуле:

$$Ж = \frac{m_{Ca^{2+}}}{V \cdot 20,04} + \frac{m_{Mg^{2+}}}{V \cdot 12,16}, \quad (9)$$

где  $m_{Ca^{2+}}$  и  $m_{Mg^{2+}}$  – массы ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , мг;

20,14 и 12,16 – эквивалентные молярные массы кальция и магния соответственно.

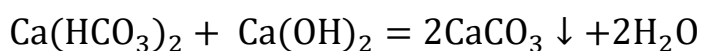
$V$  – объем воды, л;

Общая жесткость равна сумме величин временной (гидрокарбонатной) жесткости и постоянной жесткости:

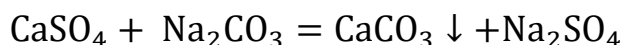
$$Ж_{об} = Ж_{вр} + Ж_{пост}$$

#### Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. В ходе химического устранения временной жесткости, обусловленной присутствием кальция, протекает следующая реакция:



ЭТАП 2. В ходе химического устранения постоянной жесткости, обусловленной присутствием кальция, протекает следующая реакция:



ЭТАП 3. Найдем постоянную жесткость воды, обусловленную присутствием в воде сульфатов кальция:

$$Ж_{пост} = Ж_{об} - Ж_{вр} = 6,52 - 3,32 = 3,2 \text{ ммоль} - \text{экв/л}$$

ЭТАП 4. Найдем массу сульфата кальция в воде заданной жесткости:

$$m_{CaSO_4} = Ж_{пост} \cdot V_{воды} \cdot M_э = 3,2 \cdot 5 \cdot 68,07 = 1089 \text{ мг} = 1,089 \text{ г}$$

ЭТАП 4. Найдем количество моль сульфата кальция, которое содержится в 1,089 г соли:

$$n_{CaSO_4} = \frac{m_{CaSO_4}}{M_{CaSO_4}} = \frac{1,088}{136,14} = 0,008 \text{ моль}$$

ЭТАП 5. В соответствии с уравнением взаимодействия сульфата кальция с карбонатом натрия, количество моль  $CaSO_4$  равно количеству моль  $Na_2CO_3$ :

$$n(CaSO_4) = n(Na_2CO_3) = 0,008 \text{ моль}$$

ЭТАП 6. Найдем массу 0,008 моль карбоната натрия, которая необходима для устранения постоянной жесткости:

$$\begin{aligned} m_{Na_2CO_3} &= n_{Na_2CO_3} \cdot M_{Na_2CO_3} = 0,008 \cdot (2 \cdot 22,99 + 12,01 + 3 \cdot 16) = \\ &= 0,008 \cdot 105,99 = 0,848 \text{ г} \end{aligned}$$

ЭТАП 7. По условию задачи концентрация гидрокарбоната кальция в воде составляет 3,32 мг-экв/л. Найдем массу  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  в 5 дм<sup>3</sup> (5 л) воды:

$$m_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2} = C_{\text{M}_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2}} \cdot V_{\text{воды}} \cdot M_{\text{э}_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2}} = \\ = 3,32 \cdot 5 \cdot \frac{(40,08 + 2(1,01 + 12,01 + 48,00))}{2} = 3,32 \cdot 5 \cdot 81,06 = 1346 \text{ мг} = 1,346 \text{ г}$$

ЭТАП 8. Найдем количество молей гидрокарбоната кальция, которое содержится в 1,3446 г соли:

$$n_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2} = \frac{m_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2}}{M_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2}} = \frac{1,346}{162,12} = 0,0083 \text{ моль}$$

ЭТАП 9. В соответствии с уравнением взаимодействия гидрокарбоната кальция с гидроксидом кальция, количество молей  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  равно количеству молей  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :

$$n(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,0083 \text{ моль}$$

ЭТАП 10. Найдем массу 0,0083 моль гидроксида кальция, которая необходима для устранения временной жесткости:

$$m_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = n_{\text{Ca}(\text{OH})_2} \cdot M_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 0,0083 \cdot (40,08 + 2 \cdot (16,00 + 1,01)) = \\ = 0,0083 \cdot 74,10 = 0,615 \text{ г}$$

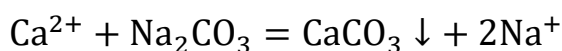
**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Массы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  необходимые для устранения жесткости воды объемом 5 дм<sup>3</sup> равны 0,615 г и 0,848 г соответственно.

### Обучающая задача 6

*Для умягчения воды объемом 100 л потребовалась кальцинированная сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) массой 12,72 г. Чему равна жесткость воды, обусловленная присутствием катионов кальция?*

Типовое решение задачи

**ОБЩИЙ ПОДХОД.** Умягчение воды происходит в ходе реакции:



Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. Найдем массу кальция, вступившего в реакцию:



$$m_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot M_{\text{Ca}^{2+}}}{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} = \frac{12,72 \cdot 40,08}{(2 \cdot 22,99 + 12,01 + 3 \cdot 16,0)} = \frac{509,82}{105,99} = 4,81 \text{ г}$$

ЭТАП 2. Определим жесткость воды, обусловленную присутствием ионов кальция:

$$\text{Ж} = \frac{m_{\text{Ca}^{2+}}}{V \cdot 20,04} = \frac{4,81}{100 \cdot 20,04} = 0,0024 \text{ г} - \frac{\text{ЭКВ}}{\text{л}} = 2,4 \text{ мг} - \text{ЭКВ/л}$$

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Жесткость воды, обусловленная присутствием катионов кальция равна 2,4 мг-ЭКВ/л.

### Обучающая задача 7

*Какая природная вода более агрессивна по отношению к гипсу ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), если активность катионов кальция и сульфат-ионов для этих двух вод составляет:*

*Для первой пробы воды –  $a_1(\text{Ca}^{2+}) = 10^{-3}$  моль/л;  $a_1(\text{SO}_4^{2-}) = 10^{-1,5}$  моль/л;*

*Для второй пробы воды –  $a_2(\text{Ca}^{2+}) = 10^{-2,8}$  моль/л;  $a_2(\text{SO}_4^{2-}) = 10^{-2}$  моль/л?*

#### Типовое решение задачи

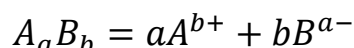
**ОБЩИЙ ПОДХОД.** Оценить интенсивность процессов растворения минеральных веществ в природных водах можно с помощью показателя агрессивности. Показатель агрессивности природных вод характеризует способность этой системы перевести твердое вещество в раствор. Численное значение показателя агрессивности по отношению к данному веществу является логарифмической функцией. Этот показатель зависит от величины константы равновесия реакции растворения и произведения активности ионов:

$$A = \lg \frac{K_{\text{равн}}}{\text{ПА}_{\text{прод}}/\text{ПА}_{\text{реак}}}, \quad (10)$$

где  $K$  – константа равновесия реакции растворения данного вещества;  
 $\text{ПА}_{\text{прод}}$  – произведение активности ионов, содержащихся в воде;

$ПА_{\text{реак}}$  – произведение активности реагентов, содержащихся в растворяемом веществе.

Константа равновесия равна произведению активностей образующихся ионов в степени, соответствующей их стехиометрическим коэффициентам. То есть для уравнения реакции, представленного в виде схемы:



константа равновесия будет равна:

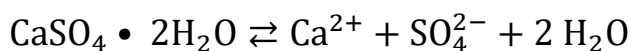
$$K_{\text{равн}} = a_A^a a_B^b, \quad (11)$$

где  $a$  –  $a_A$  и  $a_B$  активности соответствующих ионов в степенях, соответствующих их стехиометрическим коэффициентам, моль/л.

С помощью показателя агрессивности можно сравнить способность различных природных вод растворять минералы. Чем он больше, тем более интенсивно протекает процесс растворения вещества.

#### Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. Процесс растворения гипса протекает по уравнению:



ЭТАП 2. В случае, когда растворяется твердое вещество, его активность может быть принята равной единице –  $ПА_{\text{реак}} = 1$ . Поэтому уравнение для расчета показателя агрессивности упрощается:

$$A = \lg \frac{K_{\text{равн}}}{ПА_{\text{прод}}}, \quad (12)$$

Поскольку значение константы равновесия процесса растворения гипса при заданных условиях – величина постоянная, то показатель агрессивности будет зависеть только от произведения активностей ионов, содержащихся в воде. Чем меньше произведение активностей ионов в природной воде, тем больше будет показатель агрессивности.

ЭТАП 3. Найдем произведения активностей для природных вод с заданной активностью ионов:

$$ПА_1 = a_1(\text{Ca}^{2+}) \cdot a_2(\text{SO}_4^{2-}) = 10^{-3} \cdot 10^{-1,5} = 10^{-4,5} \text{ (моль/л)}^2$$

$$ПА_2 = a_2(\text{Ca}^{2+}) \cdot a_2(\text{SO}_4^{2-}) = 10^{-2,8} \cdot 10^{-2} = 10^{-4,8} \text{ (моль/л)}^2.$$

Так как  $10^{-4,8} < 10^{-4,5}$ , то вторая проба природной воды более агрессивна по отношению к гипсу.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Вторая проба природной воды более агрессивна по отношению к гипсу ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), поэтому интенсивность растворения в ней более высокая.

### Обучающая задача 8

*Определите общую щелочность и величины, из которых она состоит, если в 5 л раствора содержится 0,4 г NaOH и 0,265 г Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.*

#### Типовое решение задачи

**ОБЩИЙ ПОДХОД.** Щелочность воды определяется содержанием веществ, обуславливающих образование гидроксил-ионов ( $\text{OH}^-$ ), что может происходить как при их диссоциации, так и в ходе гидролиза. Величина этого показателя в природных водах обусловлена присутствием гидрокарбонатов и карбонатов (содержащих группы –  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ), силикатов (содержащих группы – содержащих группы –  $\text{HSiO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ), а также гумматов. В сточных водах, кроме перечисленных веществ, повышение щелочности может происходить в результате присутствия фосфатов (содержащих группы –  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) и гидроксидов (имеющих гидроксильную группу  $\text{OH}^-$ ).

В основном, на щелочность природных вод оказывает влияние присутствие в воде гидрокарбонатов и карбонатов, а в загрязненных водоемах – еще и гидратов. Таким образом, общая щелочность ( $\text{Щ}_0$ ) складывается из:

– бикарбонатной (гидрокарбонатной) щелочности ( $\text{Щ}_6$ ) – обусловленной присутствием в воде гидрокарбонатных ионов  $\text{HCO}_3^-$ , в составе солей  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

- карбонатной щелочности ( $Щ_{\text{к}}$ ) – обусловленной присутствием в воде карбонатных ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ , в составе солей  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$
- гидратной щелочности ( $Щ_{\text{г}}$ ) – обусловленной присутствием в воде гидроксильных ионов  $\text{OH}^-$ , в составе гидратов  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

### Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. Определим, из каких величин складывается щелочность. Так как в растворе содержатся только анионы  $\text{OH}^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$ , то общая щелочность ( $Щ_{\text{о}}$ ) будет складываться из гидратной ( $Щ_{\text{г}}$ ), обусловленной присутствием  $\text{NaOH}$ , и карбонатной ( $Щ_{\text{к}}$ ), обусловленной присутствием  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

ЭТАП 2. Для определения щелочности, находим концентрацию растворенных веществ:

$$C_{\text{NaOH}} = \frac{400}{5} = 80 \text{ мг/л}$$

$$C_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{265}{5} = 53 \text{ мг/л}$$

ЭТАП 3. Представляем полученные величины в мг-экв/л:

$$Щ_{\text{г}} = \frac{C_{\text{NaOH}}}{M_{\text{ЭNaOH}}} = \frac{80}{40} = 2 \text{ мг – экв/л}$$

$$Щ_{\text{к}} = \frac{C_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{ЭNa}_2\text{CO}_3}} = \frac{53}{((2 \cdot 23 + 12 + 3 \cdot 16)/2)} = \frac{53}{53} = 1 \text{ мг – экв/л}$$

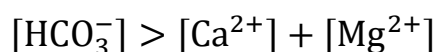
**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Общая щелочность раствора, в 5 л которого содержится 0,4 г  $\text{NaOH}$  и 0,265 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , составляет 3 мг-экв/л.

### **Обучающая задача 9**

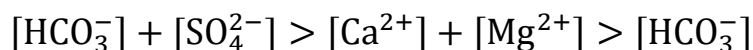
*К какому классу, группе и типу принадлежит морская вода в соответствии с классификацией О.А. Алекина, имеющая следующий состав главных ионов, (в ммоль/л):  $[\text{Na}^+] = 459,1$ ;  $[\text{Mg}^{2+}] = 52,3$ ;  $[\text{Ca}^{2+}] = 10,0$ ;  $[\text{Cl}^-] = 534,6$ ;  $[\text{SO}_4^{2-}] = 27,6$ ;  $[\text{HCO}_3^-] = 2,3$ .*

## Типовое решение задачи

**ОБЩИЙ ПОДХОД.** Классификация природных вод, разработанная О.А. Алекиным, основана на различии преобладающих в природных водах анионов и катионов. В соответствии с этой классификацией все воды делятся на *три класса* по преобладающему аниону: карбонатные, сульфатные; хлоридные. К классу гидрокарбонатных вод относятся, как правило, пресные воды рек, озер и большая часть подземных вод. Класс хлоридных вод объединяет воды морей, лиманов, а также подземные воды солончаковых зон. Сульфатные воды по минерализации занимают промежуточное положение между карбонатными и хлоридными. По преобладающему катиону классы делят на *три группы* (кальциевая, магниевая, натриевая). В соответствии с количественным соотношением катионов и анионов каждая группа включает по *три типа*. К первому типу относят воды, в которых концентрация гидрокарбонат-ионов  $\text{HCO}_3^-$  (в ммоль-экв/л) больше, чем суммарная концентрация ионов кальция и магния:

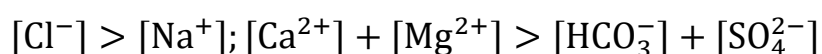


Такие воды слабо минерализованы, в них содержится избыток гидрокарбонат-ионов. Для вод второго типа характерна суммарная ионов кальция и магния, превышающая концентрацию гидрокарбонат-ионов. Однако суммарное содержание гидрокарбонат-ионов и сульфат-ионов, в этих водах, превышает сумму концентраций катионов кальция и магния:



Ко второму типу природных вод относятся воды рек и озер малой и средней минерализации, а также подземные воды.

Для вод третьего типа характерна высокая концентрация ионов хлора, превышающая содержание ионов натрия. При этом суммарная концентрация катионов кальция и магния превышает сумму концентраций гидрокарбонат- и сульфат-ионов:



Четвертый тип вод характеризуется отсутствием гидрокарбонат-ионов. Воды четвертого типа имеются только в классах хлоридных и сульфатных вод. Такие воды, как правило, сильно минерализованы и являются кислыми.

#### Этапы решения обучающей задачи

ЭТАП 1. Для решения задачи следует представленные концентрации перевести в моль-экв/л. Для этого необходимо разделить заданные значения концентрации ( $C_1$ ) на соответствующий фактор эквивалентности:

$$C_{2_{\text{в-ва}}}(\text{моль} - \text{экв/л}) = C_{1_{\text{в-ва}}}/f_{\text{э-ва}}(\text{моль} - \text{экв/л}),$$

где  $f_3$  – фактор эквивалентности, который для двузарядных ионов равен  $\frac{1}{2}$ . Таким образом, концентрации главных ионов в моль-экв/л следующие:

$$[\text{Na}^+] = 459,1; [\text{Mg}^{2+}] = 104,6; [\text{Ca}^{2+}] = 20,0;$$

$$[\text{Cl}^-] = 534,6; [\text{SO}_4^{2-}] = 55,2; [\text{HCO}_3^-] = 2,3.$$

ЭТАП 2. Преобладающим анионом в данной природной воде является анион хлора, поскольку его концентрация, выраженная в ммоль-экв./л, намного превосходит концентрации других анионов. Следовательно, данная вода относится к классу хлоридных вод.

ЭТАП 3. Из катионов преобладающим является натрий, поэтому эти воды относятся к группе натриевых.

ЭТАП 4. Для определения типа воды просуммируем концентрации катионов кальция и магния и сравним полученную сумму с содержанием гидрокарбонат-ионов:

$$C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}} = 20,0 + 104,6 = 124,6 \text{ ммоль} - \text{экв/л}$$

$$124,6 \text{ ммоль} - \text{экв/л} > 2,3 \text{ ммоль} - \text{экв/л}$$

Так как суммарное количество катионов кальция и магния превышает концентрацию гидрокарбонат-ионов, вода не относится к первому типу.

ЭТАП 5. Сравним суммарную концентрацию гидрокарбонат-ионов и сульфат-ионов с суммарной концентрацией катионов кальция и магния:

$$C_{\text{HCO}_3^-} + C_{\text{SO}_4^{2-}} = 2,3 + 55,2 = 57,5 \text{ ммоль} - \text{экв/л}$$

$$124,6 \text{ ммоль} - \text{экв/л} > 57,5 \text{ ммоль} - \text{экв/л}$$

Так как суммарное количество катионов кальция и магния превышает суммарное содержание гидрокарбонат-ионов и сульфат-ионов, то вода не относится ко второму типу вод.

ЭТАП 6. Сравним концентрации ионов хлора и натрия:

$$534,6 \text{ ммоль} - \text{экв/л} > 459,1 \text{ ммоль} - \text{экв/л}$$

То есть для данной природной воды соблюдается соотношение:

$$[\text{Cl}^-] > [\text{Na}^+]; [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] > [\text{HCO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}]$$

Поэтому морскую воду следует отнести к третьему типу вод.

ЭТАП 7. При краткой записи состава природной воды, *класс воды* обозначают символом одного из химических элементов, входящего в состав аниона (С, S, Cl), *группу воды* – символом преобладающего катиона (Ca, Mg, Na). Группу указывают справа вверху от знака аниона, а тип – римской цифрой (внизу справа). Таким образом, краткая запись состава морской воды следующая:  $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** по классификации О.А. Алекина морскую воду следует отнести к классу хлоридных вод натриевой группы третьего типа.

## ЗАДАНИЯ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

---

1. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной С.А. Зерновым.
2. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной Л. Бертенсоном.
3. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной А.С. Щукаревым.
4. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной С.А. Дуровым.
5. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной М.Г. Валяшко.
6. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной И.Е. Зайцевым.
7. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной Н.И. Толстихиным.
8. Особенности классификации природных вод по жесткости, наиболее часто используемой в РФ.
9. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной О.А. Алекиным.
10. Особенности, достоинства и недостатки классификации природных вод, предложенной В.И. Вернадским.
11. Особенности минерализации и ионного состава атмосферных осадков.
12. Факторы, определяющие химический состав речных вод.
13. Сезонные изменения минерализации и состава речных вод. Типы гидрохимических режимов рек.
14. Характеристика речных вод по минерализации и ионному составу.
15. Характеристика сезонных изменений содержания растворенных в речных водах газов.
16. Факторы, определяющие химический состав озерных вод.



17. Особенности минерализации и ионного состава вод озер.
18. Особенности формирования химического состава вод водохранилищ.
19. Характеристика процессов самоочищения в водах водохранилищ.
20. Особенности минерализации и ионного состава морских вод.
21. Особенности состава консервативных и неконсервативных химических загрязнителей, поступающих в природные воды со стоками.
22. Основные химические загрязнители водных объектов, присутствующие в составе промышленных стоков.
23. Основные химические загрязнители водных объектов, присутствующие в составе стоков с сельскохозяйственных территорий.
24. Отличительные черты и генетические категории вод местного стока.
25. Характеристика гидрохимической зональности местного стока.
26. Особенности использования вод местного стока с помощью гидротехнических сооружений – прудов, лиманов, водохранилищ.
27. Характеристика разновидностей водосборов, определяющих тип питания водотоков. Поверхностный и подземный, сточный и бессточный водосборы.
28. Характеристика типов рек в зависимости от площади водосбора.
29. Характеристика типов рек в зависимости от особенностей рельефа водосбора.
30. Трансформация химического состава природных вод на водосборной площади.
31. Правильность и показатели качества анализа.
32. Использование объемных методов анализа при исследовании природных вод.
33. Величины, применяемые для выражения минерализации природных вод.
34. Способы выражения ионного состава природных вод.

35. Допустимая и фактическая погрешность анализа минерального состава природных вод.
36. Особенности сбора информации в ходе стационарных гидрохимических наблюдений.
37. Обязательные, специальные и индивидуальные программы наблюдения за качеством природных вод.
38. Критерии выбора участка для экспедиционных наблюдений.
39. Оперативное и долгосрочное прогнозирование.
40. Критерии достоверности прогноза состава водных объектов.
41. Выразите концентрацию сульфат-иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) для среднего состава морской воды в ммоль/л, если его содержание в ней составляет 2,65‰.
42. Выразите концентрацию сульфат-иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) для среднего состава речной воды в ммоль/л, если его содержание в ней составляет 0,012‰.
43. Выразите концентрацию гидрокарбонат-иона ( $\text{HCO}_3^-$ ) для среднего состава морской воды в ммоль/л, если его содержание составляет 0,14‰.
44. Выразите концентрацию гидрокарбонат-иона ( $\text{HCO}_3^-$ ) для среднего состава речной воды в ммоль/л, если его содержание составляет 0,035‰.
45. Выразите концентрацию хлорид-иона ( $\text{Cl}^-$ ) для среднего состава речной воды в ммоль/л, если его содержание составляет 0,0057‰.
46. Выразите концентрацию катиона кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) для среднего состава морской воды в ммоль/л, если его содержание составляет 0,40‰.
47. Выразите концентрацию катиона натрия ( $\text{Na}^+$ ) для среднего состава морской воды в ммоль/л, если его содержание составляет 10,56‰.
48. Выразите концентрацию катиона натрия ( $\text{Na}^+$ ) для среднего состава речной воды в ммоль/л, если его содержание составляет 0,0058‰.
49. Выразите концентрацию катиона магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ) для среднего состава морской воды в ммоль/л, если его содержание составляет 1,27‰.
50. Выразите концентрацию катиона калия ( $\text{K}^+$ ) для среднего состава

морской воды в ммоль/л, если его содержание составляет 0,38‰.

51. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной из заливов Северного моря, если ее хлорность равна 20‰.
52. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной из заливов Балтийского моря, если ее хлорность равна 16‰.
53. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной из Красного моря, если ее хлорность равна 23‰.
54. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной из Персидского залива, если ее хлорность равна 22‰.
55. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной из центральной части Черного моря, если ее хлорность равна 9‰.
56. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной в северной части Карского моря, если ее хлорность равна 18‰.
57. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной в северной части моря Лаптевых, если ее хлорность равна 17‰.
58. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной в прибрежной зоне Азовского моря, если ее хлорность равна 6‰.
59. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной в центральной части Каспийского моря, если ее хлорность равна 5‰.
60. Определите, сколько поваренной соли NaCl (в г) содержится в 1 кг морской воды, отобранной в Карибском заливе, если ее хлорность

равна 19‰.

61. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в прибрежной зоне Черного моря, если ее хлорность равна 9,37‰.
62. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в заливах Балтийского моря, если ее хлорность равна 16,06‰.
63. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в центральной части Азовского моря, если ее хлорность равна 6,12‰.
64. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в прибрежной зоне Каспийского моря, если ее хлорность равна 5,45‰.
65. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в заливах Северного моря, если ее хлорность равна 19,92‰.
66. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) Карибского залива, если ее хлорность равна 19,36‰.
67. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в северной части моря Лаптевых, если ее хлорность равна 17,15‰.
68. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в северной части Карского моря, если ее хлорность равна 18,26‰.
69. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в Персидском заливе, если ее хлорность равна 18,81‰.
70. Найдите ориентировочную соленость природных вод (в ‰) в центральной части Красного моря, если ее хлорность равна 18,26‰.
71. Определите жесткость воды, обусловленную присутствием магния, если общая жесткость составляет 3,8 ммоль-экв/л, а содержание ионов кальция 62 мг/л.
72. Рассчитайте общую жесткость воды, если в 300 мл пробы воды содержится 15 мг ионов кальция и 2 мг ионов магния.
73. Какое количество карбоната натрия (в г) потребуется для устранения жесткости в 1 м<sup>3</sup> природной воды, если в 1 л этой воды содержится 50 мг гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 15 мг сульфата кальция CaSO<sub>4</sub>?

74. Определите жесткость воды, в 10 л которой содержится 6 г  $\text{CaCl}_2$ .
75. Рассчитайте количество гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , (в г), которое содержится в 1 м<sup>3</sup> воды, имеющей жесткость 3 ммоль-экв/л.
76. Определите жесткость воды, в 100 л которой содержится 14,632 г гидрокарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .
77. Сколько ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  потребуется, чтобы устранить некарбонатную жесткость в 1 м<sup>3</sup> воды, равную 3,18 ммоль-экв/л?
78. Сколько соды (в г) необходимо прибавить к 5 м<sup>3</sup> воды, чтобы устранить ее жесткость, равную 2,5 мэкв?
79. Определите жесткость воды, содержащей 0,324 г гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
80. Определите жесткость природной воды, содержащей 0,3894 г/л катионов кальция и 0,0844 г/л катионов магния.
81. Найдите массу хлора, которая ежедневно необходима для очистки воды, при условии, что суточный расход воды на человека составляет 350 л, а норма расхода хлора  $2 \cdot 10^{-4}$  г/л. Количество жителей составляет 370 тыс. человек.
82. Каким может быть предельное количество цинка, ежедневно поступающего в сеть водоснабжения мощностью  $1 \cdot 10^7$  л/сут, чтобы не наблюдалось превышения его допустимого уровня в питьевой воде, составляющего 5 мг/л?
83. Каким может быть максимальное количество кадмия, ежедневно поступающего в сеть водоснабжения мощностью  $1 \cdot 10^7$  л/сут, чтобы не наблюдалось превышения его допустимого уровня в питьевой воде, составляющего 0,01 мг/л?
84. Каким может быть максимальное количество марганца, ежедневно поступающего в сеть водоснабжения мощностью  $1 \cdot 10^7$  л/сут, чтобы не наблюдалось превышения его допустимого уровня в питьевой воде, составляющего 0,05 мг/л?
85. Каким может быть максимальное количество меди, ежедневно

поступающий в сеть водоснабжения мощностью  $1 \cdot 10^7$  л/сут, чтобы не наблюдалось превышения ее допустимого уровня в питьевой воде, составляющего 1 мг/л.

86. Для получения гидроксида магния путем осаждения ионов магния известковым молоком ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) используют морскую воду. Найдите объем воды, который необходим для получения 1 кг  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , если общая минерализация морской воды 36 г/л, а содержание магния в виде хлорида составляет 9,44% от общей минерализации.

87. Какая из двух природных вод более агрессивна по отношению к гипсу ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), если активности катионов кальция и сульфат-ионов для первой и второй воды составляют:

$$a_1(\text{Ca}^{2+}) = 10^{-2,5} \text{ моль/л}; a_1(\text{SO}_4^{2-}) = 10^{-1,7} \text{ моль/л};$$

$$a_2(\text{Ca}^{2+}) = 10^{-2,7} \text{ моль/л}; a_2(\text{SO}_4^{2-}) = 10^{-2,3} \text{ моль/л?}$$

Активность гипса в твердой фазе принять равной единице.

88. Какая из двух природных вод более агрессивна по отношению к гипсу ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), если активности катионов кальция и сульфат-ионов для первой и второй воды составляют:

$$a_1(\text{Ca}^{2+}) = 10^{-2,7} \text{ моль/л}; a_1(\text{SO}_4^{2-}) = 10^{-2,3} \text{ моль/л?}$$

$$a_2(\text{Ca}^{2+}) = 10^{-3} \text{ моль/л}; a_2(\text{SO}_4^{2-}) = 10^{-1,5} \text{ моль/л};$$

89. В водном растворе присутствуют кальцинированная сода и гашеная известь. Известно, что карбонатная щелочность раствора равна 0,4 мг-экв/л. Определите (в мг-экв/л) содержание в растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , если общая щелочность составляет 0,7 мг-экв/л.

90. Определите общую щелочность, а также величины, из которых состоит этот показатель, если в 3 л раствора содержится 0,12 г  $\text{NaOH}$  и 0,477 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

91. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести воды, состав которых соответствует среднему составу речной воды, (в г/л):

$$[\text{Na}^+] = 5,8 \cdot 10^{-3}; [\text{Mg}^{2+}] = 3,4 \cdot 10^{-3}; [\text{Ca}^{2+}] = 2,0 \cdot 10^{-3};$$

$$[\text{Cl}^-] = 5,7 \cdot 10^{-3}; [\text{SO}_4^{2-}] = 1,2 \cdot 10^{-3}; [\text{HCO}_3^-] = 3,5 \cdot 10^{-3}.$$

92. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести воды р. Волга следующего ионного состава, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 12; [\text{Mg}^{2+}] = 22; [\text{Ca}^{2+}] = 80;$$

$$[\text{Cl}^-] = 19; [\text{SO}_4^{2-}] = 112; [\text{HCO}_3^-] = 240.$$

93. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести воды р. Кубань следующего ионного состава, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 11; [\text{Mg}^{2+}] = 3; [\text{Ca}^{2+}] = 37;$$

$$[\text{Cl}^-] = 19; [\text{SO}_4^{2-}] = 18; [\text{HCO}_3^-] = 17.$$

94. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести поверхностные воды оз. Балхаш следующего ионного состава, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 262; [\text{Mg}^{2+}] = 74; [\text{Ca}^{2+}] = 55;$$

$$[\text{Cl}^-] = 228; [\text{SO}_4^{2-}] = 354; [\text{HCO}_3^-] = 281.$$

95. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести поверхностные воды оз. Байкал следующего ионного состава, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 6; [\text{Mg}^{2+}] = 4; [\text{Ca}^{2+}] = 15;$$

$$[\text{Cl}^-] = 2; [\text{SO}_4^{2-}] = 5; [\text{HCO}_3^-] = 60.$$

96. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести воды Цюрихского озера следующего ионного состава, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 5; [\text{Mg}^{2+}] = 7; [\text{Ca}^{2+}] = 41;$$

$$[\text{Cl}^-] = 1; [\text{SO}_4^{2-}] = 11; [\text{HCO}_3^-] = 73.$$

97. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести воды Белого моря следующего ионного состава, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 8; [\text{Mg}^{2+}] = 4; [\text{Ca}^{2+}] = 13;$$

$$[\text{Cl}^-] = 7; [\text{SO}_4^{2-}] = 19; [\text{HCO}_3^-] = 59.$$

98. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести воды Черного моря следующего ионного состава, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 11; [\text{Mg}^{2+}] = 10; [\text{Ca}^{2+}] = 52;$$

$$[\text{Cl}^-] = 69; [\text{SO}_4^{2-}] = 110; [\text{HCO}_3^-] = 173.$$

99. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести воды р. Нил следующего ионного состава, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 11,5; [\text{Mg}^{2+}] = 8,8; [\text{Ca}^{2+}] = 15,8;$$

$$[\text{Cl}^-] = 3,4; [\text{SO}_4^{2-}] = 46,7; [\text{HCO}_3^-] = 84,6.$$

100. К какому классу, группе и типу в соответствии с классификацией О.А. Алекина, следует отнести воды р. Амазонка, (в мг/л):

$$[\text{Na}^+] = 2,8; [\text{Mg}^{2+}] = 0,5; [\text{Ca}^{2+}] = 5,4;$$

$$[\text{Cl}^-] = 2,6; [\text{SO}_4^{2-}] = 0,8; [\text{HCO}_3^-] = 18,1.$$



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, В.И. Химия воды: аналитическое обеспечение лабораторного практикума: учебное пособие / В.И. Аксенов, Л.И. Ушакова, И.И. Ничкова; под редакцией В. И. Аксенова. – Екатеринбург : УрФУ, 2014. – 140 с.
2. Демченко, Е.А. Исследование качества воды : учебное пособие / Е.А. Демченко, Е.В. Нестерова. – Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2013. – 80 с.
3. Никаноров, А.М. Гидрохимия : учебник / А.М. Никаноров. – 3-е изд. – Ростов/Дон : НОК, –2008. — 461 с.
4. Привезенцев, Ю.А. Гидрохимия рыбохозяйственных водоемов : учебное пособие / Ю. А. Привезенцев. – М : РГАУ МСХА, 2008. – 98 с.
5. Топалова, О.В. Химия окружающей среды : учебное пособие / О.В. Топалова, Л.А. Пимнева. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 160 с.
6. Фомина, Н.В. Химия окружающей среды : учебное пособие / Н.В. Фомина. – Красноярск : КрасГАУ, 2018. – 140 с.
7. Химические методы изучения состояния окружающей среды : учебное пособие / составители О. Б. Кузнецова [и др.] ; под общей редакцией О. Б. Кузнецовой, З. В. Киреевой. – Вологда : ВоГУ, 2014. – 248 с.
8. Химия: очистка вод от тяжелых металлов гуминовыми кислотами: лабораторный практикум : учебное пособие / И.М. Мейдель, С.А. Эпштейн, В.И. Минаев, В.Г. Нестерова ; под редакцией С.А. Эпштейн. – Москва : МИСИС, 2014. – 29 с.
9. Шачнева, Е.Ю. Водоподготовка и химия воды : учебно-методическое пособие / Е.Ю. Шачнева. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 104 с.

© Елена Валериевна Сухаренко, Сабрие Серверовна Зинабадинова

Рыбохозяйственная гидрохимия  
Практикум по самостоятельной работе и выполнению контрольной  
работы для студентов направления подготовки  
35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура  
очной и заочной форм обучения

Тираж \_\_\_\_\_ экз. Подписано к печати \_\_\_\_\_

Заказ № \_\_\_\_\_ Объем п.л. 1,83 п.л.

«ФГБОУ ВО «КГМТУ»

298309, г. Керчь, Орджоникидзе, 82