

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

К. Д. Микова

ГИДРОХИМИЯ

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

*Допущено методическим советом
Пермского государственного национального
исследовательского университета в качестве
учебно-методического пособия для студентов,
обучающихся по направлениям подготовки бакалавров
«Гидрометеорология» и «Прикладная гидрометеорология»*



Пермь 2022

УДК 556.5
ББК 26.222.54
М594

Микова К. Д.

М594 Гидрохимия. Практические аспекты : учебно-методическое пособие / К. Д. Микова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2022. – 92 с.

ISBN 978-5-7944-3783-6

Учебно-методическое пособие соответствует программам курсов «Гидрохимия», «Основы гидрохимии» и «Гидрология и гидрохимия».

Цель издания – формирование у студентов навыков анализа гидрохимических данных для оценки состояния водных объектов и выявления общих и региональных гидрохимических особенностей природных вод.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров «Гидрометеорология» и «Прикладная гидрометеорология», а также для студентов географического и биологического факультетов других направлений и специальностей в качестве дополнительной литературы.

УДК 556.5
ББК 26.222.54

*Печатается по решению ученого совета географического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Рецензенты: кафедра специальностей водного транспорта и управления на транспорте Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта (зав. кафедрой – доцент, канд. пед. наук **Е. В. Чабанова**);

начальник отдела инженерно-гидрометеорологических изысканий ООО НИПППД «Недра» **К. В. Смышляев**

ISBN 978-5-7944-3783-6

© ПГНИУ, 2022
© Микова К. Д., 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД	6
1.1. Физические свойства воды	6
1.2. Растворенные газы	9
1.3. Ионный состав воды	15
1.4. Изменение химического состава воды по длине рек	19
Вопросы для самопроверки	25
2. КЛАССИФИКАЦИИ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД	26
2.1. Классификации природных вод по минерализации	26
2.2. Классификации природных вод по химическому составу	31
2.2.1. Классификация С.А. Щукарева	31
2.2.2. Классификация О.А. Алекина	32
2.2.3. Классификация В.А. Александрова	34
2.2.4. Классификация М.Г. Валяшко	34
Вопросы для самопроверки	38
3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	39
Практическая работа № 1. Физические свойства воды	39
Практическая работа № 2. Растворенные газы	44
Практическая работа № 3. Ионный состав воды	51
Практическая работа № 4. Изменение химического состава воды по длине реки	58
Практическая работа № 5. Классификации природных вод	62
Реферат и доклад	65
Оформление и содержание практических работ	68
Список вопросов к зачету	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	72
ПРИЛОЖЕНИЯ	73
Приложение А	73
Приложение Б	74
Приложение В	76
Приложение Г	91

ВВЕДЕНИЕ

Гидрохимия – это наука о химическом составе природных вод, а также об естественных (химических, физических и биологических) и антропогенных факторах, влияющих на его изменение. Гидрохимия изучает разнообразные процессы в природных водах, естественные и искусственные факторы, влияющие на минерализацию и состав воды, установление общих закономерностей формирования химического состава природных вод и выяснение генезиса различных химических типов вод земной коры.

Химический состав природных вод нужно учитывать при планировании использования водных объектов для целей питьевого водоснабжения, для обеспечения промышленности и сельского хозяйства водой требуемого качества. Необходимо знать химический состав природных вод при добыче соли, поиске полезных ископаемых, планировании строительства гидротехнических сооружений. Также в условиях продолжающегося роста влияния антропогенных факторов важно следить за проблемой загрязнения природных вод.

Цель изучения дисциплины – анализ процессов формирования химического состава и качества природных вод.

Задачи дисциплины:

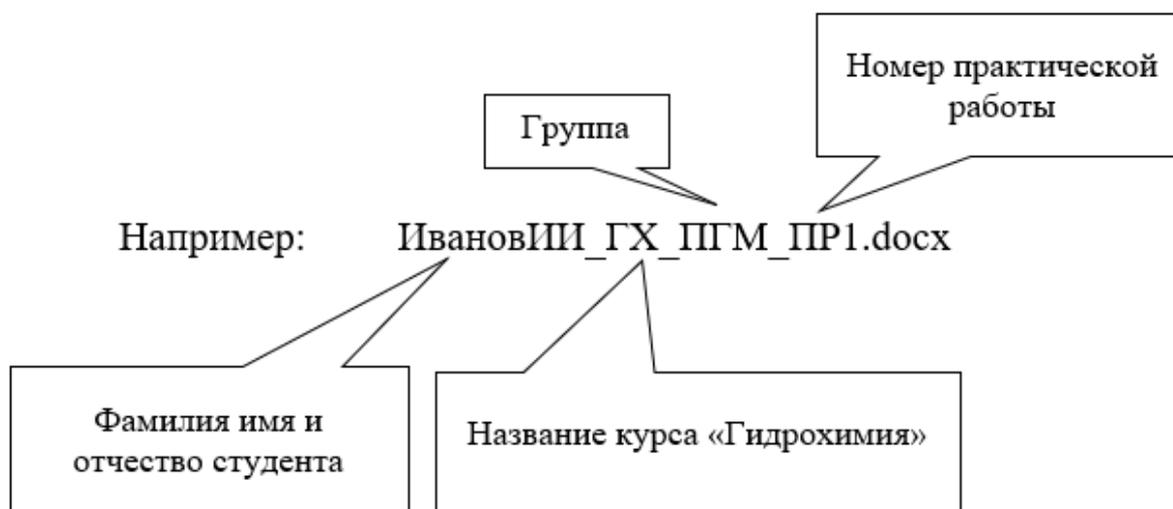
1. Познакомить студентов с факторами формирования химического состава природных вод, подчеркнуть особую роль прямых и главных факторов.
2. Изучить химический состав природных вод и его динамику в глобальном и региональном аспектах.
3. Сформировать навыки классификации вод по минерализации и химическому составу.
4. Помочь освоить комплекс методов полевых гидрометеорологических и гидрохимических исследований.
5. Познакомить с методами статистической и графической обработки гидрохимической информации.
6. Дать анализ проблемы истощения и загрязнения самого ценного природного ресурса – пресных вод.

В данном учебно-методическом пособии основное внимание уделено анализу изменения химического состава речных природных вод по

гидрологическим сезонам. Отдельный его раздел посвящен методике составления реферата и доклада на одну из актуальных тем гидрохимии.

В рамках курса «Гидрохимия» каждым студентом выполняется 5 практических работ и составляется доклад по теме реферата.

Каждая практическая работа и реферат оформляется отдельным текстовым документом (*.doc; *.docx) и высылается на адрес mikovak@yandex.ru. Файл с работой называть фамилией, инициалами имени и отчества и номером практической работы.



Практические работы принимаются преподавателем индивидуально на практических занятиях (в случае очного обучения), либо в Moodle (в случае дистанционного обучения) в течение времени, выделенного в триместре на практические работы.

Доклад по теме реферата необходимо доложить с презентацией индивидуально каждому студенту. Реферат высылается на вышеуказанный адрес электронной почты и называется следующим образом: ИвановИИ_ГХ_ПГМ_Реферат.docx.

Контрольные даты сдачи практических работ и доклада реферата устанавливаются для каждой группы индивидуально.

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД

1.1. Физические свойства воды

К физическим свойствам воды относятся: температура, цветность, прозрачность, вкус и запах.

Температура воды – это показатель, характеризующий направление и скорость химических, биохимических и гидробиологических процессов, протекающих в водных объектах. Величина и динамика колебаний температуры зависят от различных аспектов, к примеру, от действия солнечной радиации, испарения и т. д.

Цветность – это показатель, выражающий интенсивность окрашивания воды и измеряемый в градусах платино-кобальтовой шкалы (*Pl-Co* шкала). Цветность воды определяется методом сравнения с эталонными образцами. В природных водах показатель цветности может изменяться в широких пределах – от единиц до тысячи градусов. Высокая цветность – неблагоприятный показатель качества воды (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика вод по цветности
(Физико-химические показатели воды, 2021)

Цветность	Pl-Co, °
Очень малая	до 25
Малая	более 25 до 50
Средняя	более 50 до 80
Высокая	более 80 до 120
Очень высокая	более 120

Визуальный показатель цветности для питьевой воды – не более 35° по платино-кобальтовой шкале. Качество воды в рекреационных зонах водоемов тоже нормируется по цветности – она не должна визуалью обнаруживаться в столбике воды высотой 10 см.

Величина цветности речной воды изменяется в определенной закономерности (Алекин, 1970):

- **наибольшая цветность** воды (50–200°) наблюдается у рек, расположенных в таежной зоне, водосборы которых изобилуют торфяными болотами и заболоченными лесами;

- **средняя цветность** воды (12–40°) отмечена в реках лесостепной зоны, где несколько увеличивается в весенний период;
- **ниже цветность** воды в реках степной зоны (6–26°), хотя и здесь в период интенсивного смыва с поверхности она повышается до 45–55°;
- **наименьшая цветность** речных вод наблюдается в засушливых степных районах.

Причиной различной цветности воды в географических зонах является неодинаковый биохимический характер протекающих процессов трансформации остатков органического вещества, причем в южных районах распад органического вещества протекает значительно полнее и окрашенные гумусовые кислоты, вступая в обменные реакции с породами, фиксируются почвами (Алекин, 1970).

Прозрачность – это отношение интенсивности света, прошедшего через слой воды, к интенсивности света, входящего в воду. Прозрачность зависит от цвета воды и ее мутности, которые характеризуют наличие в ней взвешенных примесей. Прозрачность воды определяется её избирательной способностью поглощать и рассеивать световые лучи и зависит от условий освещения поверхности, изменения спектрального состава и ослабления светового потока, а также концентрации и характера живой и неживой взвеси.

Для определения прозрачности применяют метод Снеллена, сущность которого состоит в прочтении стандартного шрифта сверху через водяной столб (рис. 1). Определение прозрачности выполняется следующим способом. Отбирают 0,5 дм³ анализируемой воды, хорошо взбалтывают и выливают в цилиндр до отметки, предположительно соответствующей прозрачности воды, затем цилиндр устанавливают над шрифтом так, чтобы его дно находилось на 4 см выше шрифта.

Добавляя или отливая воду из цилиндра, устанавливают предельную высоту столба воды, при которой чтение шрифта еще возможно. Определение прозрачности проводят в хорошо освещенном помещении, но не при прямом солнечном свете. В качестве результата берут среднее арифметическое из двух измерений высоты слоя воды в цилиндре при первом и втором определениях прозрачности. Прозрачность выражают в сантиметрах высоты столба с точностью до 0,5 см.

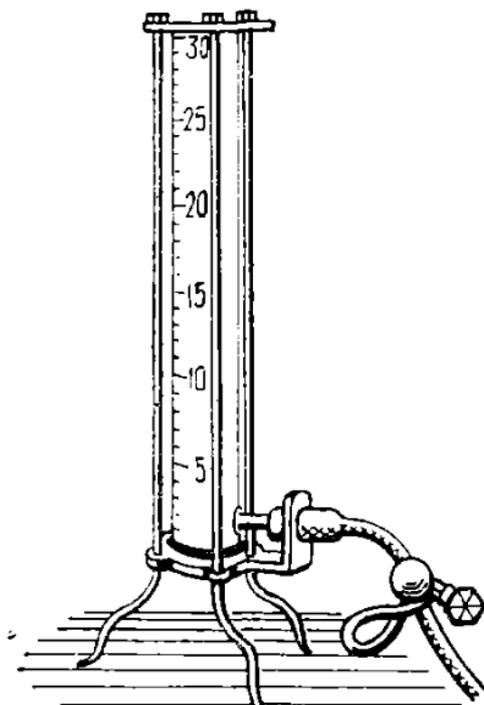


Рис. 1. Прибор Снеллена для определения прозрачности
(Химия и химическая технология, 2021)

Запах воды обусловлен концентрацией растворенных в ней веществ. На интенсивность запаха влияют: температура воды, показатель pH , степень загрязнения источника водоснабжения, биологические и гидрологические факторы. В целом запах воды – это органолептический показатель, его интенсивность измеряют и нормируют в баллах:

- 0 – отсутствие запаха (нет осязаемого запаха);
- 1 – очень слабый запах, не ощущаемый потребителем, но отмечаемый специалистом;
- 2 – потребитель обнаруживает слабый запах, если обратить на него внимание;
- 3 – запах заметен потребителем и вызывает у него неприятные ощущения при питье;
- 4 – отчетливый запах, заставляющий воздержаться от употребления воды;
- 5 – сильный запах, вода непригодна для питья.

1.2. Растворенные газы

Все природные воды содержат растворенные газы (Никаноров, 2001). Наиболее широко распространены в поверхностных водах кислород (O_2) и диоксид углерода (CO_2), а в подземных — сероводород (H_2S) и метан (CH_4). Кроме того, во всех природных водах постоянно присутствует азот (N_2). По распространенности газы делятся на три группы:

1) весьма распространенные, образующие крупные скопления N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 ;

2) менее распространенные, некоторые газы дают небольшие скопления H_2 , H_2S , He , Ar , TU (тяжелые углеводородные газы);

3) локально распространенные, образующие скопления только в момент формирования — NH_3 , SO_2 , HCl , HF и др. Газы третьей группы вследствие высокой агрессивности быстро вступают в реакции с породами окружающей среды и утрачивают свое значение как газообразные компоненты.

По растворимости газы можно разделить на две группы:

I. Молекула газа неполярна (азот, кислород, аргон и др.), при растворении в силовом поле у молекул воды возникает индуцированный диполь, способствующий гидратации. Однако, поскольку такой дипольный момент незначителен, то гидратная оболочка мала и, следовательно, мала и растворимость газов.

II. Молекулы газа при растворении взаимодействуют с водой, образуя химические соединения, способные к электролитической диссоциации. Растворимость таких газов (диоксид углерода, сероводород) на 1–2 порядка выше растворимости газов I группы.

Из всех растворенных в природной воде газов наибольшее значение имеют кислород (O_2) и двуокись углерода (CO_2) (Алекин, 1970).

Кислород (O_2). Кислород в природных водах находится в виде растворенных молекул. Присутствие этого газа является обязательным условием для существования организмов, населяющих водоемы, поэтому его изучение представляет большой практический интерес (Алекин, 1970).

На содержание кислорода в воде влияют две группы противоположно направленных процессов: одни обогащают воду кислородом, а другие, наоборот, уменьшают его содержание.

Процессы, обогащающие воду O_2 :

- 1) поступление кислорода из атмосферы;
- 2) выделение кислорода в процессе фотосинтеза водной растительностью.

В первом случае обогащение воды кислородом происходит только в том случае, если вода не насыщена кислородом, т. е. содержание этого газа в воде меньше, чем должно было бы быть при данной температуре и давлении. Этот процесс может происходить только на поверхности водоемов. На глубину растворенный кислород передается в результате перемешивания воды волнением, конвекцией и течениями.

Во втором случае выделение кислорода в результате фотосинтеза происходит при поглощении CO_2 водной растительностью (прикрепленной растительностью и фитопланктоном). Процесс фотосинтеза протекает тем сильнее, чем более оптимальными будут температура воды, интенсивность солнечного освещения и количество питательных веществ. Фотосинтез может происходить не только на поверхности водоемов, но и на разных глубинах (примерно до 50 м), в зависимости от прозрачности воды, достаточной для проникновения солнечного света. Глубина, на которой наиболее интенсивно происходит фотосинтез, зависит от ряда условий, и для разных водоемов может быть различной, причем изменяется в разные сезоны года (Алекин, 1970).

Процессы, уменьшающие содержание в воде O_2 :

- 1) дыхание организмов;
- 2) брожение;
- 3) гниение органических остатков.

Данные процессы, в отличие от фотосинтеза, происходят в водоеме непрерывно, усиливаясь с повышением температуры. Кроме того, уменьшение содержания кислорода в воде может также наблюдаться вследствие выделения его в атмосферу. Это будет происходить в случае, если вода при данной температуре, давлении и минерализации окажется пересыщенной кислородом (Алекин, 1970).

Оценку степени насыщенности воды O_2 можно вычислить по формуле (1) в зависимости от температуры воды, давления и минерализации.

$$O_2 = \frac{a \cdot 100 \cdot 760}{N \cdot P}, \quad \% \quad (1)$$

где a – количество O_2 (в мг/л), найденное анализом; N – нормальное количество O_2 при данной температуре воды и давлении 760 мм рт.ст.; P – атмосферное давление.

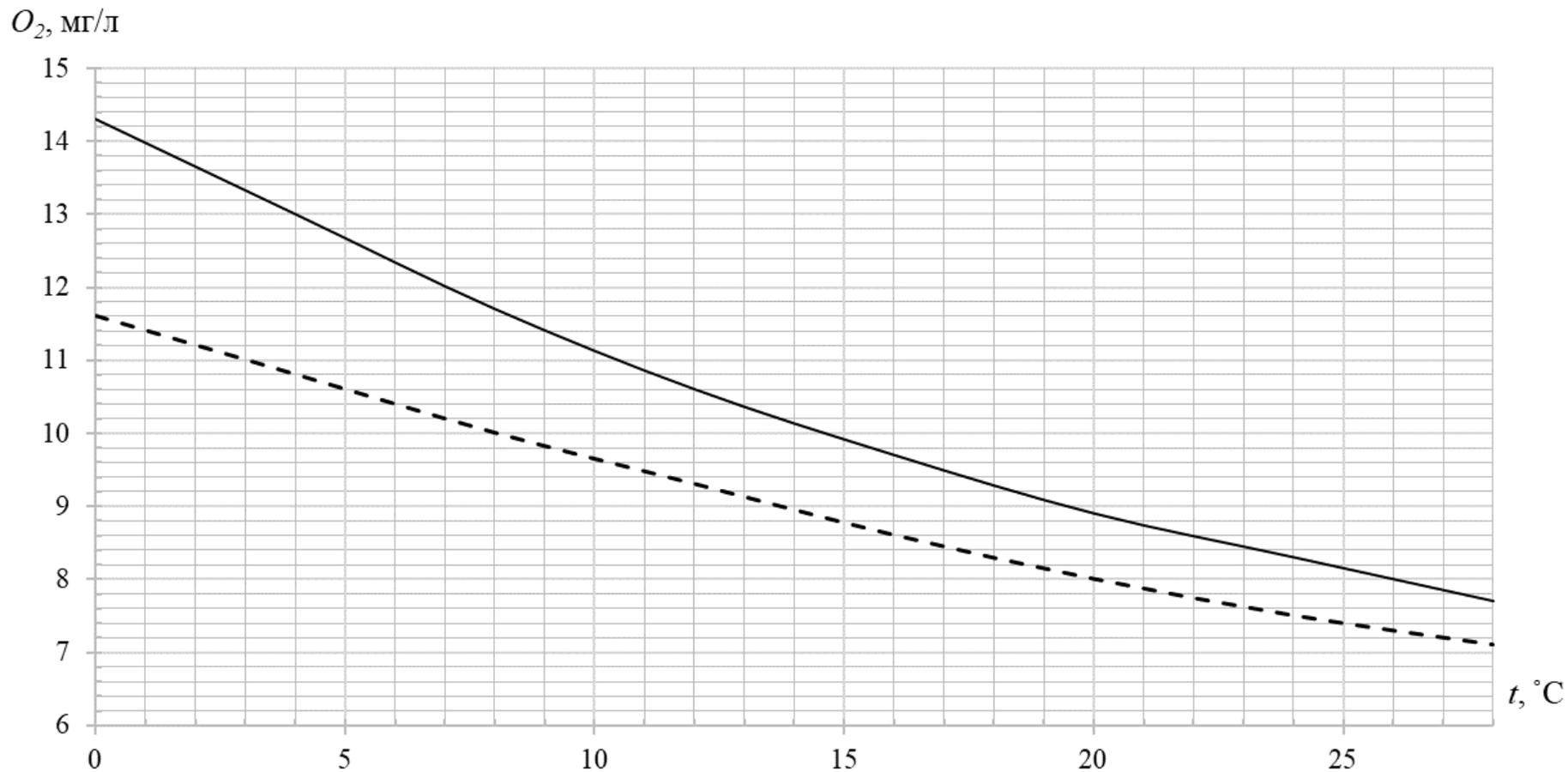


Рис. 2. Кривая насыщения чистой пресной воды (сплошная линия) и соленой воды (пунктирная линия) кислородом (O_2 , мг/л) в зависимости от температуры воды (t , °C)

Нормальное количество кислорода (N , мг/л) при данной температуре воды и атмосферном давлении 760 мм рт. ст. можно определить по графику на рис. 2 в зависимости от минерализации (разного цвета линии на графике) и температуры воды (t , °C).

Относительное содержание O_2 также выражают в процентах отклонения от нормального содержания, т. е. 85% насыщения воды O_2 изображают как -15%, а 115% как +15%. Если вода пресыщена кислородом, то она стремится к равновесию, и происходит постоянное выделение кислорода водной поверхностью в атмосферу. Зимой чаще всего наблюдается картина, когда вода недонасыщена кислородом. Сплошной ледяной покров препятствует поступлению кислорода из атмосферы, и в период ледостава долгое время могут сохраняться условия кислорододефицита вплоть до возникновения условий для замора рыб (-80% и менее). Весной после вскрытия водоемов происходит интенсивное насыщение воды O_2 , сопровождающееся поступлением талых вод в речную сеть. Летом могут возникнуть условия для пресыщения воды O_2 из-за повышения температуры воды в водоемах и активных процессов фотосинтеза. Обычно среднее содержание кислорода в реках не превышает 10–12 мг/л (Алекин, 1970).

Двуокись углерода (CO_2). Двуокись углерода находится в воде главным образом в виде растворенных молекул газа. Источником двуокиси углерода в природных водах являются прежде всего процессы окисления органического вещества с выделением CO_2 , происходящие как непосредственно в воде, так и в почвах и илах, с которыми соприкасается вода. Сюда относятся дыхание водных организмов и различные виды брожения распадающихся органических остатков.

Обогащают воду двуокисью углерода и сложные геохимические процессы, происходящие в глубинных слоях земли, связанные с изменениями в осадочных породах. Показателем этого часто является содержание весьма больших количеств CO_2 в водах глубинных источников.

Процессы, направленные на уменьшение CO_2 в природных водах:

- 1) удаление CO_2 в атмосферу из-за пересыщенности воды CO_2 ;
- 2) расходование CO_2 на перевод карбонатных пород в раствор;
- 3) потребление CO_2 водной растительностью при фотосинтезе.

Последнее оказывает в верхних слоях открытых водоемов большое влияние на содержание CO_2 . Поэтому в ряде случаев летом может наблю-

даться почти полное исчезновение CO_2 из раствора и как результат этого – увеличение pH выше 8,4.

Содержание CO_2 в природных водах колеблется в очень широких пределах – от нескольких десятых долей до нескольких сотен мг/л. Наименьшее его количество наблюдается в морях, наибольшее – в подземных водах. В реках, водохранилищах и озерах из-за постоянного выделения в атмосферу, а также значительного потребления, при фотосинтезе, содержание CO_2 редко превышает 20–30 мг/л (Алекин, 1970).

Метан (CH_4). Метан – горючий газ без цвета и запаха, гораздо легче воздуха, обладает большой теплотворной способностью. Метан принадлежит к газам биохимического происхождения. Обогащают воду метаном дисперсные органические вещества в породах. В чистом виде он иногда наблюдается в болотах, образуясь при гниении болотной растительности. Этот газ в природных водах находится в молекулярно-дисперсном состоянии и не вступает с водой в химическое взаимодействие. Молекулы метана неполярны, поэтому он имеет низкую растворимость (Никаноров, 2001).

Этан, пропан и бутан (C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10}). Этан, пропан и бутан – это газы, сходные по строению с метаном (гомологи метана). Самостоятельных скоплений не образуют. Являются спутниками метана в газах нефтяных месторождений, где их содержание может достигать 20–25%. Метан и его гомологи служат поисковыми показателями на нефть. Для поверхностных вод они не характерны. Поскольку парциальное давление метана и его гомологов в атмосфере близко к нулю, длительное нахождение этих газов в поверхностных водах невозможно. Выделяясь в атмосферу, они окисляются кислородом. В подземных водах глубоких водоносных горизонтов их содержание может достигать десятков миллиграммов на 1 л, особенно в районах нефтяных и газовых месторождений (Никаноров, 2001).

Азот (N_2). Азот химически малоактивен, плохо растворяется в воде и в нефти, поэтому встречается в земной коре на самых различных глубинах и иногда может даже преобладать в свободных газовых скоплениях. Азот проникает в земную кору из воздуха, образуется биохимическим путем. Несмотря на малую химическую активность, азот – важный компонент, необходимый для растений и животных. В циклических процессах, связанных с живым веществом, участвуют N_2 , NO_2 , NO_3 , NH_4 . Часть азота уходит из цикла, образуя устойчивые органические соединения, отклады-

вающиеся в осадочных породах. В растворенном состоянии азот присутствует во всех природных водах, где его содержание составляет в среднем 10-16 мг/л (Никаноров, 2001).

Сероводород (H_2S). Сероводород – это горючий газ с неприятным специфическим запахом, очень ядовит. Сероводород является одним из продуктов распада белковых веществ, содержащих в своем составе серу, и поэтому его скопление часто наблюдается в придонных слоях водоемов вследствие гниения различных органических остатков. В нижних частях глубоких озер и морей, где отсутствует водообмен, часто образуется сероводородная зона (Никаноров, 2001).

Ионы водорода. Водород – самый распространенный химический элемент во вселенной. В природных водах содержание ионов водорода очень низкое. Только в очень кислых водах его концентрация может достигать больших значений. Концентрация водородных ионов является важнейшей характеристикой природных вод, так как ионы H^+ играют исключительную роль в гидрохимических процессах. Ион водорода всегда присутствует в природных водах потому, что он возникает при диссоциации самой воды: $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$. Реакция диссоциации воды является эндотермической, поэтому с увеличением температуры равновесие в ней сдвигается вправо, то есть степень диссоциации воды возрастает. Следовательно, при температуре более $22^\circ C$ ионное произведение воды увеличивается и активность ионов H^+ и OH^- возрастает, а при температуре менее $22^\circ C$ ионное произведение воды уменьшается и в соответствии с этим уменьшается активность ионов H^+ и OH^- .

Щелочную и кислую среду выражают обычно концентрацией водородных ионов, так как их легче определять, чем концентрацию гидроксильных ионов. Если вода не содержит других ионов, то при температуре $22^\circ C$ она имеет нейтральную реакцию. В этом случае $pH = 7$. Если раствор кислый, то $pH < 7$, если раствор щелочной, $pH > 7$.

Все изложенное относится к чистой воде, то есть к химическому соединению H_2O . Но природные воды являются многокомпонентными системами, в них происходят разнообразные реакции, которые являются дополнительными источниками ионов H^+ и OH^- . Вследствие этого в природных водах pH обычно колеблется в широких пределах. Природные воды в зависимости от pH принято делить на семь групп:

- 1) сильнокислые воды ($pH < 3$);
- 2) кислые воды ($pH 3-5$);

- 3) слабокислые воды (pH 5–6,5);
- 4) нейтральные воды (pH 6,5–7,5);
- 5) слабощелочные воды (pH 7,5–8,5);
- 6) щелочные воды (pH 8,5–9,5);
- 7) сильнощелочные воды ($pH > 9,5$).

В природных водах pH зависит от содержания различных форм угольной кислоты, от присутствия органических кислот, газов, микроорганизмов, от гидролиза солей и т. д. Показатель pH является одним из важнейших, он контролирует присутствие в водном растворе большинства химических элементов и определяет форму их нахождения в растворе. Кроме того, pH принадлежит к числу важных констант в биологических процессах (Никаноров, 2001).

1.3. Ионный состав воды

Химически чистая вода с формулой H_2O – это идеал, никогда не достижимый в природных условиях. Главное качество природной воды – она является *универсальным растворителем*, и поэтому в ней постоянно присутствуют в растворенном виде различные ионы, газы, биогенные и органические вещества, микроэлементы. Минерализация природных вод теснейшим образом связана с условиями их формирования, в том числе с климатом местности. Как правило, при переходе от более прохладных и влажных регионов к более тёплым и засушливым содержание солей увеличивается (Вольф, Синякова, 2013). Наиболее важными ионными компонентами природных вод являются HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Минерализация воды (M) – это общее содержание ионов (анионов и катионов) в 1 л воды.

Сумма ионов (ΣI) – это арифметическая сумма всех содержащихся в исследуемой воде ионов в миллиграммах или граммах на литр, концентрация которых больше 0,1 мг/л.

По величине минерализации воды, т. е. по общему содержанию ионов, воды рек делятся на четыре ступени (Алекин, 1970):

- 1) *малая минерализация* (до 200 мг/л) (в этой ступени можно еще различать реки с водой *очень малой минерализации* (до 100 мг/л));
- 2) *средняя минерализация* (200–500 мг/л);
- 3) *повышенная минерализация* (500–1000 мг/л),
- 4) *высокая минерализация* (свыше 1000 мг/л).

Обычно воды рек и водохранилищ имеют малую и среднюю минерализацию. Редкие реки и водохранилища обладают водой высокой минерализации. Химический состав воды рек очень изменчив во времени и зависит от водности сезона. Это происходит из-за изменения типа питания реки. При сравнительно малой массе воды в реке это создает значительные перемены в ее химическом составе.

Различают два основных типа питания реки:

1. Поверхностное (снеговое, дождевое, горно-снеговое и ледниковое).
2. Грунтовое.

Снеговое питание способствует уменьшению минерализации воды. Как правило, в этот период преобладают в воде ионы HCO_3 и Ca . Это объясняется прежде всего тем, что снежный покров, аккумулируя осадки в течение зимы, создает при таянии резкое падение минерализации речной воды. Поэтому минерализация воды во время половодья зависит от того, насколько дружно будет таять снежный покров, от его мощности и характера погоды перед выпадением снега. Обычно под снежным покровом почва бывает промерзшей и талые воды не могут обогащаться солями, вымывая только те, которые можно выщелочить из почв, т. е. с самой поверхности земли. Если накануне выпадения устойчивого снежного покрова осень была сухой, то в результате процессов выветривания у поверхности могут накапливаться соли, и наоборот, при дождливой осени почвы будут ими бедны.

Дождевое питание. Интенсивное дождевое питание может привести к уменьшению минерализации воды, при этом минерализация обычно более высокая, чем при снеговом питании. Также большое значение имеет характер погоды, предшествовавшей выпадению дождя. При сухой погоде накануне выпадения дождя могли накопиться соли на поверхности почвы вследствие выветривания и испарения, и наоборот, проходившие дожди могли хорошо промыть поверхность почвогрунтов.

Почвенный покров, на который выпадают жидкие атмосферные осадки, оказывает значительное влияние на формирование химического состава воды. Если осадки выпали на:

- болотисто-торфяные почвы – то у речной воды будет крайне малое содержание ионов и очень большое количество органических веществ;
- подзолистые почвы – придают воде рек малую минерализацию;

- черноземы, сероземы и каштановые почвы районов с недостаточным увлажнением – сильно минерализуют речную воду.

Горно-снеговое и ледниковое питание определяет малую минерализацию воды. Этот вид питания характерен для высокогорных областей, которым свойственно высокое увлажнение, в результате чего почвогрунты оказываются хорошо промытыми, т. е. обедненными легкорастворимыми солями.

Грунтовое питание. В целом, грунтовые воды обычно более минерализованы, чем воды рек. Как правило, меньшую минерализацию имеют грунтовые воды первого от поверхности водоносного горизонта. Минерализация определяется главным образом изменением соотношения приходных и расходных статей баланса грунтового водоносного горизонта. Во влажные периоды (интенсивное атмосферное питание) наблюдается подъем уровня грунтовых вод за счет поступления менее минерализованных вод (минерализация атмосферных осадков обычно менее 20–30 мг/л) и происходит относительное уменьшение минерализации грунтовых вод, особенно заметно проявляющееся в верхней части водоносного горизонта (Всеволожский, 2007). Грунтовые воды аллювиальных отложений речной долины также мало минерализованы. Минерализация этих вод зависит от условий водного режима реки и состава пород, слагающих долину. Обычно аллювиальные воды имеют большую минерализацию, чем поверхностный сток, но в засушливых областях нередко наблюдается обратное явление, так как поверхностный сток вымывает из почв довольно много солей, в то время как аллювиальные породы систематически промываются речными водами (Алекин, 1970). Наиболее минерализованными являются воды глубокого подземного питания. Их химический состав обычно связан с выщелачиванием мало промытых пород, лежащих ниже базиса эрозии. Реки питаются ими при соответствующих гидрогеологических условиях в период низких уровней в реке. Для таких вод характерно постепенное увеличение минерализации до 3,0–5,0 г/л и более при изменении химического состава от гидрокарбонатного (HCO_3) к сульфатному (SO_4) и хлоридному (Cl) (Всеволожский, 2007).

В годовом питании реки участвуют не все виды питания, обычно только часть из них. Доля того или иного вида водного питания для реки неодинакова в течение года, и это обстоятельство определяет сезонный характер химического состава речной воды и его непрерывное изменение во времени. *Как правило, при увеличении поверхностного питания мине-*

рализация речной воды будет уменьшаться, и, наоборот, при его уменьшении и увеличении грунтового питания минерализация воды будет возрастать. Во время паводков, происходящих от выпадения дождей или таяния снега, минерализация воды оказывается минимальной, а в межпаводковые периоды (зимняя и летняя межень) достигает наибольших величин. Самое сильное падение минерализации воды происходит весной при таянии снега на водосборах. В этот период в речную сеть поступает большой объем талых вод, за счет накопленных на поверхности водосбора зимой осадков (Алекин, 1970).

Величина минерализации и химический состав речных вод имеют сезонные колебания. Это объясняется изменением от сезона к сезону источников питания. Наибольшая минерализация вод у большинства рек России наблюдается зимой. В летний период максимум минерализации отмечен у рек, протекающих по южным районам России.

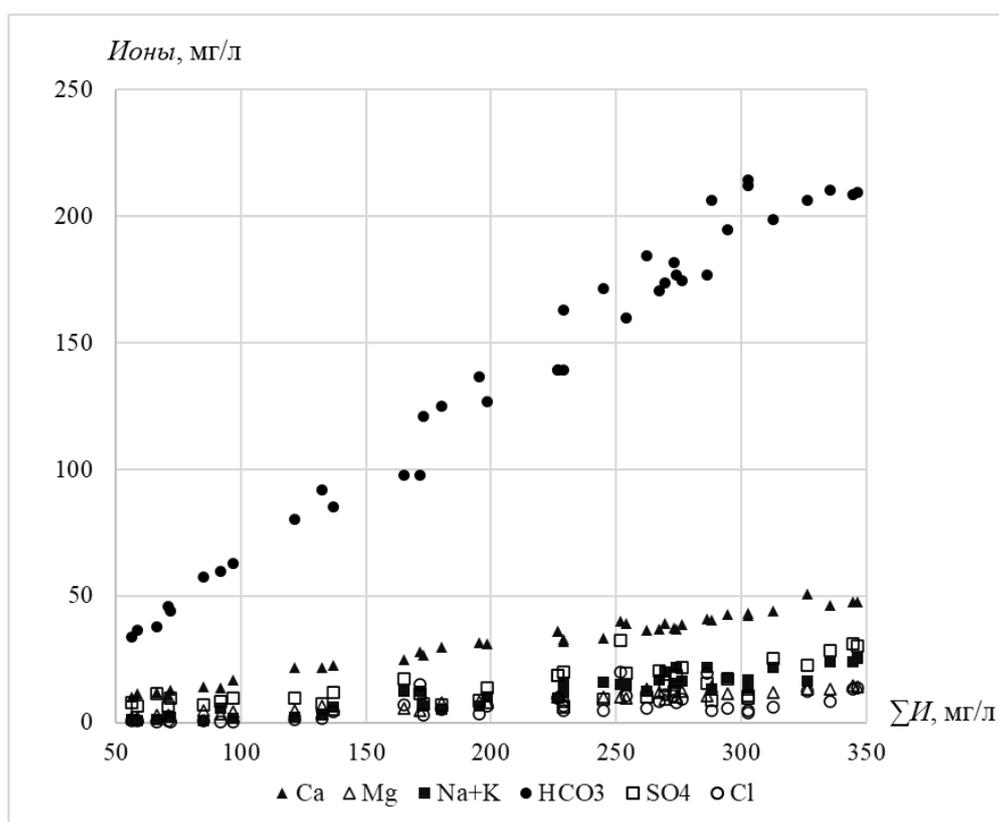


Рис. 3. График изменения количества ионов (мг/л) от суммы ионов ($\Sigma И$, мг/л) р. Вятка – г/п Киров за период 1955–1958 гг.

При годовичных изменениях величины минерализации может измениться не только общее содержание ионов, но и соотношение между ними. Происходит это потому, что условия формирования химического

состава подземных вод иные, чем поверхностных. Почвы и грунты у поверхности лучше промываются атмосферными осадками, поэтому они содержат меньше легкорастворимых солей, чем породы, с которыми соприкасаются более глубоко залегающие подземные воды. Следовательно, переход реки с поверхностного питания на подземное сопряжен с поступлением в нее относительно большего количества ионов легкорастворимых солей (SO_4 и Cl).

Для вод малой и средней минерализации, формирующих химический состав среди хорошо промытых почвогрунтов, количество растворенных солей невелико и увеличение общего содержания ионов, как правило, не изменяет их соотношение (рис. 3). При сравнительно малой минерализации воды изменение содержания всех ионов происходит примерно прямо пропорционально минерализации.

1.4. Изменение химического состава воды по длине рек

Химический состав воды в реке, как правило, неоднороден на всем ее протяжении, а также и по ее ширине. Как правило, чем больше водосбор реки, тем больше климатических зон она пересекает, тем разнообразнее геологические условия водосбора, тем неоднороднее химический состав воды в реке. Непосредственными причинами этой неоднородности являются: впадение притоков, изменение характера питания реки и процессы, совершающиеся в самом русле.

Неоднородность состава воды особенно заметна у рек, имеющих большую длину и протекающих по районам, различающимся между собой условиями формирования химического состава воды (Алекин, 1970). Реки на своем пути пересекают толщи отложений с самыми разнообразными породами и последовательно пересекают зоны с различными климатическими условиями. Также на химический состав воды влияет близость расположения крупных промышленных центров и городов. Сбросы сточных вод оказывают значительное влияние на ионный состав воды.

Как правило, в верховьях воды реки имеют маломинерализованную воду (до 150 мг/л) со значительным количеством органического вещества, характеризуемого окисляемостью воды около 10 мг/л. Впадающие притоки могут вносить в реки много органических веществ и уменьшить минерализацию воды. Протекая по каменноугольным и девонским отложениям

ям, сложенным известняками и гипсами, вода может обогатиться ионами SO_4 и Ca .

Чаще всего в верховьях рек в составе воды в больших количествах присутствует много HCO_3 (45–47% экв). Вниз по течению растёт количество SO_4 и Cl . В низовьях совместное содержание SO_4 и Cl сравнивается с содержанием HCO_3 . Одновременно в составе катионов, среди которых преобладают ионы Ca , наблюдается понижение процента ионов Ca и относительный рост ионов Mg и Na .

На процессе формирования ионного состава р. Волги можно проследить, как под влиянием литологического состава пород, слагающих бассейн реки, и изменений климатических условий меняется минерализация и химический состав воды одной и той же реки. Последовательность изменения величины минерализации и содержания отдельных ионов по длине р. Волги видна на графиках (рис. 4), составленных на основании гидрохимического исследования реки. По химическому составу воды р. Волга может быть разделена на три участка: верховье – до впадения р. Оки, средняя часть – от устья р. Оки до устья р. Камы и нижняя часть – от устья р. Камы и ниже.

В верховьях р. Волга протекает в условиях северного ледникового ландшафта, среди морен и многочисленных болот. Ледниковые отложения являются хорошо промытыми, и воды, соприкасаясь с ними, мало обогащаются солями. Лишь в отдельных местах отложения каменноугольной системы несколько повышают минерализацию некоторых притоков. Вместе с тем вода верхней части р. Волги богата органическими веществами, попадающими в нее со стоком заболоченных левых притоков. Соответственно этим условиям в своем верховье р. Волга имеет маломинерализованную воду (около 120 мг/л) со значительным количеством органического вещества, характеризуемого окисляемостью воды около 10 мг/л. Минерализацию воды р. Волги несколько повышает р. Тверца, питающаяся водами каменноугольных известняков, так же как и некоторые другие более минерализованные притоки – р. Шоша, Дубна, Медведица, снижающие содержание органического вещества (Алекин, 1953).

Ниже верховья ряд крупных левых притоков, впадающих: в Рыбинское водохранилище и ниже его (р. Молога, Шексна. Унжа), опять вносят в р. Волгу много органических веществ и уменьшают минерализацию ее воды.

В средней части р. Волги происходит основное формирование ионного состава ее воды. После впадения р. Оки в р. Волге наблюдается резкое изменение состава воды. Река Ока, прорезая каменноугольные и девонские отложения, сложенные известняками, а в нижнем течении, питаемая водами пермских отложений, местами очень богатых гипсами, имеет воду со значительным содержанием SO_4 и Ca . Все это видно на графиках (рис. 4).

После впадения р. Оки наблюдается резкий подъем, характеризующий увеличение содержания всех ионов и одновременное уменьшение органического вещества. На участке от устья р. Оки до устья р. Камы на состав воды р. Волги существенное влияние оказывают питающие ее грунтовые воды. Особенно велико это влияние в районе г. Казани, где р. Волга прорезает мощные пермотриасовые отложения, в значительной мере сложенные гипсоносными известняками. О большой минерализации впадающих в этих местах мелких притоков можно судить, например, по р. Казанке, минерализация воды которой летом составляет до 1 600 мг/л. Повышают минерализацию воды р. Волги и правые ее притоки – р. Сура, Свияга и др.

Второе сильное изменение ионного состава р. Волги происходит после впадения р. Камы, в бассейне которой расположены города, значительно обогащающие воды солями, как, например, пермскими морскими отложениями (особенно известняками и гипсами кунгурского яруса). После впадения р. Камы в воде р. Волги резко возрастает содержание Cl , Na и SO_4 , и формирование ионного состава воды р. Волги может считаться законченным.

В нижнем течении р. Волги химический состав ее воды почти не меняется. Это объясняется тем, что здесь р. Волга не имеет крупных притоков и бассейн ее увеличивается очень мало. Действительно, если р. Волга у г. Куйбышева имеет средний многолетний расход, равный 7 710 м³/сек, то у г. Волгограда – только около 8 150 м³/сек.

Незначительность притока воды на этом участке определяется более сухим климатом и небольшим размером площади водосбора. Характерно, что немногочисленные притоки р. Волги на этом участке имеют значительную минерализацию (например, рр. Еруслан и Б. Иргиз имеют минерализацию до 500–1000 мг/л), но это мало сказывается на химическом составе воды р. Волги.

Одновременно с изменением общей минерализации воды р. Волги, которая, как было указано выше, возрастает от верховья до устья в три раза (от 100 до 300 мг/л), меняется и соотношение между содержанием ионов. В верховьях р. Волги состав анионов представлен почти исключительно HCO_3 (45–47 % экв). Вниз по течению роль ионов SO_4 и Cl непрерывно растет, и в низовье их совместное содержание почти сравнивается с HCO_3 . Одновременно в составе катионов, среди которых преобладают ионы Ca , наблюдается понижение процента ионов Ca и относительный рост ионов Mg и Na .

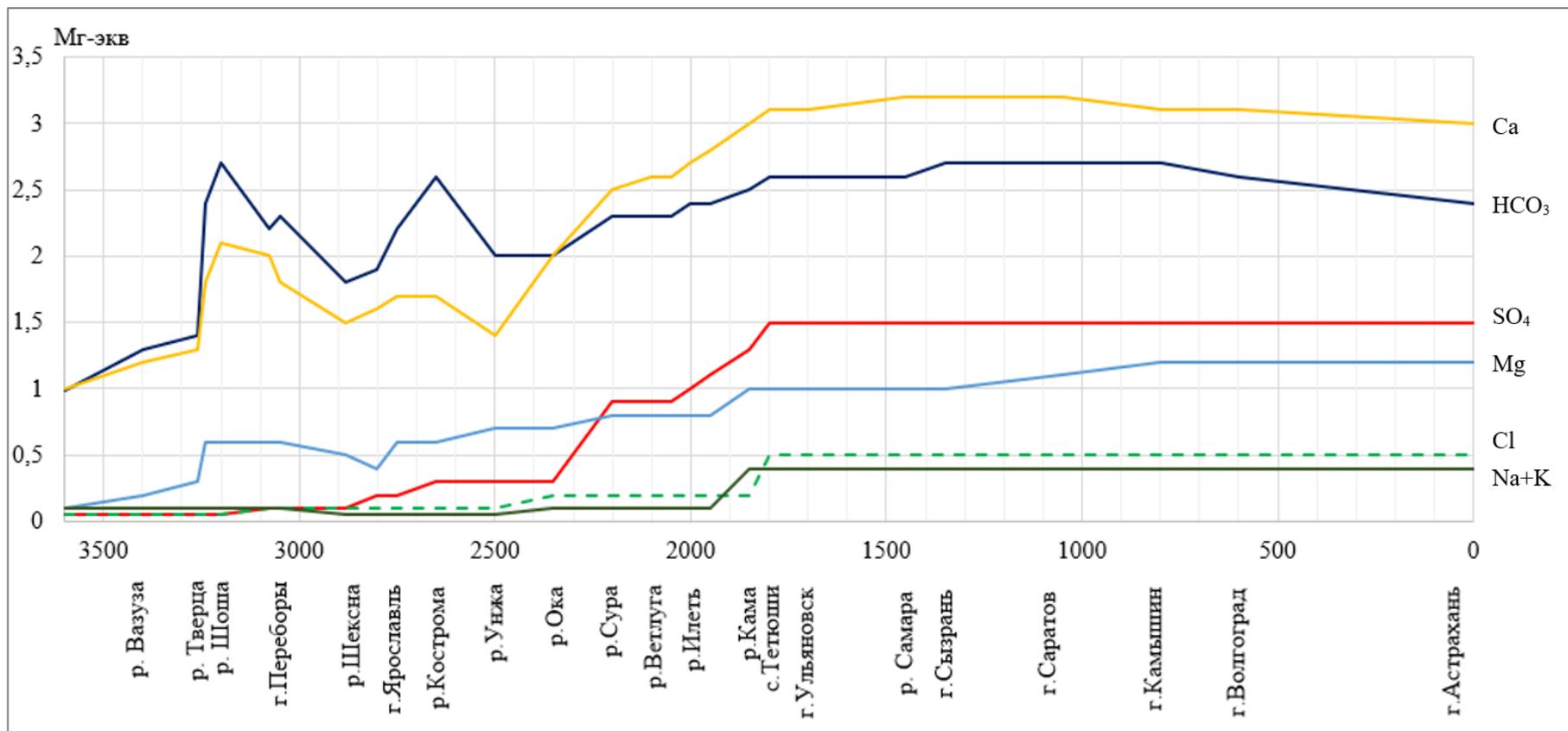


Рис. 4. Изменение содержания главных ионов в воде р. Волги (Алекин, 1953)

Неоднородность состава воды по ширине реки отмечается и на других реках: на р. Дон – после впадения Северского Донца, на р. Эльбе – под влиянием р. Заале, на р. Иллинойс – после впадения р. Делейн, на р. Миссисипи – под влиянием» р. Миссури и т. д. Расстояние, необходимое для полного смешения вод притока с водами реки, зависит от ширины реки, ее глубины, уклона, то есть условий, определяющих турбулентное перемешивание (Никаноров, 2001).

Антропогенные источники поступления загрязняющих веществ. Главным источником поступления в природные воды токсичных веществ как в РФ, так и в других странах является промышленность, отрасли которой могут быть ранжированы по количеству сбрасываемых сточных вод и степени их загрязнения в следующий ряд: целлюлозно-бумажная > химическая > цветная металлургия > черная металлургия > угольная > машиностроение > нефтедобывающая > нефтехимическая > электроэнергетика (Никаноров, 2001). Объем и состав промышленных стоков зависят от мощности каждого предприятия, технологии производства и степени очистки сточных вод. Несмотря на то, что на строительство очистных сооружений расходуются огромные средства, сточные воды ряда предприятий еще содержат некоторое количество тяжелых металлов, детергентов, нефтепродуктов и других ингредиентов. Эти вещества отсутствуют в незагрязненных природных водах или содержатся в них в гораздо меньших концентрациях.

Большой вред водоемам и рекам приносят сточные воды с сельскохозяйственных территорий, особенно коллекторные и дренажные воды орошаемых площадей. Сток с сельскохозяйственных территорий может быть *поверхностным и почвенным*. Эти же стоки нередко загрязняют грунтовые воды и верховодку. С коллекторными и дренажными водами в водные объекты поступают минеральные и органические вещества, а также пестициды.

Состав минеральных солей, вымываемых из почв, зависит от степени и характера засоленности почв, условий полива, состояния коллекторно-дренажной сети и других условий. Наибольшее количество солей поступает в водные объекты с орошаемых массивов засушливых зон. В связи с широким использованием различных (азотных, минеральных, калийных) удобрений значительная доля общего состава минеральных компонентов, выносимых с сельскохозяйственным стоком, приходится на азот и фосфор. Условия выноса пестицидов определяются устойчивостью препа-

ратов в природной среде и факторов, указанных выше. Наиболее устойчивыми являются хлорорганические пестициды, которые могут сохраняться в почве до 15 лет. Менее устойчивыми являются фосфорорганические соединения (хлорофос, карбофос и др.), которые полностью исчезают из почвы в течение 45–60 сут.

Анализ данных наблюдений Росгидромета за период 1984–1996 гг. показал, что ни один из хлорорганических пестицидов не закрепляется в пахотном горизонте почвы, а мигрирует на разную глубину 120–200 см. В отдельных регионах загрязненные воды с поверхности (в зонах орошения) могут проникать на глубину 100 м и более. Увеличение эрозии почв при распашке сельскохозяйственных угодий и особенно при поливе способствует выносу большого количества минеральных и взвешенных веществ, что приводит не только к загрязнению водных объектов, но и к усилению темпов их евтрофирования.

Значительную долю в загрязнение водных ресурсов вносят стоки животноводческих комплексов. Также существенным источником загрязнения водоемов и водотоков являются хозяйственно-бытовые (в том числе фекальные) сточные воды, спускаемые через канализационную сеть. Бытовые сточные воды содержат физиологические выделения людей, отходы от мытья посуды, стирки белья, а также плотные отбросы (тряпье, бумагу, очистки и пр.). Эти воды, как правило, насыщены яйцами гельминтов и бактериальной флорой, значительную долю которой составляют болезнетворные формы.

Возрастающее загрязнение воздуха также вызывает ухудшение качества поверхностных вод. Из воздуха в гидросферу поступают минеральные, органические и взвешенные вещества и прежде всего соединения серы, углерода, некоторые тяжелые металлы и др. Особенно сильно загрязнен воздух в крупных городах, где основным источником загрязнения является автомобильный транспорт. В автомобильном топливе содержатся соединения свинца, которые попадают в воздух, а затем и в водные объекты. Значительное загрязнение водоемов вызывают кислотные дожди, образующиеся в результате соединения в атмосфере диоксида серы с парами воды (Никаноров, 2001).

Кроме названных основных источников поступления загрязняющих веществ в водные объекты, следует указать такие, как городские ливневые стоки, лесосплав, утечки и потери нефтепродуктов и химикатов при транспортировке, шахтные и рудничные воды и др. (Никаноров, 2001).

Вопросы для самопроверки

1. Какова роль почв в формировании химического состава природных вод?
2. Как влияет химический состав воды на возможность ее использования в промышленности и для хозяйственно-бытовых целей?
3. Перечислите группы факторов, определяющих формирование химического состава природных вод.
4. Какие физико-географические факторы оказывают влияние на формирование химического состава природных вод?
5. Приведите примеры главных и второстепенных факторов, прямых и косвенных факторов при формировании химического состава природных вод.
6. Какие вещества являются главными компонентами состава природных вод?
7. Откуда появляются ионы в атмосферной воде?
8. Как изменяется химический состав атмосферных осадков по территории и в разные сезоны года?
9. Какие антропогенные факторы оказывают наибольшее влияние на качественные и количественные изменения водных ресурсов?
10. Какие процессы увеличивают/уменьшают количество растворенного кислорода и углекислого газа в воде?
11. Как меняется содержание растворенных газов в реке в течение года?
12. От чего зависит неоднородность химического состава воды в реках?
13. Какие соли не удаляются из воды при кипячении?
14. В какой природной зоне наблюдается наибольшая цветность речной воды?
15. У каких природных вод содержание солей измеряется в промилле?

2. КЛАССИФИКАЦИИ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД

Природные воды имеют разнообразный химический состав от ультрапресных до рассолов, что определяется разнообразием физико-географических, геологических и гидрогеологических условий формирования. Попытки разработать классификации состава природных вод, в том числе полностью отражающие особенности состава, предпринимались С.А. Щукаревым (1934), В.И. Вернадским (1936), В.А. Сулиным (1948), М.Г. Валяшко (1955), М.С. Гуревичем и Н.И. Толстихиным (1961), А.В. Щербаковым (1962), Е.В. Пиннекером (1966), О.А. Алекиным (1970), И.Е. Зайцевым (1972) и другими исследователями. Классификации природных вод основаны на разных принципах и имеют разное практическое применение. На сегодняшний день общепринятой универсальной классификации пока не существует. К наиболее популярным и часто используемым относятся классификации О.А. Алекина, С.А. Щукарева, В.А. Сулина.

Классификациями В.А. Александрова, М.Г. Валяшко и В.А. Сулина пользуются для характеристики подземных вод (и некоторых поверхностных – морских, океанических, соленых озер). Тогда как классификации О.А. Алекина и С.А. Щукарева, учитывающие главные анионы и катионы, лучше всего подходят для поверхностных маломинерализованных вод.

2.1. Классификации природных вод по минерализации

Минерализация воды – это количество растворенных в ней минеральных веществ. Выражают это количество в виде или общей минерализации, или сухого остатка, или плотности. В англоязычной литературе минерализацию называют *общим количеством растворённых частиц* (total dissolved solids - TDS). Растворённые газы при вычислении общей минерализации не учитываются. Общая минерализация представляет собой сумму компонентов минеральных веществ, найденную анализом; сухой остаток получают путем выпаривания определенного объема воды, высушивания и взвешивания остатка. Обычно минерализацию подсчитывают в миллиграммах на литр (мг/л, мг/дм³) или в единицах СИ, в килограммах на кубический метр (кг/м³). Также величина минерализации может выражаться в миллионных долях (parts per million – ppm).

Среди исследователей нет единого мнения по вопросу о принципах подразделения природных вод по минерализации (Никанорова, 2001). Граничные значения степени минерализации вод обосновываются либо с теоретических позиций, либо на основании региональных исследований, либо с учетом практического значения воды. Общепринятым является только значение минерализации, характеризующее границу пресных вод – 1 г/л; оно присутствует во всех классификациях. Разошлись мнения по вопросу об одном из весьма важных рубежей – между рассолами и солеными водами: В.И. Вернадский считал таковым 50‰, М.Г. Валяшко, И.Е. Зайцев – 35‰.

Обоснованным представляется принцип классификации природных вод по минерализации путем установления условных значений минерализации – «узлов», которые определяют по миграционным кривым, отражающим связь содержания главных ионов химического состава воды с минерализацией. На пересечении кривых (то есть в узлах) химический состав «перестраивается» по преобладающим главным компонентам. По данным М.Г. Валяшко, при граничном значении 1000 мг/л преобладающими вместо карбонатных ионов становятся сульфатные, вместо ионов кальция – ионы натрия, а при граничном значении 10‰ – вместо сульфатных ионов – хлоридные. Следовательно, миграционные кривые позволяют разделить пресные, солоноватые и соленые воды и выделить в них определенные группы.

Для рассолов обоснование граничных значений минерализации с теоретических позиций заключается в выделении тех градаций минерализации, которые соответствуют интервалам изменений в ионном составе воды, происходящих в связи с физико-химическими превращениями и сменой одних равновесных систем другими. Равновесные системы выявлены экспериментально при выпаривании морских вод в лабораторных и полевых условиях. Рассолы, по И.Е. Зайцеву, охватывают пять подгрупп: очень слабые рассолы отвечают первой стадии сгущения океанической воды, когда из нее начинает выпадать доломит; слабые рассолы – верхний предел примерно соответствует садке гипса из океанической воды; крепкие рассолы отвечают стадии сгущения океанической воды, когда из нее (близ верхнего предела) осаждается галит; весьма крепкие рассолы характеризуются такой степенью сгущения, когда происходит садка карналлита; сверхкрепкие рассолы представляют собой маточную рапу после вы-

падения из нее карналлита. Разделение рассолов на подгруппы почти во всех современных классификациях производится именно по этому принципу.

Примером выделения подгрупп в пресных и соленых водах на основании региональных исследований и использования природных вод в практических целях является дробная классификация Н.И. Толстихина: сверхпресным водам отвечают снег и льды Антарктиды; весьма пресным – атмосферные осадки; к очень пресным относится вода оз. Байкал, Ладожского, грунтовые воды тундры, высоких гор; особо пресными являются грунтовые воды лесов, средних гор; умеренно пресными – грунтовые воды лесостепи, низких гор; пресноватыми – грунтовые воды степи. Соленые воды разбиты на подгруппы по следующим признакам: слабосоленоватые – питьевые по необходимости, минеральные питьевые; среднесолоноватые – водопойные; сильносоленоватые – водопойные по необходимости; слабосоленые – нижняя граница (25‰) обоснована тем, что при данной минерализации температура замерзания и температура максимальной плотности равны между собой; умеренно соленые – вода опресненных морей; нормально соленые – вода Мирового океана. В рассолах выделена подгруппа крепосоленых вод, или очень слабых рассолов, соответствующая минерализации воды некоторых осолоненных морей аридных областей.

Следует отметить, что границы подгрупп в классификации Толстихина выделены несколько условно. Исходя из конкретных практических целей, можно использовать любую классификацию, приведенную в табл. 2.

Таблица 2

Примеры классификаций природных вод по минерализации
(Никаноров, 2001)

Автор классификации, годы	Воды	Минерализация	
		г/дм ³	‰
В.И. Вернадский, 1933–1936	Пресные	<1	
	Солоноватые	1–10	
	Соленые	10–50	
	Рассолы	>50	
И.Е. Зайцев, 1945–1972	Пресные:	<1	<1
	а) весьма пресные		<0,1

Автор классификации, годы	Воды	Минерализация	
		г/дм ³	‰
	б) нормально пресные в) жесткие пресные		0,1–0,5 0,5–1,0

Автор классификации, годы	Воды	Минерализация	
		г/дм ³	‰
	Соленые: а) солоноватые б) слабосоленые в) сильносоленые	1–36	1–35 1–3 3–10 10–35
	Рассолы: а) весьма слабые б) слабые в) крепкие г) весьма крепкие д) сверхкрепкие	>36 36–75 75–150 70–140 320	>35 35–70 150–320 140–270 270–350 >350
А.М. Овчинников	Ультрапресные Пресные Воды с относительно повышенной минерализацией Солоноватые Соленые Воды повышенной солености	<0,2 0,2–0,5 0,5–1 1–3 3–10 10–35	
О.А. Алекин	Воды рек: а) очень малой минерализации б) малой минерализации в) средней минерализации г) повышенной минерализации д) высокой минерализации	<0,1 0,1–0,2 0,2–0,5 0,5–1,0 >1,0	
О.А. Алекин, 1970	Пресные Солоноватые С морской соленостью Рассолы	<1 1–25 25–50 >50	

Автор классификации, годы	Воды	Минерализация	
		г/дм ³	‰
М.С. Гуревич и Н.И. Толстихин, 1961	Сверхпресные	<0,01	
	Пресные:	0,01–1,0	
	а) наиболее пресные	0,01–0,03	
	б) очень пресные	0,03–0,1	
	в) нормально пресные	0,1–0,5	
	г) пресноватые	0,5–1,0	
	Солоноватые:	1–10	
	а) слабосоленые	1–3	
	б) сильносоленые	3–10	
	Соленые:	10–50	
	а) слабосоленые	10–35	
	б) сильносоленые	35–50	
	Рассолы:	>50	
	а) слабоконцентрированные	50–100	
б) крепкие	100–270		
в) очень крепкие	270–350		
г) сверхкрепкие	>350		
А.В. Щербаков, 1962	Пресные:		
	а) резко пресные	<0,2	
	б) умеренно пресные	0,2–0,5	
	в) нормально пресные	0,5–1,0	
	Солоноватые:		
	а) слабосоленые	1–3	
	б) солоноватые	3–10	
	Соленые:		
	а) слабосоленые	10–30	
	б) соленые	30–50	
а) слабые	50–100		
б) крепкие	100–320		
в) резко крепкие	>320		
Е.В. Пиннекер, 1966	Рассолы:		
	а) слабые	36–150	35–135
	б) крепкие	150–320	135–265

Так, в классификации О.А. Алекина (1970) область пресных вод установлена до величины 1 г/кг. Это основано на не восприятии человеком вкуса солености при наличии ионов свыше 1 г/кг. Граница в 25 г/кг между солоноватыми водами и водами с морской соленостью установлена на том основании, что примерно при этой минерализации (для морской воды 24,695 г/кг) температура замерзания и максимальной плотности воды совпадают. Граница между водами морской солености и солеными водами установлена потому, что в морях не наблюдается минерализация свыше 50 г/кг; более высокие ее величины характерны только для соляных озер и сильно минерализованных подземных вод. Существуют градации минерализации воды и в более узких пределах, применительно к определенным объектам или районам (Алекин, 1970).

Классификация вод по их минерализации позволяет произвести подразделение вод только в общих чертах и не учитывает особенностей содержания отдельных ионов и газов.

2.2. Классификации природных вод по химическому составу

Химический состав природных вод очень разнообразен. В естественных условиях встречаются и пресные, и высокоминерализованные воды. Такое большое разнообразие приводит к необходимости систематизации и разделения видов вод определенным образом. В настоящее время разработано много классификаций природных вод по химическому составу. В основу таких классификаций положены разные признаки: минерализация, преобладающий ион, соотношение ионов, группа ионов, наличие специфических компонентов газового (CO_2 , H_2S и т. д.) или ионного состава (Fe , Ra , I и т. д.).

2.2.1. Классификация С.А. Шукарева

Основана на делении вод по присутствию в воде ионов в количестве, большем чем 12,5% экв. В естественных условиях в таких количествах встречаются преимущественно шесть главных ионов: гидрокарбонатов (HCO_3), сульфатов (SO_4), хлора (Cl), натрия (Na), магния (Mg) и кальция (Ca). Очевидно, что одни катионы или одни анионы в растворе существовать не могут; в нем могут быть сочетания, построенные на комбинациях трех катионов с тремя анионами (рис. 5).

На рисунке 5 по вертикальной линии нанесены возможные комбинации катионов, а по горизонтальной – анионов. Согласно классификации вод С.А. Щукарева (1934), в природных водах возможно 49 сочетаний, которые соответствуют 49 классам природных вод (рис. 5). Каждый класс имеет свой номер. Например, состав девятого класса воды определяется присутствием ионов Ca , Mg , HCO_3 и SO_4 в количестве, большем чем 12,5% экв каждого из них.

Mg''	1	8	15	22	29	36	43
Ca'', Mg''	2	9	16	23	30	37	44
Ca''	3	10	17	24	31	38	45
Na', Ca''	4	11	18	25	32	39	46
Na'	5	12	19	26	33	40	47
Na', Ca'', Mg''	6	13	20	27	34	41	48
Na', Mg''	7	14	21	28	35	42	49
	SO_4'', Cl', HCO_3	SO_4'', HCO_3	HCO_3	HCO_3', Cl'	Cl'	SO_4'', Cl'	SO_4

Рис. 5. Схема классификации вод С.А. Щукарева (Алекин, 1970)

2.2.2. Классификация О.А. Алекина

Эта классификация сочетает принцип деления по преобладающим анионам и катионам с делением по соотношениям между ионами. Все природные ионы делятся по преобладающему аниону (по эквивалентам) на три класса: гидрокарбонатных и карбонатных ($HCO_3 + CO_3$), сульфатных (SO_4) и хлоридных (Cl) вод (рис. 6). Каждый класс по преобладающему катиону подразделяется на три группы: кальциевую (Ca), магниевую (Mg) и натриевую (Na). Каждая группа, в свою очередь, подразделяется на три типа вод из четырех (I, II, III, IV типы), определяемых соотношением между ионами в мг-экв.

Первый тип характеризуется соотношением $HCO_3 > Ca + Mg$.

Второй тип характеризуется соотношением $HCO_3 < Ca+Mg < HCO_3+SO_4$.

Третий тип характеризуется соотношением $HCO_3+SO_4 < Ca+Mg$ или, что то же самое, $Cl > Na$.

Четвертый тип характеризуется соотношением $HCO_3 = 0$, т. е. воды этого типа кислые. Поэтому в класс карбонатных вод этот тип не входит, и его воды находятся только в сульфатном и хлоридном классах в группах *Ca* и *Mg*, где нет первого типа (рис. 6).

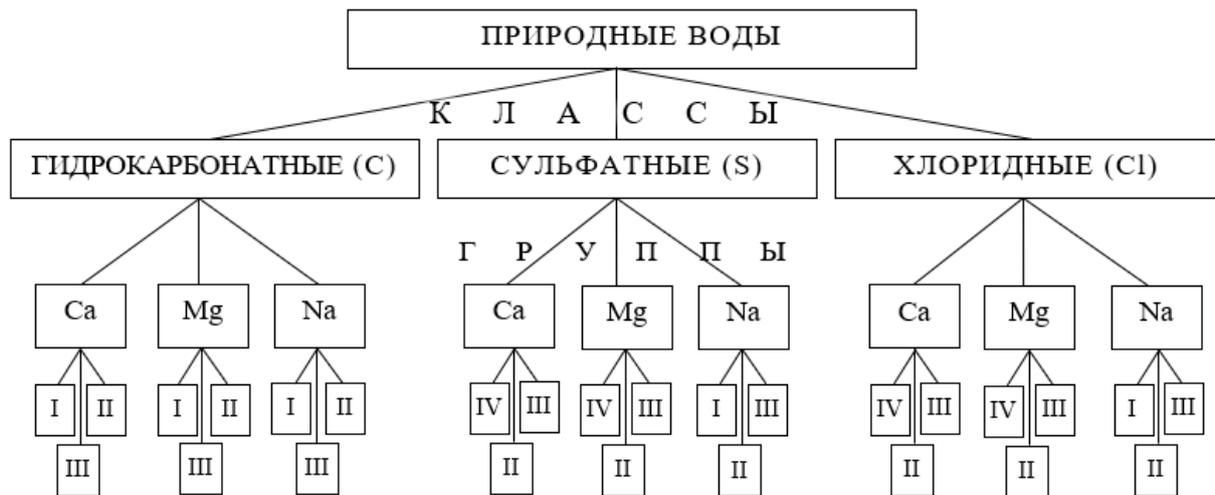


Рис. 6. Схема классификации природных вод по преобладающему аниону и катиону и соотношению между главнейшими ионами (Алекин, 1970)

Согласно классификации О.А. Алекина класс обозначается символом, выводимым из названия соответствующего аниона (*C*, *S*, *Cl*), а группа обозначается своим химическим символом, который записывается в виде степени к символу класса. Принадлежность к типу вод обозначается римской цифрой внизу символа класса. Символы пишутся следующим образом: C_{II}^{Ca} (гидрокарбонатный класс, группа кальция, тип второй), S_{III}^{Na} (сульфатный класс, группа натрия, тип третий) или Cl_{III}^{Na} (хлоридный класс, группа натрия, тип третий).

Также к индексу добавляется величина минерализации (внизу, с точностью до 0,1 г/кг) и общая жесткость (вверху с точностью до целых единиц мг-экв/л), например, $C_{II}^{Ca} 0,4^5$. Один мг-экв/л соответствует содержанию в литре воды 20,04 миллиграмм Ca^{2+} или 12,16 миллиграмм Mg^{2+} (атомная масса, делённая на валентность). Общая жесткость рассчитыва-

ется как сумма концентраций эквивалентов ионов кальция и магния в 1 литре воды:

$$H_{\text{общ}} = \frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16}, \text{ (мг-экв/л)}$$

Ca^{2+} и Mg^{2+} в числителе дроби выражены в мг/л.

2.2.3. Классификация В.А. Александрова

Построена на разделении вод по составу на шесть классов:

Первые три класса (гидрокарбонатный, сульфатный, хлоридный) выделяются по преобладанию одного из следующих ионов: HCO_3 , SO_4 и Cl больше 12,5% экв, и содержанию других ионов меньше 12,5 экв, считая сумму анионов и катионов за 100% экв.

Четвертый класс является комбинированным. К нему относятся воды, если содержание двух или трех анионов превышает 12,5% экв. Каждый из этих четырех классов подразделяется в зависимости от преобладания одного из следующих катионов: Ca , Mg , Na .

Пятый класс включает воды одного из предыдущих классов при содержании каких-либо специфических ионов, встречающихся в природных водах в малых количествах (Fe , Al , I и др.).

Шестой класс объединяет воды, содержащие в повышенных количествах газы (CO_2 и H_2S) и радиоактивные вещества.

Эта классификация удобна для минеральных вод.

2.2.4. Классификация М.Г. Валяшко

В своей классификации М.Г. Валяшко (1955 г.) объяснил существование в природе хлоридного, сульфатного и карбонатного гидрохимических типов природных вод закономерными изменениями растворимости соединений. Для разработки своей классификации М.Г. Валяшко выделил минимальное число главных компонентов в широком диапазоне значений минерализации природных вод и рассмотрел образуемые ими простейшие равновесные системы. К главным компонентам он отнес: HCO_3 (CO_2), SO_4 , Cl – из анионов и Ca , Mg , Ka – из катионов. Эти компоненты свойственны водам всех значений минерализации. Рассмотрение свойств системы, образованной этими шестью компонентами, также позволяет выделить более

простые системы, в которых часть ионов играет подчиненную роль благодаря образованию малорастворимых соединений. В соответствии с этим М.Г. Валяшко выделяет основные химические типы воды:

Карбонатный тип воды. Солевой состав:

Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, Na_2SO_4 , $NaCl$;

$MgCO_3$, — — —;

$CaCO_3$ — — —.

Сульфатный тип воды. Солевой состав:

— — Na_2SO_4 , $NaCl$;

$MgCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$;

$CaCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, —.

Хлоридный тип воды. Солевой состав:

— — — $NaCl$;

— — — $MgCl_2$;

$CaCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$.

В этом типе вод выделяются два подтипа: сульфатно-натриевый и сульфатно-магниевый (хлоридно-магниевый). Карбонатный, сульфатный и хлоридный типы вод охватывают подавляющее большинство природных вод.

Тип кислых вод характеризуется присутствием сильных кислот H_2SO_4 , HCl , HF , но эти воды устойчивы только в специфических областях активного вулканизма или в областях выветривания колчеданных месторождений (шахтные воды).

В таблице 3 приведены значения коэффициентов, которые используются для определения всех четырех типов вод. Отличительным свойством выделенных типов вод является то, что переход состава воды из одного химического типа в другой не может быть осуществлен иначе, как путем взаимодействия с веществом окружающей среды. Эти процессы получили название процессов метаморфизации природных вод. Различают прямую и обратную метаморфизацию (рис. 7):

Таблица 3

Коэффициенты, определяющие принадлежность воды к одному из основных химических типов вод
(Никаноров, 2001)

Тип воды	$K_1 = \frac{\varepsilon CO_3^2 \cdot \varepsilon HCO_3}{\varepsilon Ca^2 + \varepsilon Mg^2}$	$K_2 = \frac{\varepsilon CO_3^2 \cdot \varepsilon HCO_3 + \varepsilon SO_4^2}{\varepsilon Ca^2 + \varepsilon Mg^2}$	$K_3 = \frac{\varepsilon CO_3^2 \cdot \varepsilon HCO_3 + \varepsilon SO_4^2}{\varepsilon Ca^2}$	$K_3 = \frac{\varepsilon CO_3^2 \cdot \varepsilon HCO_3}{\varepsilon Ca^2}$
Карбонатный	> 1	> 1	> 1	> 1
Сульфатный	< 1	> 1	> 1	≥ 1
натриевый подтип				
магниевый подтип	< 1	< 1	> 1	≥ 1
Хлоридный	< 1	< 1	< 1	< 1
Кислые	0	≥ 1	≥ 1	0

Примечание: ε – количество вещества эквивалента того иона, который стоит справа.

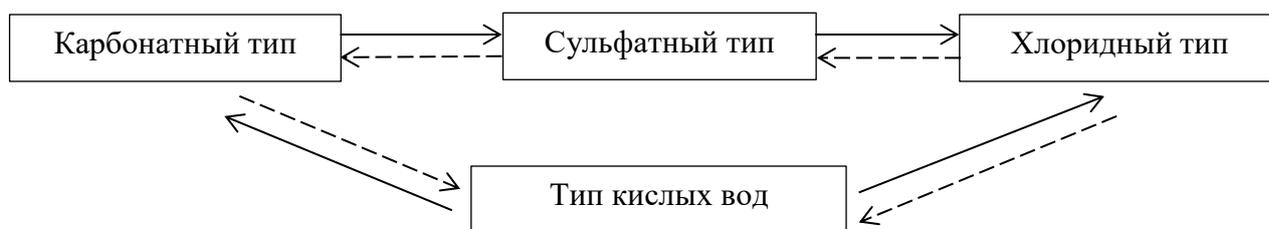


Рис. 7. Схема метаморфизации природных вод (Валяшко, 1955)

Метаморфизация в прямом направлении (сплошная стрелка) приводит к постепенной потере менее устойчивых в растворе компонентов, воды карбонатного типа сменяются водами сульфатного и хлоридного типов. Метаморфизация в обратном направлении (штриховые стрелки) приводит к смене вод хлоридного типа водами сульфатными и карбонатными. Развитию прямой метаморфизации способствует увеличение аридности климата, возрастание подвижности иона кальция, что приводит к росту общей минерализации воды и ее хлоридности. Процессу обратной метаморфизации помогает влажный климат, что вызывает рассоление водовмещающих пород, снижение степени минерализации и возрастание карбонатности воды.

Для кислого типа главным будет переход в один из первых трех типов вод (гораздо более устойчивых в поверхностной обстановке и в верхней части осадочной оболочки), и только в редких случаях и на ограниченных территориях – обратный переход одного из этих типов вод в кислые воды. Такой путь трансформации показан на схеме пунктирными стрелками (рис. 7).

Важным достоинством данной классификации является то, что в ее основу заложен генетический подход, который нередко дает возможность, с одной стороны, по современному химическому облику вод воссоздать их исходный состав, а с другой – предсказать вероятные изменения в химическом составе современных вод под действием процессов метаморфизации.

Недостатки классификации:

1) кислые воды плохо вписываются в рамки классификации, поскольку главными катионами в этих водах нередко бывают тяжелые металлы, а кислотность обусловлена присутствием свободных минеральных (серной, соляной) и органических (фульвокислот, гуминовых и др.) кислот;

2) классификация не отражает количественное и качественное изменение в химическом составе пресных поверхностных вод суши.

Вопросы для самопроверки

1. Какие классификации больше подходят для подземных вод?
2. Какие классификации лучше всего подходят для поверхностных маломинерализованных вод?
3. На чем основано деление вод по величине минерализации в классификации О.А. Алекина (1970)?
4. Как записывается химический состав воды по классификации О.А. Алекина (1970)?
5. В чем заключается классификация вод С.А. Щукарева?
6. Какие виды вод относят к сверхпресным водам по Н.И. Толстихину?
7. Сколько классов и групп в классификации О.А. Алекина?
8. Какие воды называются комбинированными по классификации В.А. Александрова?
9. Чем отличаются классификации вод С.А. Щукарева и О.А. Алекина?

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Практическая работа № 1. Физические свойства воды

Задание:

1. Определить средние величины расхода воды, цветности и прозрачности по сезонам.
2. Построить графики изменения прозрачности и цветности воды в зависимости от водности.
3. Проанализировать изменение цветности воды и прозрачности воды в зависимости от фаз водного режима.

Исходные данные:

Таблицы химического состава воды из Гидрологических ежегодников, размещенные на Яндекс-диске за период 1954–1975 гг. (<https://disk.yandex.ru/d/duzE7pEwexJYVg?w=1>)

Порядок выполнения работы:

1. Выбрать речной гидрологический пост, в соответствии с вариантом в Приложении Б. Годы, за которые следует выписывать данные определяете самостоятельно.

2. Выписать в табл. 1.1 данные о физических свойствах воды, расходах (или уровнях, в случае отсутствия данных по расходам) воды (Q , м³/с) за 5 лет по сезонам: зимняя межень, половодье, летняя межень, осенние дождевые паводки. В случае, если данных за 5 лет недостаточно, т. е. не набирается 10 дат по сезонам, необходимо взять дополнительные годы.

Сезоны условно определяем следующим образом:

Зимняя межень – период с ледовыми явлениями, определяется по условным обозначениям в таблицах ежедневных уровней воды (ноябрь–март).

Половодье – определяется как период интенсивного роста/спада расходов воды в весенний период (апрель–май для южных рек; апрель–июнь для северных рек).

Летняя межень – период относительной стабилизации расходов воды в летний период (июль–август).

Осенние дождевые паводки – период кратковременного повышения расходов воды осенью за счет выпадения жидких осадков (сентябрь–октябрь).

Таблица 1.1

Данные о физических свойствах воды реки _____ на в.п. _____
за период _____ годы

№	Дата взятия пробы	Расход воды на дату, м ³ /с	Цвет по <i>Pl-Co</i> шкале	Прозрачность по стандартному шрифту, см	Вкус	Запах
Зимняя межень						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Среднее					—	—
Половодье						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Продолжение табл. 1.1

№	Дата взятия пробы	Расход воды на дату, м ³ /с	Цвет по <i>Pt-Co</i> шкале	Прозрачность по стандартному шрифту, см	Вкус	Запах
8						
9						
10						
Среднее					—	—
Летняя межень						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Среднее					—	—
Осенние дождевые паводки						
1						
2						
3						
4						
5						

Окончание табл. 1.1

№	Дата взятия пробы	Расход воды на дату, м ³ /с	Цвет по <i>Pl-Co</i> шкале	Прозрачность по стандартному шрифту, см	Вкус	Запах
6						
7						
8						
9						
10						
Среднее					—	—

3. Рассчитать средние данные по сезонам (зимняя межень, половодье, летняя межень, осенние дождевые паводки).

4. Построить зависимости по средним данным о прозрачности (рис. 1.1) и цветности воды (рис. 1.2) в зависимости от расхода воды (или уровня, в случае отсутствия данных о расходах). Точки соответствующих фаз водного режима обозначать следующим образом: зимняя межень – ▲, половодье – ●, летняя межень – ■, осенние дождевые паводки – ◆.

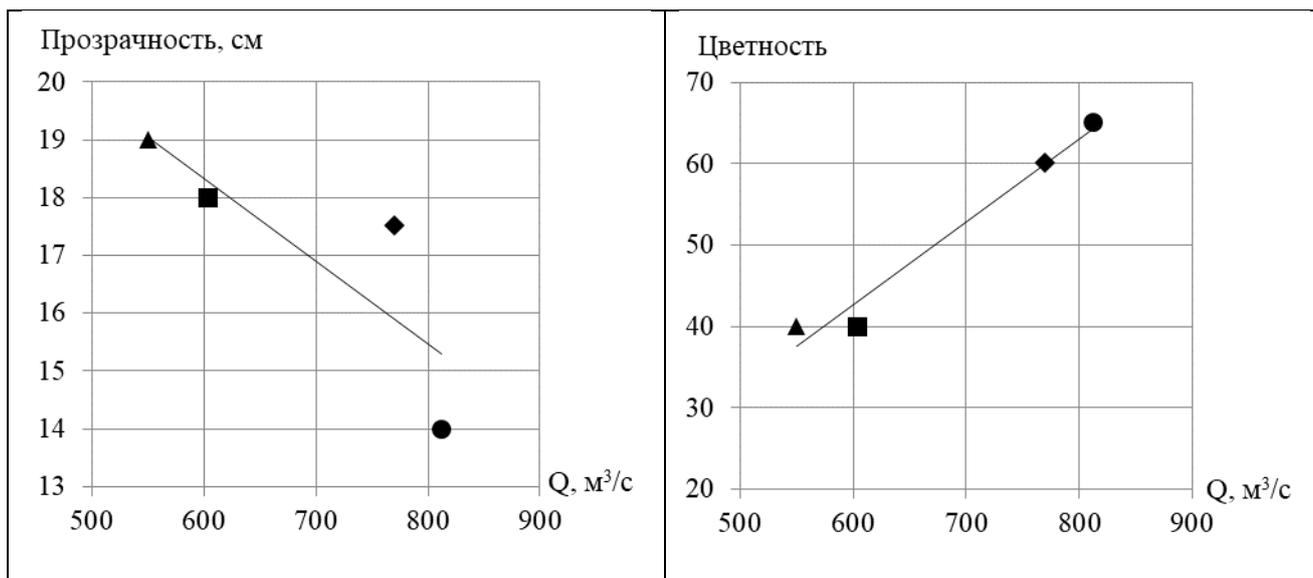


Рис. 1.1. Зависимость прозрачности воды от расхода воды (Q , м³/с) в разные гидрологические сезоны для р. _____ – в.п. _____ за период 1965–1970 гг.

Рис. 1.2. Зависимость цветности воды от расхода воды (Q , м³/с) в разные гидрологические сезоны для р. _____ – в.п. _____ за период 1965–1970 гг.

(зимняя межень – ▲, половодье – ●, летняя межень – ■, осенние дождевые паводки – ◆)

5. Выполнить анализ изменения цветности воды и прозрачности воды в зависимости от фаз водного режима. Пояснить причины изменения цветности и прозрачности воды в разные сезоны года в зависимости от факторов, оказывающих влияние.

Вопросы для самопроверки

1. Как измеряется цветность и прозрачность природных вод?
2. В каких единицах выражается цветность и прозрачность природных вод?
3. Как изменяется цветность и прозрачность по сезонам года и почему?

Практическая работа № 2. Растворенные газы

Задание:

1. Рассчитать средние величины кислорода (O_2), двуокиси углерода (CO_2), температуры воды (t) и водородного показателя (pH) по сезонам.
2. Рассчитать степень насыщенности воды O_2 .
3. Построить зависимость растворенного кислорода (O_2 , мг/л) от температуры воды (t , °C).
4. Построить зависимости растворенного кислорода (O_2 , мг/л) и двуокиси углерода (CO_2 , мг/л) от расхода воды (Q , м³/с).
5. Проанализировать режим изменения газов (O_2 , CO_2), температуры воды (t) и водородного показателя (pH) в зависимости от сезонов.

Исходные данные:

Величины кислорода, двуокиси углерода, температуры воды и водородного показателя из таблиц химического состава воды, опубликованного в Гидрологических ежегодниках. Данные таблицы сформированы за период 1966–1975 гг. и размещены в формате *.pdf на Яндекс-диске (<https://disk.yandex.ru/d/duzE7pEwexJYVg?w=1>). Там же размещены данные по среднесуточному атмосферному давлению на метеостанции Пермь (МС Пермь) за период 1966–1975 гг. (https://disk.yandex.ru/i/0Uis68pfiSJs_w).

Порядок выполнения работы:

1. Выбрать речной гидрологический пост, в соответствии с вариантом в Приложении Б. Годы, за которые следует выписывать данные, выбираете за период 1966–1975 гг., с таким условием, чтобы были данные наблюдений за кислородом (O_2), двуокисью углерода (CO_2), температурой воды (t) и водородным показателем (pH).
2. Выписать в табл. 2.1 данные о растворенных газах (O_2 , CO_2), pH , температуре воды (t), расходах воды (Q) за 5 лет по сезонам: зимняя межень, половодье, летняя межень и осенние дождевые паводки. Аналогично практической работе № 1, если данных за 5 лет недостаточно, добирате недостающие материалы в дополнительные годы.

Таблица 2.1

Данные о растворенных газах р. _____ на в.п. _____ за период _____ годы

п/п №	Дата взятия пробы	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$O_2, \text{ мг/л}$		$CO_2, \text{ мг/л}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	pH
			мг/л	% насыщения			
1	2	3	4	5	6	7	8
Зимняя межень							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Среднее							
Весеннее половодье							
1							
2							
3							
4							

Продолжение табл. 2.1

п/п №	Дата взятия пробы	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$O_2, \text{ мг/л}$		$CO_2, \text{ мг/л}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	pH
			мг/л	% насыщения			
1	2	3	4	5	6	7	8
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Среднее							
Летняя межень							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Среднее							

Окончание табл. 2.1

п/п №	Дата взятия пробы	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$O_2, \text{ мг/л}$		$CO_2, \text{ мг/л}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	pH
			мг/л	% насыщения			
1	2	3	4	5	6	7	8
Осенние дождевые паводки							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Среднее							

3. Рассчитать степень насыщенности воды O_2 по формуле (1). Для расчетов значение количества O_2 (в мг/л), найденное анализом (a), используется из графы 4 табл. 2.1; нормальное значение количества O_2 при данной температуре воды и атмосферном давлении 760 мм рт. ст. (N) определяете по рис. 2.1, для пресной воды, если сумма ионов меньше 1,0 г/кг, либо для соленой воды, если сумма ионов больше 1,0 г/кг. Среднесуточное атмосферное давление (P , мм рт. ст.) по МС Пермь определить по данным из файла, размещенного на Яндекс-диске (https://disk.yandex.ru/i/0Uis68pfiSJs_w).

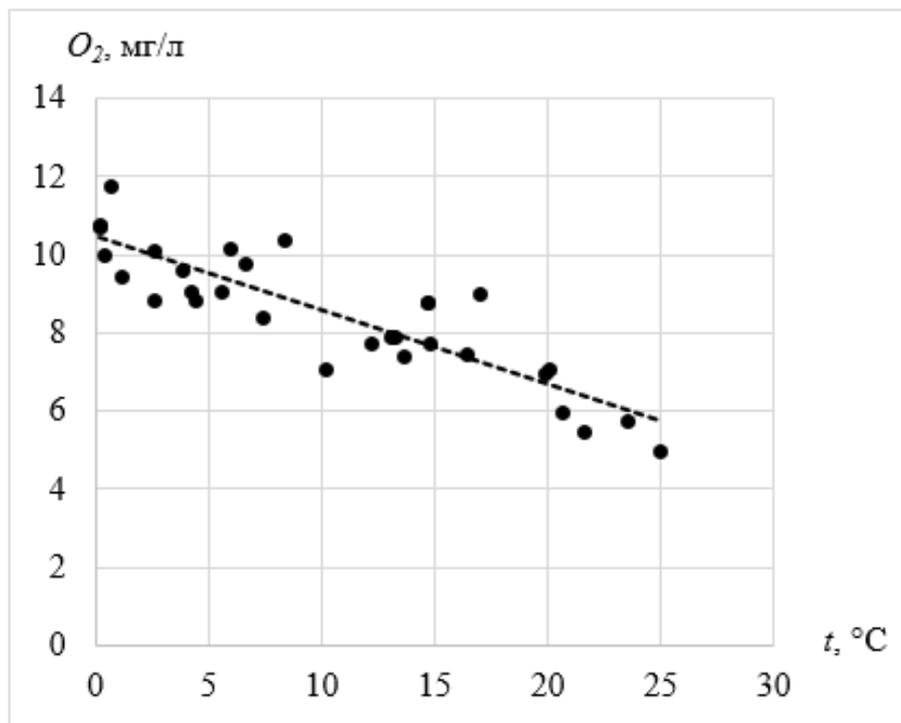


Рис. 2.1. Зависимость растворенного кислорода (O_2 , мг/л) от температуры воды (t , °C) для р. Вятка – г. Киров за период 1968–1975 гг.

Пример расчета: для р. Вятка – г/п Киров на 28.04.1970 г.

$O_2 = 9,07$ мг/л; $t = 4,2$ °C; $P = 761$ мм рт.ст.

Нормальное значение количества O_2 (N) снимаем с графика на рис. 4, в зависимости от температуры воды 4,2 °C для пресных вод, т. к. сумма ионов меньше 1,0 г/кг. При $t=4,2$ °C, для пресных вод $N=12,9$ мг/л. Все значения подставляем в формулу 1:

$$O_2 = \frac{a \cdot 760}{N \cdot P} 100 = \frac{9,07 \cdot 760}{12,9 \cdot 761} 100 = \frac{6893,2}{9816,9} 100 = 70,2 (\%)$$

Аналогичным образом рассчитываем степень насыщенности воды O_2 на каждый день взятия пробы. Результаты расчетов поместить в графу 5 табл. 2.1.

4. По всем собранным данным о кислороде (графа 4) и температуре воды (графа 7) в табл. 2.1 построить зависимость, аналогичную рис. 2.1. Проанализировать причины появления отскакивающих точек на графике.

5. Рассчитать средние характеристики по сезонам в табл. 2.1 и, используя данные величины, построить график зависимости растворенного кислорода (O_2 , мг/л) от расхода воды (Q , м³/с). Точки, соответствующие каждому сезону, обозначать следующим образом: зимняя межень – ▲, половодье – ●, летняя межень – ■, осенние дождевые паводки – ◆. Всего на графике будет 4 точки (рис. 2.2).

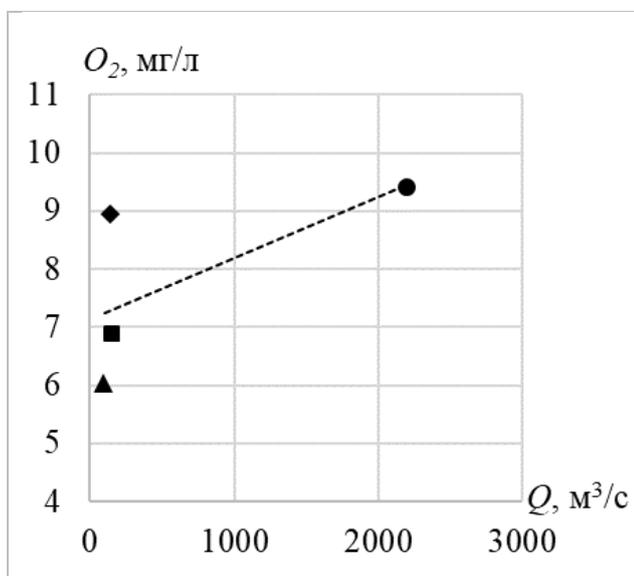


Рис. 2.2. Зависимость растворенного кислорода (O_2 , мг/л) в разные гидрологические сезоны для р. Вятка – г. Киров за период 1968–1975 гг.

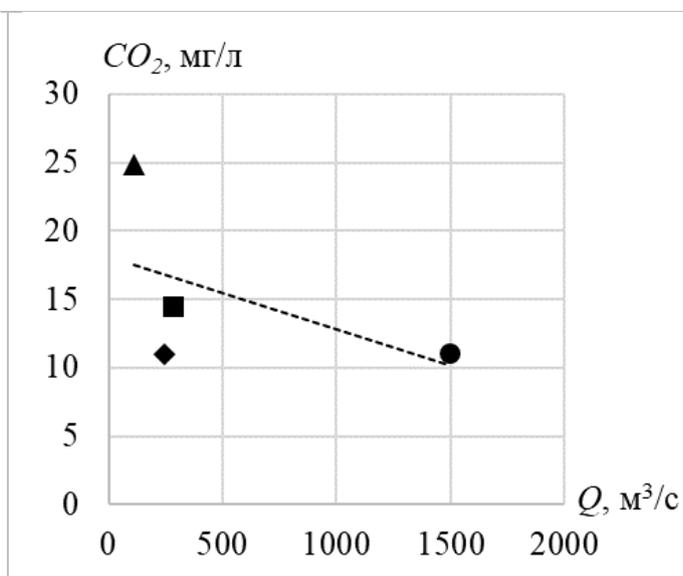


Рис. 2.3. Зависимость растворенной двуокиси углерода (CO_2 , мг/л) от расхода воды (Q , м³/с) в разные гидрологические сезоны для р. Вятка – г. Киров за период 1965–1970 гг.

(зимняя межень – ▲, половодье – ●, летняя межень – ■, осенние дождевые паводки – ◆)

6. Построить график изменения режима растворенной двуокиси углерода (CO_2 , мг/л) от расхода воды (Q , м³/с) по данным, осредненным за 4 сезона (зимняя межень – ▲, половодье – ●, летняя межень – ■, осенние дождевые паводки – ◆). Всего на графике будет 4 точки (рис. 2.3).

7. Проанализировать режим изменения газов (O_2 , CO_2), температуры воды (t) и водородного показателя (pH) в зависимости от сезонов. Пояснить, почему полученные зависимости имеют разную направленность. Также дать анализ причины того, почему в одни сезоны кислорода больше, а в другие – меньше. Аналогичный анализ провести для двуокиси углерода (CO_2).

Вопросы для самопроверки

1. В каких единицах измеряется растворенный кислород и двуокись углерода?
2. От чего зависят процессы поглощения и выделения кислорода водным объектом?
3. В каких случаях наблюдается пресыщение кислородом водного объекта?
4. Каких концентраций достигает содержание кислорода в реках и водохранилищах Пермского края?
5. Что такое заморные явления и когда они наблюдаются?
6. Какие процессы обогащают воду кислородом?
7. В результате каких процессов уменьшается содержание кислорода в воде?
8. Какие процессы приводят к уменьшению двуокиси углерода в природных водах?
9. Как изменяется содержание кислорода и двуокиси углерода по сезонам?
10. Как выражают щелочную и кислую среду в природных водах?
11. В каких озерах растворенный кислород характеризуется наибольшим содержанием его зимой и наименьшим — летом?
12. Когда в воде наблюдаются максимальные концентрации O_2 ?

Практическая работа № 3. Ионный состав воды

Задание:

1. Рассчитать средние величины расходов воды (Q , м³/с), анионов (HCO_3 , SO_4 , Cl) и катионов (Ca , Mg , Na , K) по сезонам.
2. Пересчитать содержание ионов HCO_3 , SO_4 , Cl , Ca , Mg при переходе из ионной (мг/л) в эквивалентную форму (мг-экв/л) и вычислить содержание $Na+K$ в мг-экв/л.
3. Рассчитать содержание ионов в процентах эквивалентов от общей суммы ионов в данной воде.
4. Построить зависимость суммы ионов ($\sum I$, мг/л) от расхода воды (Q , м³/с).
5. Построить график изменения количества ионов HCO_3 , SO_4 , Cl , Ca , Mg , $Na+K$ от суммы ионов.
6. Проанализировать: изменение суммы ионов в зависимости от сезонов, зависимость содержания некоторых ионов от величины суммы ионов, особенности изменения процентных соотношений ионов по сезонам.
7. Выполнить классификацию вод по О.А. Алекину (1970).

Исходные данные:

Величины среднесуточных расходов воды (Q , м³/с), анионов (HCO_3 , SO_4 , Cl) и катионов (Ca , Mg , Na , K) из таблиц химического состава воды, опубликованного в Гидрологических ежегодниках. Данные таблицы сформированы за период 1954–1975 гг. и размещены в формате *.pdf на Яндекс-диске (<https://disk.yandex.ru/d/duzE7pEwexJYVg?w=1>).

Порядок выполнения работы:

1. Выбрать речной гидрологический пост, в соответствии с вариантом в Приложении Б.
2. За период 1954–1975 гг. выписать в табл. 3.1 данные наблюдений за среднесуточными расходами воды (Q , м³/с), анионами (HCO_3 , SO_4 , Cl) и катионами (Ca , Mg , Na , K) не менее чем на 10 дат в каждом сезоне.
3. Рассчитать средние данные по сезонам (зимняя межень, половодье, летняя межень, осенние дождевые паводки), занести в табл. 3.1.

4. По таблице 3.2 пересчитать содержание ионов HCO_3 , SO_4 , Cl , Ca , Mg и перевести из ионной (мг/л) в эквивалентную форму (мг-экв/л). Для пересчета используют коэффициенты (табл. 3.3), которые представляют собой частное от деления единицы на эквивалентный вес данного иона. Путем умножения содержания данных ионов в мг/л на соответствующий коэффициент получают содержание ионов в мг-экв/л.

Таблица 3.3

**Коэффициенты для пересчета из ионной формы (мг/л)
в эквивалентную (мг-экв/л)**

Ион	Коэффициент	Ион	Коэффициент
Ca	0,04990	HCO_3	0,01638
Mg	0,08224	SO_4	0,02082
Na	0,04348	Cl	0,02820
K	0,02557	NO_2	0,02174
NH	0,05543	NO_3	0,01613

Например: Даны средние значения ионного состава воды р. Чусовая – пгт Староуткинск в зимнюю межень за период 1955–1962 гг. (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Средние значения ионного состава воды р.Чусовая – пгт Староуткинск

Зимняя межень	Катионы					Анионы		
	Ca	Mg	$Na+K$	NO_2	NO_3	HCO_3	SO_4	Cl
мг/л	97,8	21	7,7	0,009	1,32	245,1	130,9	5,8
мг-экв/л	4,88	1,73	0,282	0,0002	0,021	4,02	2,73	0,163
в % экв	35	13	2	0	0	29	20	1

$$Ca = 97,8 \cdot 0,04990 = 4,88 \text{ (мг-экв/л)}$$

$$Mg = 21 \cdot 0,08224 = 1,73 \text{ (мг-экв/л)}$$

$$NO_2 = 0,009 \cdot 0,02174 = 0,0002 \text{ (мг-экв/л)}$$

$$NO_3 = 1,32 \cdot 0,01613 = 0,021 \text{ (мг-экв/л)}$$

$$HCO_3 = 245,1 \cdot 0,01638 = 4,02 \text{ (мг-экв/л)}$$

$$SO_4 = 130,9 \cdot 0,02082 = 2,73 \text{ (мг-экв/л)}$$

$$Cl = 5,8 \cdot 0,02820 = 0,163 \text{ (мг-экв/л)}$$

5. Вычислить содержание $Na+K$ в мг-экв/л. Данные ионы в Гидрологических ежегодниках представлены суммой. Известно, что коэффициенты для пересчета из ионной формы в эквивалентную в табл. 3.3 даны только для Na (0,04348) и K (0,02557) по отдельности. Расчет данных величин выполняется следующим образом: известно, что при выражении ионов в эквивалентной форме число эквивалентов катионов в растворе должно равняться числу эквивалентов анионов. Поэтому разность $\sum_{анионов} - \sum_{катионов}$ в мг-экв/л соответствует содержанию $Na+K$.

$$\sum_{анионов} = HCO_3 + SO_4 + Cl = 4,02 + 2,73 + 0,163 = 6,913 \text{ (мг-экв/л)}$$

$$\sum_{катионов} = Ca + Mg + (Na+K) + NO_2 + NO_3 = 4,88 + 1,73 + ? + 0,0002 + 0,021 = 6,631 \text{ (мг-экв/л)}$$

$$Na+K = \sum_{анионов} - \sum_{катионов} = 6,913 - 6,631 = 0,282 \text{ (мг-экв/л)}$$

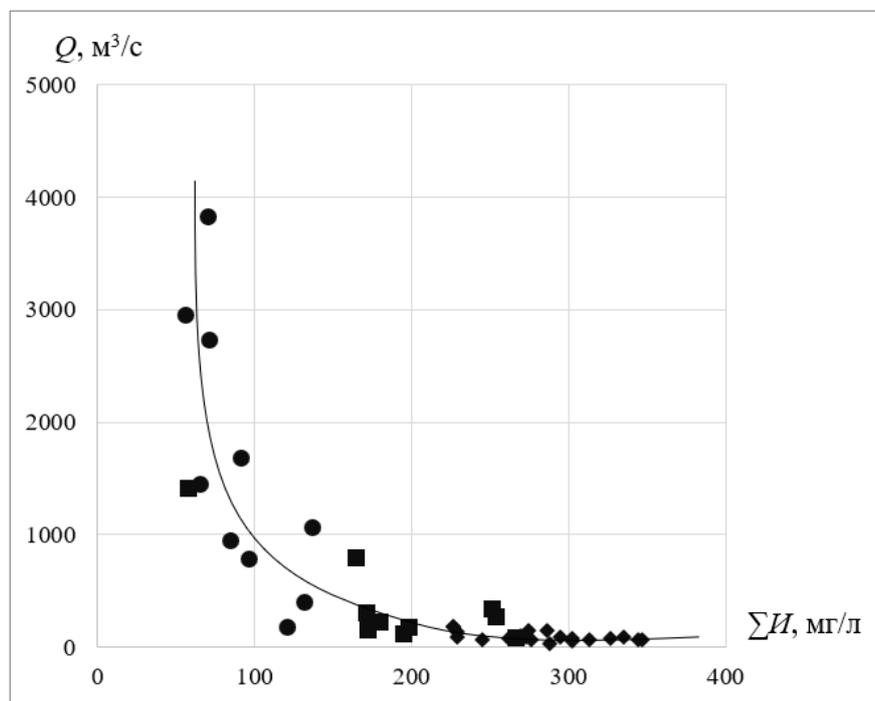


Рис. 3.1. Зависимость суммы ионов ($\Sigma И$, мг/л) от расхода воды (Q , м³/с) на р. Вятка – г/п Киров за период 1951–1968 гг.

(зимняя межень – ▲, половодье – ●, летняя межень – ■, осенние дождевые паводки – ◆)

6. Рассчитать содержание ионов в процентах эквивалентов от общей суммы ионов в данной воде. Это соотношение между ионами необходимо знать для классифицирования природных вод. Процент эквивалент вычисляется по формуле

$$\% \text{ экв} = \frac{a}{\sum \text{анионов} + \sum \text{катионов}} \cdot 100 \quad (2)$$

где a – содержание каждого из ионов в мг-экв/л.

7. Построить зависимость суммы ионов ($\sum I$, мг/л) от расхода воды (Q , м³/с) с использованием данных за все сезоны, как показано на рис. 3.1. Всего должно быть 40 точек на графике. Выполнить анализ изменчивости суммы ионов в зависимости от водности сезона.

8. Построить график изменения количества ионов HCO_3 , SO_4 , Cl , Ca , Mg , $Na+K$ от суммы ионов. Пример графика представлен на рис. 3 (раздел 1.3).

9. Проанализировать:

- изменение суммы ионов в зависимости от сезонов;
- зависимость содержания некоторых ионов от величины суммы ионов;
- особенности изменения процентных соотношений ионов по сезонам.

10. Выполнить классификацию вод в соответствии со схемой, предложенной О.А. Алекиным (1970).

Вопросы для самопроверки

1. Как изменяется содержание ионов по сезонам?
2. Когда наблюдается минимум минерализации?
3. Как изменяются величины минерализации по территории РФ?
4. Какой тип питания реки создает самую малую минерализацию?
5. При каком типе питания в водных объектах наблюдается наибольшая минерализация?
6. К какому классу принадлежат воды большинства рек РФ?
7. В каком направлении увеличивается минерализация воды Европейской территории РФ?

Практическая работа № 4.

Изменение химического состава воды по длине реки

Задание:

1. Рассчитать средние величины анионов (HCO_3 , SO_4 , Cl) и катионов (Ca , Mg , Na , K) для разных гидрологических постов по сезонам.
2. Построить график изменения содержания ионов по длине реки.
3. Проанализировать изменение суммы содержания ионов в зависимости от местоположения поста и от наличия источников антропогенного загрязнения по длине реки.
4. Проанализировать особенности изменения процентных соотношений содержания ионов по длине реки.

Исходные данные:

Расстояние от устья реки до гидрологического поста, величины анионов (HCO_3 , SO_4 , Cl) и катионов (Ca , Mg , Na , K) в таблицах химического состава воды в Гидрологических ежегодниках. Файлы сформированы за период 1954–1975 гг. и размещены в формате *.pdf на Яндекс-диске:

- Бассейн Каспийского моря за период 1954–1975 гг.
<https://disk.yandex.ru/d/duzE7pEwexJYVg?w=1>.
- Бассейн Карского моря за период 1954–1975 гг.
<https://disk.yandex.ru/d/gAeB-RHAoBKfRg?w=1>.

Порядок выполнения работы:

1. В приложении Б выбрать, в соответствии со своим вариантом, реку с тремя расположенными на ней гидрологическими постами.
2. В таблицу 4.1 выписать данные об ионном составе вод (HCO_3 , SO_4 , Cl , Ca , Mg , $Na+K$) в мг/л, не менее чем на 10 дат для каждого поста. Данные выписывать по сезонам (зимняя межень – ▲, половодье – ●, летняя межень – ■, осенние дождевые паводки – ◆).
3. Рассчитать средние величины ионов по сезонам, занести в табл. 4.1.
4. Построить график изменения количества ионов по длине реки, аналогично графику, представленному на рис. 4.1. Нанести на график названия населенных пунктов.

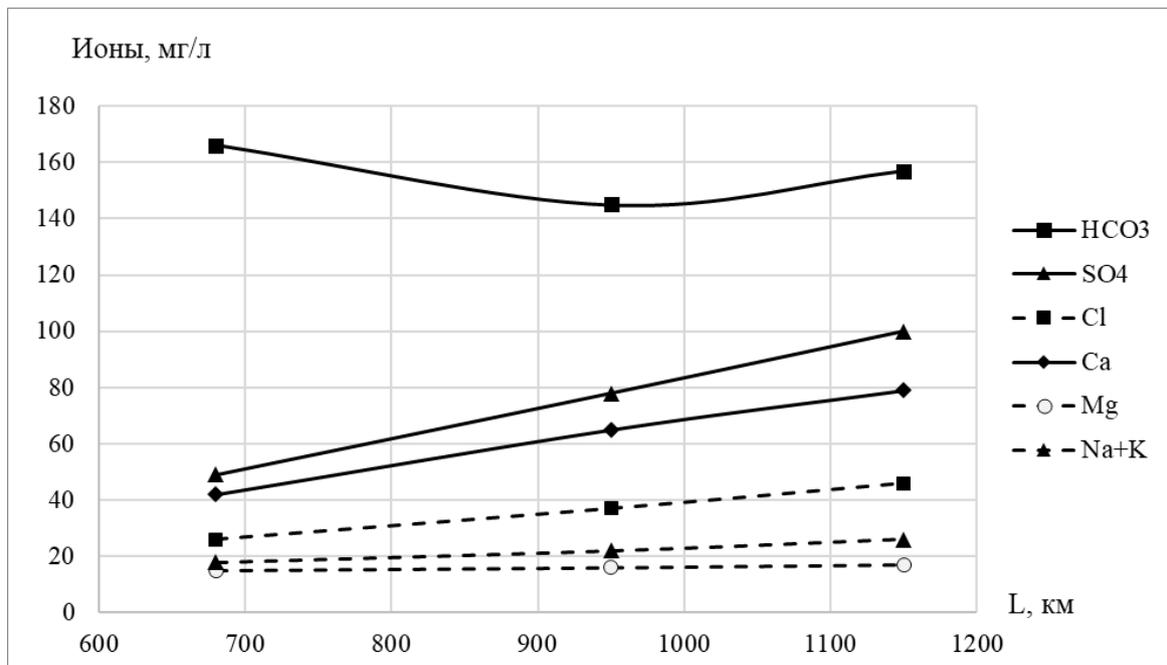


Рис. 4.1. График изменения ионов по длине р. Белая – г/п Стерлитамак, Уфа, Бирск за период 1970–1974 гг. (L – расстояние от устья, км)

5. Проанализировать:

- изменение суммы ионов в зависимости от местоположения поста;
- изменение количества ионов в зависимости от наличия источников антропогенного загрязнения по длине реки;
- особенности изменения процентных соотношений содержания ионов по постам.

Вопросы для самопроверки

1. Какие основные причины неоднородности химического состава воды в реке по длине и по ширине?
2. У каких рек наблюдается наибольшая неоднородность состава воды по длине?
3. От каких факторов зависит расстояние, на котором будет происходить полное смешение вод притока с водами реки?
4. Какие источники антропогенного загрязнения вы знаете?
5. Увеличенное содержание какого иона говорит о возможном фекальном загрязнении реки?

Практическая работа № 5. Классификации природных вод

Задание:

Выполнить классификацию природных вод для двух гидрологических постов по:

- 1) величине их минерализации;
- 2) классификации С.А. Щукарева;
- 3) классификации В.А. Александра;
- 4) классификации О.А. Алекина.

Исходные данные:

Данные для выполнения работы находятся в Приложении В. Порядковый номер фамилии студента в группе, в соответствии со списком (см. в ЕТИС).

Порядок выполнения работы:

Таблица 5.1

Средние значения ионного состава воды р. Камы – г/п Тюлькино

Ед. изм.	Ионы							Сумма ионов
	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	25,9	6,7	11,0	6,3	100,2	24,5	13,3	187,9
% экв	13,8	3,6	5,9	3,4	53,3	13,0	7,1	100

1. Классификация природных вод по величине минерализации.

Деление вод по величине минерализации выполняется по сумме ионов, найденных в воде анализом (Алекин, 1970): $\Sigma И = 187,9$ мг/л = 0,188 г/кг – р. Кама у г/п Тюлькино, согласно классификации природных вод по величине минерализации, имеет пресные воды.

2. Классификация природных вод С.А. Щукарева.

$$HCO_3 = 53,3 \text{ (\% экв)}$$

$$SO_4 = 13,0 \text{ (\% экв)}$$

$$Ca = 13,8 \text{ (\% экв)}$$

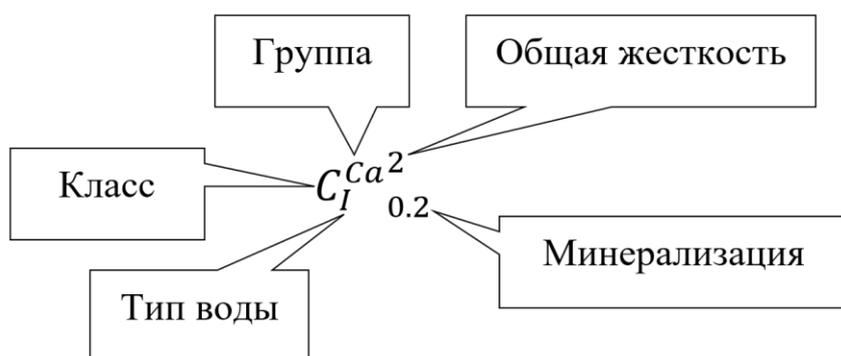
Согласно классификации С.А. Щукарева воды р. Камы у г/п Тюлькино соответствуют 10-му классу.

3. Классификация природных вод В.А. Александрова.

Согласно классификации В.А. Александрова, воды р. Камы у г/п Тюлькино соответствуют 4-му классу (комбинированному) $HCO_3 - SO_4 - Ca$.

4. Классификация вод р. Камы у г/п Тюлькино, согласно О.А. Алекина.

Класс обозначается символом соответствующего аниона: гидрокарбонаты – *C*, сульфаты – *S*, хлориды – *Cl*. В нашем случае гидрокарбонатов (*C*) больше, чем сульфатов или хлоридов.



Группа обозначается своим химическим символом, который записывается в виде степени к символу класса. Кальция (*Ca*) больше, чем *Mg*, *Na* или *K*.

Тип воды обозначается римской цифрой под символом класса.

$$HCO_3 > Ca + Mg$$

$$100,2 > 25,9 + 6,7$$

$$100,2 > 32,6 - \text{Тип воды} - 1\text{-ый.}$$

Внизу, с точностью до 0,1 г/кг указывается величина минерализации.

$$\text{Сумма ионов} = 187,9 \text{ мг/л} = 0,2 \text{ г/кг}$$

Вверху с точностью до целых единиц (мг-экв/л) указывается общая жесткость.

$$H_{\text{общ}} = \frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16} = \frac{25,9}{20,04} + \frac{6,7}{12,16} = 1,29 + 0,55 = 1,84 \approx 2 \text{ (мг-экв/л)}$$

Вопросы для самопроверки

1. Что такое минерализация воды?
2. Какие классификации позволяют произвести деление вод только в общих чертах и не учитывают особенностей содержания отдельных ионов и газов?
3. Сколько классов природных вод в классификации С.А. Щукарева?
4. Для каких природных вод удобна классификация В.А. Александрова?
5. Что характеризует значение минерализации в 1 г/л?
6. Какие черты гидрохимического режима характерны только для рек?
7. Какие озера, аккумулируя маломинерализованные паводочные воды притоков, тем самым способствуют поддержанию в течение года значительно меньшей минерализации воды?
8. При каких условиях существует опасность засоления почв на полях орошения?
9. Какие воды более минерализованы по сравнению с водами рек?
10. Согласно классификации вод по величине их минерализации, какую минерализацию имеют пресные воды?
11. На каком основании установлена граница в 25 г/кг между солоноватыми водами и водами с морской соленостью в классификации вод по величине их минерализации?

Реферат и доклад

В случае очного обучения, реферат печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4. *В случае дистанционного обучения* реферат высылается на электронную почту преподавателя. Объем реферата не должен превышать 20 страниц текста. Текст работы должен быть набран в редакторе Microsoft Word шрифтом Times New Roman (14 пунктов) через 1,5 интервала. Для акцентирования внимания на определенных терминах, важных моментах, специфических особенностях, содержащихся в работе, студент может использовать шрифты разной гарнитуры (полужирный, курсив), подчеркивание и т. п.

Все страницы реферата (за исключением титульного листа) должны быть пронумерованы по центру в нижней части, причем нумерация страниц должна быть сквозной. При этом первой страницей является титульный лист (Приложение А), включаемый в общую нумерацию страниц работы. Текст работы печатается с соблюдением следующих размеров полей: верхнее – 2 см, нижнее – 2 см, левое – 3 см, правое – 1 см.

Качество напечатанного текста должно удовлетворять требованию его четкого воспроизведения. Вписывать в отпечатанный текст отдельные слова, знаки допускается только черной пастой, при этом плотность вписанного текста должна быть максимально приближена к плотности основного изображения.

Темы рефератов

1. Самоочищение водоемов.
2. Биологические факторы формирования химического состава озерных вод.
3. Виды микроэлементов. Источники поступления, условия распределения и значение микроэлементов в природных водах.
4. Влияние антропогенных факторов на гидрохимию водохранилищ Пермского края.
5. Влияние горных пород на формирование химического состава озерных вод.
6. Влияние почвенного покрова на формирование химического состава озерных вод.
7. Влияние природных и антропогенных факторов на изменение химического состава вод.

8. Вода как растворитель. Растворимость газов. Водные растворы, виды водных растворов.
9. Гидрохимия Воткинского водохранилища.
10. Гидрохимия Камского водохранилища.
11. Гидрохимия Ладожского озера.
12. Гидрохимия малых рек Пермского края.
13. Гидрохимия минеральных вод Пермского края.
14. Гидрохимия морей и устьев рек.
15. Гидрохимия оз. Байкал.
16. Гидрохимия оз. Иссык-Куль.
17. Гидрохимия р. Камы, Сылвы и Чусовой.
18. Динамика химического состава подземных вод на территории Пермского края.
19. Значение биогенных веществ, распределения их в толще воды.
20. Катионный обмен при формировании химического состава озерных вод.
21. Кислотно-щелочные условия формирования химического состава озерных вод.
22. Климат как фактор формирования химического состава озерных вод.
23. Круговорот органического вещества в водоемах разного типа.
24. Круговорот органического вещества в озерах.
25. Минерализация воды. Главные компоненты озерных вод.
26. Окисляемость природной воды как характеристика содержания в ней органических веществ. БПК природных вод.
27. Основные типы загрязнения озер.
28. Процессы, влияющие на окислительно-восстановительный потенциал природных вод.
29. Рельеф как фактор формирования химического состава озерных вод.
30. Смешение вод при формировании химического состава озерных вод.
31. Состав, строение и свойства воды как растворителя. Строение воды. Плотность и удельный объем воды и льда.
32. Типы озер по условиям формирования минерализации и химического состава.
33. Трофность вод. Процессы нитрификации в природных водах.

34. Тяжелые металлы в воде и их влияние на человека.

35. Эвтрофикация вод. Причины и экологические последствия.

Оформление презентации

Время, выделенное на доклад реферата, 5–7 мин. С учетом этого презентация должна включать 5–10 слайдов.

Примерная структура презентации:

Слайд 1 – название реферата, где указаны последовательно по центру: название университета, кафедры, тема реферата, ФИО студента;

Слайд 2 – введение;

Слайды 3–9 – основная часть реферата;

Слайд 10 – заключение.

По возможности текст на слайде не должен дублироваться в устном сообщении. Не следует помещать на слайд текст реферата для того, чтобы прочесть его во время доклада. В презентацию помещают иллюстративный материал: фотографии, таблицы, рисунки, формулы, схемы.

Слайды презентации должны быть пронумерованы; таблицы и рисунки – подписаны; презентация – исполнена в классическом черно-белом варианте, либо в фирменном стиле географического факультета ПГНИУ.

Ссылка на фирменный стиль географического факультета:

<https://docs.google.com/presentation/d/1VMHQ2R8CQWpiebYZZAioPnY9jMkDpPBc/edit?usp=sharing&ouid=109702849104077143546&rtpof=true&sd=true>

Оформление и содержание практических работ

Расчеты по практическим работам могут быть выполнены в любой программе, имеющей возможность работы с электронными таблицами. Результаты практических работ оформляются в программе Microsoft Word, либо в любом другом текстовом редакторе.

Если занятия проходят в очном режиме, то оформленная практическая работа распечатывается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 и сдается на проверку преподавателю. В случае проведения занятий в дистанционном режиме практические работы, полностью оформленные, отсылаются в электронном виде на электронную почту преподавателя.

Требования к оформлению

Поля страницы: верхнее – 2 см, нижнее – 2 см, левое – 3 см, правое – 2 см.

Шрифт для основного текста работы (за исключением таблиц и рисунков): Times New Roman, размер шрифта – кегль 14.

Шрифт для таблиц и рисунков: Times New Roman, размер шрифта кегль 10–14 (в зависимости от количества информации), менее 10 кегля не употребляется.

Междустрочный интервал для основного текста работы (за исключением таблиц и рисунков): 1,5 пт, интервалы перед и после 0 пт.

Междустрочный интервал для таблиц и рисунков: 1,0–1,5 пт, выбирается самостоятельно, в зависимости от количества представленной в таблице информации.

Абзацный отступ: 1,25 см, задается автоматически, не пробелами.

Заголовки: с заглавной буквы, без точки в конце, 14 кегль, полужирный, по центру, без абзацного отступа.

Нумерация страниц: сквозная по центру в нижней части. Первой страницей является титульный лист (Приложение А), включаемый в общую нумерацию страниц работы. Номер страницы на титульном листе не печатается.

Содержание отчета по практической работе

Практическая работа должна содержать: титульный лист, задание, исходные данные, описание хода выполнения работы, анализ полученных

данных и список используемой литературы (в случае заимствования рисунков, карт или текста).

Пример оформления титульного листа приведен в Приложении А. Для каждой сдаваемой практической работы необходимо менять номер работы, ее название и указывать номер варианта студента.

Описание задания выполняется с использованием данного учебного пособия. Гидрологический пост и годы, по которым необходимо выполнять работу, приведены в Приложении Б.

Исходные данные для практических работ размещены на Яндекс-диске для каждой работы отдельно. В отчете необходимо описать местоположение гидрологического поста, для которого выполняется практическая работа. Желательно привести карту исследуемой территории (водосбора реки) с нанесением используемого гидрологического поста и населенных пунктов на водосборе реки. Все карты, заимствованные из литературных источников, должны иметь ссылку на данный источник и быть включены в список используемой литературы.

Анализ динамики исследуемых величин, как правило, основывается на изучении их изменения в зависимости от водности реки и по гидрологическим сезонам. В каждой практической работе будет присутствовать иллюстративный материал (рисунки, графики, таблицы), по которому будет производиться анализ.

Название рисунков и графиков помещают под рисунками и графиками. В подрисуночной подписи следует дать название осей, пояснения условных знаков и необходимые уточнения. Примеры оформления графиков приведены на рисунках в разделе «ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ».

Название таблиц подписывают над таблицей. Над правым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица...» с указателем порядкового номера таблицы; например: «Таблица 1» без значка № перед цифрой и точки после нее. Название таблицы должно отражать характер размещаемой информации, и быть, по возможности, коротким и четким.

Список вопросов к зачету

1. Гидрохимия как наука. Предмет исследования гидрохимии. Связь с другими дисциплинами.
2. История развития Гидрохимии как науки.
3. Главные и второстепенные факторы; прямые и косвенные факторы при формировании химического состава природных вод. Примеры.
4. Группы факторов, определяющих формирование химического состава природных вод.
5. Роль почв в формировании химического состава природных вод.
6. Значение химического состава воды при практическом ее использовании. С примерами.
7. Группы факторов, определяющих формирование химического состава природных вод.
8. Физико-географические факторы формирования химического состава вод.
9. Главные и второстепенные факторы, прямые и косвенные факторы при формировании химического состава природных вод. Примеры.
10. Перечислите главные компоненты состава природных вод.
11. Какие процессы увеличивают/уменьшают количество растворенного кислорода в воде?
12. Какие процессы увеличивают/уменьшают количество углекислого газа в воде?
13. Режим растворенных газов в реке.
14. Основные положения гидрохимического изучения рек.
15. Основные положения гидрохимического изучения озер и водохранилищ.
16. Режимные наблюдения за гидрохимическим режимом.
17. Специальные наблюдения за гидрохимическим режимом.
18. Экспедиционные наблюдения за гидрохимическим режимом.
19. Чем _____ валентность металлов, тем _____ растворимых соединений они образуют, тем _____ их миграционная способность.
20. Способы выражения химического состава воды.
21. Какие антропогенные факторы оказывают наибольшее влияние на качественные и количественные изменения водных ресурсов?
22. Химический состав природной воды – это ...

23. Нарисуйте кривые насыщения чистой пресной воды и соленой воды кислородом в зависимости от температуры
24. Классификация вод по величине их минерализации.
25. Классификация вод С. А. Щукарева.
26. Классификация В. А. Александрова.
27. Классификация О.А. Алекина.
28. Причины появления ионов в атмосферной воде. Основные черты гидрохимии атмосферных осадков.
29. Причины появления ионов в атмосферной воде.
30. Закономерности распределения Cl и SO₄ в атмосферных осадках по территории.
31. Источники ионов SO₄ в атмосферных водах.
32. Режим биогенных веществ.
33. Режим органического вещества.
34. Режим растворенных газов.
35. Неоднородность химического состава воды в реках
36. Что влияет на основные черты гидрохимического режима рек?
37. Отличительные черты гидрохимического режима рек.
38. Неоднородность химического состава воды по длине и ширине рек.
39. Закономерность распределения ионного состава речной воды на территории России.
40. Сезонное изменение химического состава воды рек в зависимости от типа питания.
41. Основные черты химического состава подземных вод.
42. Физические свойства минеральных вод.
43. Формирование химического состава воды озер в разных климатических условиях.
44. Влияние размера и формы озера на минерализацию.
45. Минеральные озера их гидрохимический режим.
46. Как размер и форма озера могут влиять на минерализацию?
47. Неоднородность в ионном составе по вертикали в озерах.
48. Особенности изменения минерализации в соляных озерах. Новосадка, старосадка, корневая соль.
49. Особенности изменения минерализации воды в водохранилищах.
50. Внутригодовые изменения минерализации в водохранилищах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. 1970. Л.: Гидрометеиздат. 444 с.
2. Алекин О.А. Основы гидрохимии. 1953. Л.: Гидрометеиздат. 1953.
3. Валяшко М.Г. Основные химические типы вод и их формирование // Известия ДАН СССР. 1955. Т. 102, №. 2. С. 315–318.
4. Вольф И.В., Синякова М. А. Химия окружающей среды. Химия гидросферы: учеб. Пособие. СПб., 2013. 90 с.
5. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2007. 448 с ил.
6. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Бассейн р. Камы // Гидрологический ежегодник. 1960. Т. 4, вып. 5-7.
7. Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. СПб: Гидрометеиздат. 2001. С. 444.
8. Физико-химические показатели воды. [Электронный ресурс]. URL: [http:// garix.ru/fiziko-ximicheskie-pokazateli-vodyi.html](http://garix.ru/fiziko-ximicheskie-pokazateli-vodyi.html) (дата обращения: 21.04.2021)
9. Химия и химическая технология. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chem21.info/pics/156708/> (дата обращения: 07.04.2021).
10. Щукарев С.А. Современные представления о составе и строении воды // Известия ГГИ. 1934. № 64.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГАОУ ВО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»

кафедра гидрологии и
охраны водных ресурсов

Практическая работа № 1. Физические свойства воды

р. _____ – г/п _____

по курсу Гидрохимия
Вариант 1

Выполнил:
Студент(ка) III курса
группы _____
Фамилия И.О.

Проверила:
к.г.н., доцент Микова К.Д.

Пермь 2022

Приложение Б

Варианты для практических работ

№ варианта	Практическая работа №	
	1, 2, 3	4
1	р. Чусовая– г/п Лямино	р. Кама (Волосницкое, Бондюг, Сарапул)
2	р. Вишера – г/п Митракова	р. Белая (Шушпа, Арский камень, г. Уфа)
3	р. Белая – г/п Стерлитамак	р. Вишера (Усть-Улс, Митракова, Рябинино)
4	р. Вятка – г/п Вятские Поляны	р. Колва (Петрецова, Подбобыка, Чердынь)
5	р. Вятка – г/п Киров	р. Яйва (Верхняя Яйва, Подслудное, Лубнище)
6	р. Уфа – г/п Красноуфимск	р. Белая (г. Стерлитамак; г. Уфа; г. Бирск)
7	р. Сылва– г/п Подкаменное	р. Чусовая (Косой Брод, Усть-Утка, Лямино)
8	р. Белая Холуница – г/п Климковка	р. Сылва (Ижболда, Шамары, Подкаменное)
9	р. Немда – г/п Луговая	р. Чусовая (Раскуиха, Кын, Лямино)
10	р. Кама – г/п Бондюг	р. Уфа (Красноуфимск, Караидель, Дудкинский)
11	р. Иньва – г/п Слудка	р. Чусовая (Косой Брод, Раскуиха, Староуткинск)
12	р. Чусовая – г/п Ниж. Шалыги	р. Кама (Волосницкое, Гайны, Тарловка)
13	р. Сылва– г/п Шамары	р. Вятка (с. Красноглинье, г. Киров, г. Вятские Поляны)
14	р. Белая – г/п Уфа	р. Сылва (Ижболда, Суксун, Подкаменное)
15	р. Белая – г/п Бирск	р. Чусовая (Староуткинск, Кын, Лямино)
16	р. Вой – Нолинск	р. Вятка (пос. Нагорск, пос. Аркуль, г. Вятские Поляны)
17	р. Кама – г/п Сарапул	р. Уфа (г. Нязепетровск, г. Красноуфимск, г. Янбай)
18	р. Чусовая – г/п Раскуиха	р. Чусовая (Раскуиха, Усть-Утка, Лямино)
19	р. Иртыш – г/п Камышенка	р. Иртыш (с. Камышенка, с. Шульба, г. Тобольск)
20	р. Вятка – г/п Нагорск	р. Тобол (с. Кустанай, Ялуторовск, с. Ляповское)

№ варианта	Практическая работа №	
	1, 2, 3	4
21	р. Обь – г/п Барнаул	р. Обь (г. Барнаул, г. Новосибирск, с. Белогорье)
22	р. Ишим – г/п Каменный Карьер	р. Ишим (г. Акмолинск, с. Каменный Карьер, г. Петропавловск)
23	р. Тобол – г/п Кустанай	р. Тобол (с. Кустанай, г. Курган, с. Ляповское)
24	р. Иртыш – г/п Тобольск	р. Иртыш (с. Камышенка, г. Омск, г. Тобольск)
25	р. Обь – г/п Колпашев	р. Обь (г. Барнаул, г. Колпашев, с. Белогорье)
26	р. Вятка – г/п Киров	р. Яйва (Верхняя Яйва, Подслудное, Лубнице)
28	р. Иньва – г/п Кудымкар	р. Чусовая (Косой Брод, Раскуиха, Староуткинск)
29	р. Белая – г/п Стерлитамак	р. Вишера (Усть-Улс, Митракова, Рябинино)
30	р. Белая – г/п Бирск	р. Чусовая (Староуткинск, Кын, Лямино)

*Порядковый номер студента в группе, в соответствии со списком группы в ЕТИС.

Приложение В

Варианты заданий для практической работы № 5

Вариант 1

р. Чусовая – г/п Староуткинск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	74,9	12,7	11	7,5	121,5	137,9	22,6	388,1
% экв	19,3	3,3	2,8	1,9	31,3	35,5	5,8	100

р. Белая – г. Уфа

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	53,7	3,5	6	9	63,4	23,2	73,7	232,5
% экв	23,1	1,5	2,6	3,9	27,3	10,0	31,7	100

Вариант 2

р. Обь– г. Барнаул

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	23,2	6,2	12,6	101,2	–	12,5	3,0	158,7
мг-экв	1,16	0,51	0,33	1,66	–	0,26	0,08	
% мг-экв	29,0	12,8	8,2	41,5	–	6,5	2,0	

р. Кама – с. Волосницкое

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	20,0	3,5	–	67,5	9,6	5,3	–	–	110,3
мг-экв	1,00	0,29	0,17	1,11	0,20	0,15	–	–	
% мг-экв	34,3	9,9	5,8	38,0	6,9	5,1	–	–	

Вариант 3

р. Обь – г. Новосибирск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	28,6	5,0	28,5	138,5	9,6	14,0	3,6	235,4
мг-экв	1,43	0,41	1,14	2,27	0,32	0,29	0,10	
% мг-экв	24,0	6,9	19,1	38,1	5,4	4,9	1,6	

р. Вишера – с. Редикорское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	11,8	3,5	–	30,5	10,2	5,8	–	–	62,3
мг-экв	0,59	0,29		0,50	0,21	0,16	–	–	
% мг-экв	33,5	16,5		28,7	12,1	9,2	–	–	

Вариант 4

р. Селеты – с. Ильинское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	80,0	41,9	188,2	240,9	–	181,1	267,9	1000,0
мг-экв	3,99	3,45	7,84	3,95	–	3,77	7,55	
% мг-экв	13,1	11,3	25,6	12,9	–	12,3	24,8	

р. Колва – д. Пертецова

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	6,8	1,8	–	18,3	4,7	6,4	–	–	40,3
мг-экв	0,34	0,15	0,09	0,30	0,10	0,18	–	–	
% мг-экв	29,3	12,9	7,8	25,9	8,6	15,5	–	–	

Вариант 5

р. Ишим– с. Терс-Аккан

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	158,6	76,4	277,0	835,8	–	32,9	403,6	1784,3
МГ-ЭКВ	7,94	6,28	11,54	13,7	–	0,68	11,38	
% МГ-ЭКВ	15,6	12,2	22,2	26,6	–	1,3	22,1	

р. Колва – г. Чердынь

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	39,3	7,0	–	100,7	28,6	32,0	–	–	222,6
МГ-ЭКВ	1,96	0,58	0,60	1,65	0,59	0,90	–	–	
% МГ-ЭКВ	31,2	9,2	9,6	26,3	9,4	14,3	–	–	

Вариант 6

р. Тобол– г. Кустанай

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	121,4	64,6	219,4	431,7	–	33,7	450,6	1321,4
МГ-ЭКВ	6,04	5,31	9,14	7,08	–	0,70	12,71	
% МГ-ЭКВ	14,6	13,0	22,4	17,3	–	1,7	31,0	

р. Чусовая – р.п. Староуткинск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	36,1	7,6	–	128,1	14,8	4,0	–	–	193,3
МГ-ЭКВ	1,80	0,62	0,10	2,10	0,31	0,11	–	–	
% МГ-ЭКВ	35,7	12,3	2,0	41,7	6,2	2,1	–	–	

Вариант 7

р. Исеть – с. Мехонское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	19,9	4,4	15,2	72,0		25,7	9,0	153,7
МГ-ЭКВ	0,99	0,36	0,61	1,18		0,53	0,25	
% МГ-ЭКВ	25,2	9,2	15,6	30,2		13,4	6,4	

р. Сылва – д. Подкаменка

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	31,8	4,4	–	58,0	40,4	6,4	–	–	141,8
МГ-ЭКВ	1,59	0,36	0,02	0,95	0,84	0,18	–	–	
% МГ-ЭКВ	40,4	9,1	0,5	24,1	21,3	4,6	–	–	

Вариант 8

р. Исеть – с. Мехонское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	19,9	4,4	15,2	72,0		25,7	9,0	153,7
МГ-ЭКВ	0,99	0,36	0,61	1,18		0,53	0,25	
% МГ-ЭКВ	25,2	9,2	15,6	30,2		13,4	6,4	

р. Белая – с. Бугровка

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	50,8	21,3	–	277,5	34,6	25,0	–	–	456,5
МГ-ЭКВ	2,54	1,75	1,68	4,55	0,72	0,70	–	–	
% МГ-ЭКВ	21,2	14,7	14,1	38,1	6,0	5,9	–	–	

Вариант 9

р. Обь – г. Барнаул

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	48,6	7,6	–	152,5	21,2	4,0	0,05	0,005	233,9
% экв	39,8	10,2	–	41,0	7,2	1,8			

р. Белая – г. Уфа

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	90,8	12,7	–	213,5	88,4	27,0	–	–	453,2
мг-экв	4,53	1,04	0,53	3,5	1,84	0,76	–	–	
% мг-экв	37,2	8,5	4,3	28,7	15,1	6,2	–	–	

Вариант 10

р. Обь – г. Новосибирск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	52,8	12,2	18,5	233,0	14,8	9,0	–	–	340,3
% экв	30,1	11,4	8,5	43,6	3,5	2,9	–	–	

р. Белая – г. Бирск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	126,2	23,6	–	244,5	201,2	37,0	–	–	658,1
мг-экв	6,3	1,94	0,99	4,01	4,18	1,04	–	–	
% мг-экв	34,1	10,5	5,4	21,7	22,7	5,6	–	–	

Вариант 11

р. Тула – д. Ерестная

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	95,0	36,3	37,0	524,6	20,6	6,0	–	–	719,5
% экв	25,8	16,2	8,0	46,7	2,4	0,9	–	–	

р. Вятка – р.п. Вятские Поляны

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	60,6	16,3	–	231,8	45,2	5,6	0,43	0,0003	373,5
МГ-ЭКВ	3,02	1,34	0,54	3,8	0,94	0,16	–	–	
% МГ-ЭКВ	30,8	13,7	5,5	38,8	9,6	1,6	–	–	

Вариант 12

р. Каргат – пос. Гавриловский

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	156,5	76,5	507,0	799,1	164,6	633,0	–	–	2336,7
% экв	11,4	9,1	29,5	19,0	5,0	26,0	–	–	

р. Вятка – р.п. Вятские Поляны

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
МГ/Л	14,9	2,5	–	62,6	4,4	1,0	0,2	–	90,6
МГ-ЭКВ	0,74	0,21	0,19	1,02	0,09	0,03	–	–	
% МГ-ЭКВ	32,5	9,2	8,3	44,8	3,9	1,3	–	–	

Вариант 13

р. Обь – г. Куйбышев

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	113,9	70,8	102,0	594,8	100,0	133,0	–	–	1114,5
% экв	18,2	18,7	13,1	31,3	6,7	12,0	–	–	

р. Чепца – г. Глазов

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	21,1	4,2	–	72,0	8,5	1,7	0,81	0,013	108,9
мг-экв	1,05	0,35	0,01	1,18	0,18	0,05	–	–	
% мг-экв	37,2	12,4	0,4	41,8	6,4	1,8	–	–	

Вариант 14

р. Ишим – г. Акмолинск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	73,1	29,8	222,0	274,6	311,0	154,8	–	–	1065,3
% экв	11,9	8,0	30,1	14,6	21,1	14,3	–	–	

р. Чепца – г. Глазов

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	45,6	13,4	–	224,5	6,5	11,1	–	–	319,9
мг-экв	2,28	1,10	0,75	3,68	0,14	0,31	–	–	
% мг-экв	27,6	13,3	9,1	44,6	1,6	3,8	–	–	

Вариант 15

р. Ишим – г. Акмолинск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	31,1	16,3	51,5	170,8	19,7	67,1	–	–	359,5
% экв	16,7	13,1	20,2	27,5	4,0	18,5	–	–	

р. Молома – д. Щетиненки

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	20,2	4,8	–	86,0	2,9	1,0	0,25	0,018	117,8
мг-экв	1,01	0,39	0,10	1,41	0,06	0,03	–	–	
% мг-экв	33,6	13,0	3,4	47,0	2,0	1,0	–	–	

Вариант 16

р. Ишим – с. Каменный Карьер

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	42,1	14,8	45,8	140,3	15,2	89,8	–	–	348,0
% экв	20,4	11,8	17,8	22,3	3,1	24,6	–	–	

р. Кама – пос. Нижняя Курья

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>NH₄</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	22,7	7,8	–	0,20	67,6	26,8	5,6	–	–	131,9
мг-экв	1,13	0,64	0,05	0,01	1,11	0,56	0,16	–	–	
% экв	30,8	17,5	1,4	0,3	30,3	15,3	4,4	–	–	

Вариант 17

р. Ишим – г. Акмолинск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	148,7	26,3	168,5	250,2	318,4	208,0	–	–	1120,1
% экв	22,3	6,5	21,2	12,3	20,0	17,7	–	–	

р. Молома – д. Щетиненки

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	7,9	2,1	–	29,9	3,2	1,6	0,11	–	46,6
мг-экв	0,39	0,17	0,05	0,49	0,07	0,05	–	–	
% мг-экв	31,5	13,9	4,1	40,2	5,7	4,1	–	–	

Вариант 18

р. Каргат – пос. Гавриловский

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	114,7	105,5	280,9	619,2	224,0	418,4	–	–	1762,7
% экв	10,7	16,3	23,0	19,1	8,8	22,1	–	–	

р. Кама – пос. Нижняя Курья

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>NH₄</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	24,8	4,9	–	0,07	61,0	25,0	9,0	–	–	128,0
мг-экв	1,24	0,40	0,13	0,00	1,00	0,52	0,25	–	–	
% экв	35,0	11,3	3,7	–	28,2	14,7	7,1	–	–	

Вариант 19

р. Тобол – г. Кустанай

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	72,5	35,4	178,8	219,1	195,0	213,7	–	–	914,5
% экв	13,2	10,6	26,2	13,2	14,8	22,0	–	–	

р. Вятка – р.п. Вятские Поляны

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	30,5	6,0	–	106,1	13,9	4,0	0,17	–	164,3
мг-экв	1,52	0,49	0,13	1,74	0,29	0,11	–	–	
% мг-экв	35,5	11,4	3,1	40,6	6,8	2,6	–	–	

Вариант 20

р. Урбаган – ст. Кушмурун

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	167,3	162,3	2443,7	329,5	729,4	3650,0	–	–	7482,2
% экв	3,4	5,4	41,2	2,2	6,1	41,7	–	–	

р. Вишера – с. Редикорское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>NH₄</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	12,0	2,7	–	0,32	42,7	8,9	3,9	–	–	74,5
мг-экв	0,60	0,22	0,16	0,02	6,70	0,19	0,11	–	–	
% экв	30,0	11,0	8,0	1,0	35,0	9,5	5,5	–	–	

Вариант 21

р. Чусовая – в.п. Староуткинск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	74,9	12,7	11	7,5	121,5	137,9	22,6	388,1
% экв	19,3	3,3	2,8	1,9	31,3	35,5	5,8	100

р. Белая – г. Уфа

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	53,7	3,5	6	9	63,4	23,2	73,7	232,5
% экв	23,1	1,5	2,6	3,9	27,3	10,0	31,7	100

Вариант 22

р. Обь– г. Барнаул

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	23,2	6,2	12,6	101,2	–	12,5	3,0	158,7
мг-экв	1,16	0,51	0,33	1,66	–	0,26	0,08	
% мг-экв	29,0	12,8	8,2	41,5	–	6,5	2,0	

р. Кама – с. Волосницкое

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	20,0	3,5	–	67,5	9,6	5,3	–	–	110,3
мг-экв	1,00	0,29	0,17	1,11	0,20	0,15	–	–	
% мг-экв	34,3	9,9	5,8	38,0	6,9	5,1	–	–	

Вариант 23

р. Обь– г. Новосибирск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	28,6	5,0	28,5	138,5	9,6	14,0	3,6	235,4
мг-экв	1,43	0,41	1,14	2,27	0,32	0,29	0,10	
% мг-экв	24,0	6,9	19,1	38,1	5,4	4,9	1,6	

р. Вишера – с. Редикорское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	11,8	3,5	–	30,5	10,2	5,8	–	–	62,3
мг-экв	0,59	0,29		0,50	0,21	0,16	–	–	
% мг-экв	33,5	16,5		28,7	12,1	9,2	–	–	

Вариант 24

р. Селеты – с. Ильинское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	80,0	41,9	188,2	240,9	–	181,1	267,9	1000,0
мг-экв	3,99	3,45	7,84	3,95	–	3,77	7,55	
% мг-экв	13,1	11,3	25,6	12,9	–	12,3	24,8	

р. Колва – д. Пертецова

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	6,8	1,8	–	18,3	4,7	6,4	–	–	40,3
мг-экв	0,34	0,15	0,09	0,30	0,10	0,18	–	–	
% мг-экв	29,3	12,9	7,8	25,9	8,6	15,5	–	–	

Вариант 25

р. Ишим– с. Терс-Аккан

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	158,6	76,4	277,0	835,8	–	32,9	403,6	1784,3
мг-экв	7,94	6,28	11,54	13,7	–	0,68	11,38	
% мг-экв	15,6	12,2	22,2	26,6	–	1,3	22,1	

р. Колва – г. Чердынь

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	39,3	7,0	–	100,7	28,6	32,0	–	–	222,6
мг-экв	1,96	0,58	0,60	1,65	0,59	0,90	–	–	
% мг-экв	31,2	9,2	9,6	26,3	9,4	14,3	–	–	

Вариант 26

р. Обь – г. Новосибирск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	28,6	5,0	28,5	138,5	9,6	14,0	3,6	235,4
мг-экв	1,43	0,41	1,14	2,27	0,32	0,29	0,10	
% мг-экв	24,0	6,9	19,1	38,1	5,4	4,9	1,6	

р. Вишера – с. Редикорское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	11,8	3,5	–	30,5	10,2	5,8	–	–	62,3
мг-экв	0,59	0,29		0,50	0,21	0,16	–	–	
% мг-экв	33,5	16,5		28,7	12,1	9,2	–	–	

Вариант 27

р. Чусовая – г/п Староуткинск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	74,9	12,7	11	7,5	121,5	137,9	22,6	388,1
% экв	19,3	3,3	2,8	1,9	31,3	35,5	5,8	100

р. Кама – пос. Нижняя Курья

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>NH₄</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	24,8	4,9	–	0,07	61,0	25,0	9,0	–	–	128,0
мг-экв	1,24	0,40	0,13	0,00	1,00	0,52	0,25	–	–	
% экв	35,0	11,3	3,7	–	28,2	14,7	7,1	–	–	

Вариант 28

р. Ишим – г. Акмолинск

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	148,7	26,3	168,5	250,2	318,4	208,0	–	–	1120,1
% экв	22,3	6,5	21,2	12,3	20,0	17,7	–	–	

р. Молома – д. Щетиненки

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	7,9	2,1	–	29,9	3,2	1,6	0,11	–	46,6
мг-экв	0,39	0,17	0,05	0,49	0,07	0,05	–	–	
% мг-экв	31,5	13,9	4,1	40,2	5,7	4,1	–	–	

Вариант 29

р. Селеты – с. Ильинское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	80,0	41,9	188,2	240,9	–	181,1	267,9	1000,0
мг-экв	3,99	3,45	7,84	3,95	–	3,77	7,55	
% мг-экв	13,1	11,3	25,6	12,9	–	12,3	24,8	

р. Белая – с. Бугровка

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	50,8	21,3	–	277,5	34,6	25,0	–	–	456,5
мг-экв	2,54	1,75	1,68	4,55	0,72	0,70	–	–	
% мг-экв	21,2	14,7	14,1	38,1	6,0	5,9	–	–	

Вариант 30

р. Исеть – с. Мехонское

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	19,9	4,4	15,2	72,0		25,7	9,0	153,7
мг-экв	0,99	0,36	0,61	1,18		0,53	0,25	
% мг-экв	25,2	9,2	15,6	30,2		13,4	6,4	

р. Урбаган – ст. Кушмурун

Ед. изм.	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>ΣИ</i>
мг/л	167,3	162,3	2443,7	329,5	729,4	3650,0	–	–	7482,2
% экв	3,4	5,4	41,2	2,2	6,1	41,7	–	–	

Критерии оценивания реферата и доклада

№ п/п	Критерии оценивания	Балл
1	Содержание реферата	3
2	Оформление реферата	3
3	Правильно оформленные ссылки на литературные источники	2
4	Оформление презентации и хороший доклад	4
5	Ориентирование в материале и ответы на вопросы	3
Всего		15

Учебное издание

Микова Ксения Дмитриевна

ГИДРОХИМИЯ

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Л. Л. Савенкова*

Корректор *Л. Л. Соболева*

Компьютерная верстка: *К. Д. Микова*

Подписано в печать 25.02.2022. Формат 60×84/16

Усл. печ. л. 5,35. Тираж 50 экз. Заказ № 75/2022

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография «Новопринт».
614000, г. Пермь, ул. Клименко, 1, оф. 13
Тел. (342) 204 5 992