

Лекция 2.

2 часа

Показатели качества воды.

1. Классификация природных вод.

Дисперсные системы.

Природная вода – сложная дисперсная система, содержащая множество разнообразных минеральных и органических примесей. Дисперсная система состоит из мелких частиц вещества, распределённого в другом веществе (среде). Система называется гомогенной, если внутри неё нет поверхностей раздела, отделяющих друг от друга части системы, различающиеся по свойствам.

Гетерогенные системы – системы, внутри которых есть такие поверхности раздела. Гомогенная система – однофазная, гетерогенная – состоит из не менее двух фаз. При размере частиц примесей воды меньше $10 \div 3$ мкм – это гомогенная система (однофазная из двух или более индивидуальных веществ). Если размер частиц $\geq 10 \div 3$ мкм, то примеси образуют с водой гетерогенную (неоднородную многофазную) систему. Истинные растворы, где примеси находятся в молекулярно-растворённом виде или в виде ионов, – это гомогенные системы. Гетерогенные системы – коллоиды (размер частиц: $10^{-1} \div 10^{-2}$ мкм) или суспензии (частицы $> 10 \div 1$ мкм). Суспензии могут быть представлены взвесями, эмульсиями, пенами (частный случай эмульсий).

Системы классификации.

Вода – один из лучших растворителей. Изначально в Мировом океане были, в той или иной степени, растворены все вещества Земли. И это растворение продолжается: количество поровых вод илов и горных пород составляет около 19 % всей гидросферы.

Уже несколько столетий разрабатываются системы классификации природных вод и способы как можно более краткой характеристики качества воды (индекс качества воды). Выделено более 625 классов, групп, типов и разновидностей вод. В.И. Вернадский считал, что число видов природных вод больше 1500 единиц.

Однако чем более детально разрабатывалась классификация вод, тем больше исследователи удалялись от желаемой краткости и ясности в определении качества воды. Оказалось невозможным оценить пригодность воды для питьевых, технических, других целей только на основе предложенных универсальных индексов воды. По-прежнему качество воды, пригодность её для использования оценивается по комплексу показателей, и нужно признать, что такой подход даёт лишь приблизительное знание о качестве воды. Этим, в частности, можно объяснить большое (до нескольких десятков) количество нормируемых показателей для каждого из возможных применений. Говорить о качестве воды имеет смысл лишь в связи с конкретной областью её дальнейшего использования.

К настоящему времени создано несколько десятков классификационных систем, рассматривающих большей частью подземные воды и служащих основой для понимания взглядов авторов на генезис подземных вод, на то, какие составляющие подземных вод и вообще природных вод главные или более важные. Почти все они создавались гидрогеологами и отражают их пристрастия.

Для водоподготовки эти системы имеют опосредованное значение – для сравнительного анализа разных вод в основном в учебных и статистических целях. Сегодня наиболее употребительны классификационные системы С.А. Щукарева, О.А. Алёкина и Л.А. Кульского. Ниже рассмотрены также системы А.И. Перельмана и фирмы Rohm & Haas («Ром и Хаас», США).

❖ Классификация С.А. Щукарева.

Классификация основана на принципе преобладания одного или нескольких из трёх главных катионов (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) и трёх главных анионов (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Вода относится к тому или другому классу в зависимости от содержания упомянутых ионов в количестве, превышающем 25 %-экв. (суммы процент-эквивалентов анионов и катионов в отдельности принимают за 100).

Комбинируя типы вод по содержанию катионов, получают 49 классов вод. Например, вода может называться гидрокарбонатной натриево-кальциевой или сульфатногидрокарбонатной кальциевой. По общей минерализации каждый класс разделён на группы: А – менее 1,5 г/л; В – от 1,5 до 10 г/л; С – от 10 до 40 г/л и D – более 40 г/л. Классификация Щукарева очень проста и удобна для сопоставления различных по химическому составу вод, но громоздка (49 классов, 4 группы). Кроме того, деление на классы носит формальный характер, вследствие чего часть классов – нереальная.

❖ Классификация Л.А. Кульского.

.Практический интерес представляет фазово-дисперсная классификация примесей воды, разработанная Л.А. Кульским (табл. 1).

Таблица 1

Классификация вод по фазово-дисперсному состоянию примесей

Группа	Наименование примесей	Размер частиц, мкм	Характеристика примесей
Гетерогенная система			
I	Взвеси	$> 10^{-1}$	Суспензии и эмульсии, обуславливающие мутность воды; микроорганизмы и планктон
II	Коллоидно-растворённые вещества	$10^{-1} \div 10^{-2}$	Коллоиды и высокомолекулярные соединения, обуславливающие окисляемость и цветность воды; вирусы
Гомогенная система			
III	Молекулярно-растворённые вещества	$10^{-2} \div 10^{-3}$	Газы, растворимые в воде; органические вещества, придающие воде запах и привкус
IV	Вещества, диссоциированные на ионы (электролиты)	$< 10^{-3}$	Соли, кислоты, основания, придающие воде жёсткость, щелочность и минерализованность

Для задач, связанных с очисткой воды, эта классификация полезна тем, что, определив фазоводисперсное состояние примесей в воде и установив её

принадлежность к какой-то группе, можно предварительно выбрать комплекс методов и стадий очистки воды. При этом фазово-дисперсное состояние примесей должно устанавливаться после каждой стадии обработки воды и учитываться при проектировании всей схемы водоподготовки.

Методы обработки воды, определённые Л.А. Кульским на основе фазово-дисперсного анализа примесей воды, описаны ниже (предложения Кульского дополнены А. Ашировым – V и VI группы). Часть перечисленных методов применяется в специальных промышленных системах и не применяется в коммунальном и энергетическом водоснабжении.

Группа I. Воздействие на взвеси (например, седиментация, осветление во взвешенном слое, осадительное центрифугирование, центробежная сепарация в гидроциклонах, флотация, фильтрование на медленных фильтрах и на скорых фильтрах по безнапорной схеме и др.).

Группа II. Воздействие на коллоидные примеси, в том числе высокомолекулярные соединения и вирусы: коагуляция, флокуляция, электрокоагуляция, электроискровой (разрядный) метод, биохимический распад, адсорбция на высокодисперсных материалах, в том числе глинистых минералах, ионитах, окисление (хлорирование, озонирование), воздействие ультрафиолетовым, γ - и β -излучением, потоками нейтронов и др., ультразвуковая обработка, обработка ионами тяжёлых металлов (меди, серебра и др.).

Группа III. Воздействие на растворённые органические вещества и газы: десорбция газов и легколетучих органических соединений путём аэрирования, термической и вакуумной отгонки, адсорбция на активных углях, природных и синтетических ионитах и других высокопористых материалах, экстракция не смешивающимися с водой органическими растворителями, эвапорация (азеотропная отгонка, пароциркуляция), пенная флотация, ректификация, окисление (жидкофазное, радиационное, электрохимическое, биологическое, парофазное, хлором, озном, диоксидом хлора и др.).

Десорбция – (от Де... и лат. *sorbeo* – поглощаю) удаление адсорбированного вещества с поверхности адсорбента.

Адсорбция (лат. *ad* – на, при, в; *sorbeo* – поглощаю) – самопроизвольный процесс увеличения концентрации растворённого вещества у поверхности раздела двух фаз (твёрдая фаза – жидкость, конденсированная фаза – газ) вследствие нескомпенсированности сил межмолекулярного взаимодействия на разделе фаз. Адсорбция является частным случаем сорбции, процесс, обратный адсорбции – десорбция.

Аэрирование это процесс принудительного насыщения воздухом, азотом или другими газами жидких или рыхлых твёрдых продуктов с целью придания им новых потребительских свойств.

Экстра́кция (от лат. *extraho* – извлекаю) – это извлечение вещества из раствора или сухой смеси с помощью растворителя (экстрагента), практически не смешивающегося с исходной смесью.

Эвапо́рация (лат. *evaporatio*), эвапорационный способ очистки – физико-химический метод очистки производственных сточных вод с помощью водяного пара.

Азеотро́пная смесь – смесь двух или более жидкостей, состав которой не меняется при кипении, то есть смесь с равенством составов равновесных жидкой и паровой фаз.

Флотация (фр. flottation, от flotter – плавать) – один из методов обогащения полезных ископаемых, который основан на различии способностей минералов удерживаться на межфазовой поверхности.

Ректификация (от лат. rectus – прямой и facio – делаю) – это процесс разделения двойных или многокомпонентных смесей за счёт противоточного массообмена между паром и жидкостью.

Группа IV. Воздействие на примеси ионогенных неорганических веществ: ионный обмен, электродиализ, реагентная обработка, кристаллизация.

Группа V. Воздействие на воду: дистилляция, вымораживание, экстракция кристаллогидратами или смешивающимися с водой органическими растворителями, магнитная обработка, обратный осмос, напорная фильтрация.

О́смос (от греч. ὄσμος – толчок, давление) – процесс односторонней диффузии через полупроницаемую мембрану молекул растворителя в сторону большей концентрации растворённого вещества из объёма с меньшей концентрацией растворённого вещества.

Группа VI. Воздействие на водную систему в целом: закачка в подземные горизонты, в глубины морей, захоронение, сжигание. Эти методы применяются только в том случае, если методы первых пяти групп экономически неприемлемы.

❖ Классификация О.А. Алёкина.

Классификация О.А. Алёкина с поправкой Е.В. Посохова и Ж.С. Сыдыкова сочетает принципы деления вод по преобладающим ионам и по соотношению между ними. Все воды делятся на три класса по преобладающему аниону: гидрокарбонатные (карбонатные), сульфатные и хлоридные. Внутри каждого класса выделяют три группы по преобладанию одного из катионов: кальций, магний, натрий (или натрий + калий).

❖ Классификация А.И. Перельмана.

Определённый интерес представляет классификация А.И. Перельмана, выделившего шесть главных таксонов, каждый из которых определяется на основе особого критерия:

- группа – температура;
- тип – окислительно-восстановительные условия;
- класс – щелочно-кислотные условия;
- семейство – общая минерализация;
- род – растворённое органическое вещество;
- вид – ведущие катионы и анионы (кроме H^+ и OH^-).

В этой классификации, в отличие от многих других, в том числе описанных классификаций Щукарева и Алёкина, учитываются температура, органические вещества, газы. А.И. Перельман предложил также изображать воду в виде шестизначного числа – по количеству таксонов и разновидностей, которых в каждом таксоне – не более девяти.

❖ Классификация фирмы Rohm & Haas («Ром и Хаас»), США.

Классификация вод по материалам фирмы Rohm & Haas подобна классификации Кульского, но дополнительно содержит полезные сведения – табл. 2.

Таблица 2

Классификация примесей вод по силам, удерживающим их в воде, и методы их удаления

Фазовая характеристика	Гетерогенные системы		Гомогенные системы		
	Группа	I	II	III	IV
Физико-химическая характеристика	Грубодисперсные примеси: суспензии, эмульсии, планктон, патогенные микроорганизмы	Примеси коллоидной степени дисперсности: органические и неорганические вещества, вирусы, бактерии	Примеси молекулярной степени дисперсности: газы, органические вещества, соли, кислоты, щелочи, не перешедшие в ионное состояние	Примеси ионной степени дисперсности: соли, кислоты, основания	
Поперечный размер частиц, мкм	$> 10^{-1}$	$10^{-1} \div 10^{-2}$	$10^{-2} \div 10^{-3}$	$< 10^{-3}$	
Методы удаления примесей из воды	Фильтрация (механическое удаление)	Ультрафильтрация	Обратный осмос	нанофильтрация	
		Коагуляция	Десорбция газов и летучих веществ, эвапорация труднолетучих веществ	Перевод ионов в малорастворимые соединения	
		Окисление хлором, озоном, перманганатом			
		Адсорбция на гидроксидах и дисперсных материалах	Адсорбция на активных углях и других материалах	Фиксация на твёрдой фазе ионитов	
	Агрегация при помощи флокулянтов (анионных и катионных)		Ассоциация молекул	Моляризация и комплексообразование	
	Флотация	Электрофоретические методы	Экстракция органическими растворителями	Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды	
	Электролиз синезелёных водорослей				
Бактерицидное воздействие	Вирулицидное воздействие	Биохимический распад	Использование подвижности ионов в электрическом поле		
Силы, удерживающие примеси в воде	Гидродинамическое	Электростатическое	Вандерваальсовы	Ионные силы растворов	

2. Физико-химические показатели качества природных вод.

Под качеством природной воды в целом понимается характеристика её состава и свойств, определяющая её пригодность для конкретных видов водопользования (ГОСТ 17.1.1.01–77), при этом критерии качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

★ Взвешенные примеси.

Взвешенные твёрдые примеси, присутствующие в природных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, суспендированных органических и неорганических веществ, планктона и различных микроорганизмов. Взвешенные частицы влияют на прозрачность воды. Содержание в воде взвешенных примесей, измеряемое в мг/л, даёт представление о загрязнённости воды частицами в основном условным диаметром более $1 \cdot 10^{-4}$ мм – табл. 3. При содержании в воде взвешенных веществ менее 2 – 3 мг/л или больше указанных значений, но условный диаметр частиц меньше $1 \cdot 10^{-4}$ мм, определение загрязнённости воды производят косвенно по мутности воды.

Таблица 3

Характеристика вод по содержанию взвешенных примесей

Размер частиц (приблизительный), мм	Гидравлическая крупность (скорость осаждения в лабораторном цилиндре в течение 2 ч), мм/с	Примесь (условно)	Время осаждения частиц на 1 м
1,0	100	Крупный песок	10 с
0,5	53	Средний песок	20 с
0,1	6,9	Мелкий песок	2,5 мин
0,050 – 0,027	1,7 – 0,5	Крупный ил	10 – 30 мин
0,010 – 0,005	0,070 – 0,017	Мелкий ил	4 – 18 ч
0,0027	0,005	Крупная глина	2 сут.
0,0010 – 0,0005	0,00070 – 0,00017	Тонкая глина	0,5 – 2 мес.
0,0002 – 0,000001	0,000007	Коллоидные частицы	4 года

★ Мутность и прозрачность.

Мутность воды вызвана присутствием тонкодисперсных примесей, обусловленных нерастворимыми или коллоидными неорганическими и органическими веществами различного происхождения. Качественное определение проводят описательно: мутность не заметна (отсутствует), слабая опалесценция, опалесценция, слабомутная, мутная и сильная муть.

Опалесценция [опал + лат. *escentia* («слабое действие», свечение)] – физ. явление рассеяния света мутной средой, обусловленное её оптической неоднородностью; наблюдается, например, при освещении большинства коллоидных растворов.

В России мутность чаще всего измеряют в нефелометрических единицах мутности НЕФ (NTU) для небольших значений в пределах $0 \div 40$ НЕФ (NTU), например, для питьевой воды. В условиях большой мутности обычно применяется измерение единиц мутности по формазину (ЕМФ). Пределы измерений –

40 ÷ 400 ЕМФ. Индикатор по НЕФ (NTU) – рассеивание излучения, по ЕМФ – ослабление потока излучения.

Наряду с мутностью, особенно в случаях, когда вода имеет незначительные окраску и мутность, и их определение затруднительно, пользуются показателем «прозрачность». Мера прозрачности – высота столба воды, при которой можно наблюдать опускаемую в воду белую пластину определенных размеров (диск Секки) или различать на белой бумаге шрифт определенного размера и типа (шрифт Снеллена). Результаты выражаются в сантиметрах (табл. 4).

Таблица 4

Характеристика вод по прозрачности

Прозрачность	Единица измерения, см
Прозрачная	более 30
Маломутная	более 25 до 30
Средней мутности	более 20 до 25
Мутная	более 10 до 20
Очень мутная	менее 10

✦ Запах воды.

Характер и интенсивность запаха природной воды определяют органолептически. По характеру запахи делят на две группы: естественного происхождения (живущие и отмершие в воде организмы, загнивающие растительные остатки и др.) – табл. 5; искусственного происхождения (примеси промышленных и сельскохозяйственных сточных вод). Интенсивность запаха по ГОСТ 3351-74* оценивают в шестибальной шкале – табл. 6. Запахи второй группы (искусственного происхождения) называют по определяющим запах веществам: хлорный, бензиновый и т.д.

Таблица 5

Запахи естественного происхождения

Обозначение запаха	Характер запаха	Примерный род запаха
А	Ароматический	Огуречный, цветочный
Б	Болотный	Илистый, тинистый
Г	Гнилостный	Фекальный, сточный
Д	Древесный	Запах морской щепы, древесной коры
З	Землистый	Прелый, запах свежеспаханной земли, глинистый
П	Плесневый	Затхлый, застойный
Р	Рыбный	Запах рыбьего жира, рыбы
С	Сероводородный	Запах тухлых яиц
Т	Травянистый	Запах скошенной травы, сена
Н	Неопределённый	Запахи естественного происхождения, не подходящие под предыдущие определения

Таблица 6

Характеристика вод по интенсивности запаха

Интенсивность запаха, баллы	Характеристика	Описательные определения
0	Запаха нет	Отсутствие ощутимого запаха
1	Очень слабый	Запах, не замечаемый потребителем, но обнаруживаемый опытным исследователем
2	Слабый	Запах, не привлекающий внимания потребителя, но обнаруживаемый им, если указать на него
3	Заметный	Запах, легко обнаруживаемый и могущий дать повод относиться к воде с неодобрением
4	Отчётливый	Запах, обращающий на себя внимание и делающий воду неприятной для питья
5	Очень сильный	Запах сильный настолько, что делает воду непригодной для питья

✦ Вкус и привкус.

Интенсивность вкуса и привкуса в соответствии с ГОСТ 3351-74* определяется также по шестибальной шкале – табл. 7. Различают четыре вида вкусов: *солёный, горький, сладкий, кислый*. Качественную характеристику оттенков вкусовых ощущений – привкуса – выражают описательно: хлорный, рыбный, горьковатый и так далее.

Таблица 7

Характеристика вод по интенсивности вкуса

Оценка вкуса и привкуса, баллы	Интенсивность вкуса и привкуса	Характер проявления вкуса и привкуса
0	Нет	Вкус и привкус не ощущаются
1	Очень слабая	Вкус и привкус сразу не ощущаются потребителем, но обнаруживаются при тщательном тестировании
2	Слабая	Вкус и привкус замечаются, если обратить на это внимание
3	Заметная	Вкус и привкус легко замечаются и вызывают неодобрительный отзыв о воде
4	Отчётливая	Вкус и привкус обращают на себя внимание и заставляют воздержаться от питья
5	Очень сильная	Вкус и привкус настолько сильны, что делают воду непригодной к употреблению

Наиболее распространённый солёный вкус воды чаще всего обусловлен растворённым в воде хлоридом натрия, горький – сульфатом магния, кислый – избытком свободного диоксида углерода и т.д. Порог вкусового восприятия солёных растворов характеризуется такими концентрациями (в дистиллированной воде), мг/л: NaCl – 165; CaCl₂ – 470; MgCl₂ – 135; MnCl₂ – 1,8; FeCl₂ – 0,35; MgSO₄ – 250; CaSO₄ – 70; MnSO₄ – 15,7; FeSO₄ – 1,6; NaHCO₃ – 450. По силе воздействия на органы вкуса ионы некоторых металлов выстраиваются в следующие ряды: катионы: NH₄⁺ > Na⁺ > K⁺; Fe²⁺ > Mn²⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺; анионы: OH⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻ > HCO₃²⁻ > SO₄²⁻.

★ Цветность.

Показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды и обусловленный содержанием окрашенных соединений, выражается в градусах платинокобальтовой шкалы и определяется путем сравнения окраски испытуемой воды с эталонами. Цветность природных вод обусловлена главным образом присутствием гумусовых веществ и соединений трехвалентного железа, колеблется от единиц до тысяч градусов – табл. 8.

Таблица 8

Характеристика вод по цветности

Цветность	Единицы измерения, градус платино-кобальтовой шкалы
Очень малая	до 25
Малая	более 25 до 50
Средняя	более 50 до 80
Высокая	более 80 до 120
Очень высокая	более 120

★ Минерализация.

Минерализация – суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ. Минерализация природных вод, определяющая их удельную электропроводность, изменяется в широких пределах. Большинство рек имеет минерализацию от нескольких десятков миллиграммов в литре до нескольких сотен. Их удельная электропроводность варьирует от 30 до 1500 мкСм/см.

В СИ единицей электрической проводимости является сименс (См):
 $1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1}$.

Минерализация подземных вод и солёных озёр изменяется в интервале от $40 \div 50$ мг/л до сотен г/л (плотность в этом случае уже значительно отличается от единицы). Удельная электропроводность атмосферных осадков с минерализацией от 3 до 60 мг/л составляет значения $10 \div 120$ мкСм/см. Согласно ГОСТ 17403-72 природные воды по минерализации разделены на группы (табл. 9). Предел пресных вод – 1 г/кг – установлен в связи с тем, что при минерализации более этого значения вкус воды неприятен – солёный или горько-солёный (табл. 10).

Таблица 9

Характеристика вод по минерализации

Группа воды	Единицы измерения, г/кг
Пресные	до 1
Солоноватые	более 1 до 25
Солёные	более 25 до 50
Рассолы	более 50

Характеристика вод по общей минерализации

Наименование воды	Общая минерализация, г/л
Ультрапресная	до 0,1
Пресная	более 0,1 до 1,0
Слабопресная	более 1,0 до 3,0
Солёная	более 3,0 до 10,0
Сильносолёная	более 10,0 до 50,0
Рассол	более 50,0 до 300,0
Ультрарассол	более 300,0

Граница между солоноватыми и солёными водами принята на том основании, что при минерализации около 25 г/кг температура замерзания воды и температура наибольшей плотности морской воды совпадают, и при этом меняются некоторые свойства воды. Граница 50 г/кг между солёными водами и рассолами обусловлена тем, что солёность больше этого значения не бывает в морях; такая солёность характерна только для солёных озёр и некоторых подземных вод.

✦ Жёсткость.

Жёсткость воды обуславливается наличием в воде ионов кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), стронция (Sr^{2+}), бария (Ba^{2+}), железа (Fe^{3+}), марганца (Mn^{2+}). Но общее содержание в природных водах ионов кальция и магния несравнимо больше содержания всех других перечисленных ионов – и даже их суммы. Поэтому под жёсткостью понимают сумму количеств ионов кальция и магния – общая жёсткость, складывающаяся из значений карбонатной (временной, устранимой кипячением) и некарбонатной (постоянной) жёсткости. Первая вызвана присутствием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, вторая наличием сульфатов, хлоридов, силикатов, нитратов и фосфатов этих металлов. Однако при значении жёсткости воды более 9 ммоль/л нужно учитывать содержание в воде стронция и других щелочноземельных металлов.

По стандарту ИСО 6107-1-8:1996, включающему более 500 терминов, жёсткость определяется как способность воды образовывать пену с мылом.

В России жёсткость воды выражают в ммоль/л. В жёсткой воде обычное натриевое мыло превращается (в присутствии ионов кальция) в нерастворимое «кальциевое мыло», образующее бесполезные хлопья. И, пока таким способом не устранилась вся кальциевая жёсткость воды, образование пены не начнётся. На 1 ммоль/л жёсткости воды для такого умягчения воды теоретически затрачивается 305 мг мыла, практически – до 530. Но, конечно, основные неприятности – от накипеобразования.

Моль – это количество вещества, в котором содержится столько же частиц, сколько атомов содержится в 12 граммах углерода с атомной единицей массы 12.

Моль – единица измерения количества вещества в Международной системе единиц (СИ), одна из семи основных единиц СИ. Значение одного моля определено как $6,022\ 140\ 76 \cdot 10^{23}$ частиц (атомов, молекул, ионов, электронов или любых других объектов).

Международные своды нормативов качества воды не нормируют жёсткость воды – только отдельно содержание в воде ионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}): нормы качества питьевой воды Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), такие же нормы Европейского Союза (ЕС), стандарты ИСО, а также Национальные нормы питьевой воды США.

По значению общей жёсткости природные воды делят на группы – табл. 11.

Таблица 11

Классификация воды по жёсткости

Группа воды	Единица измерения, ммоль/л
Очень мягкая	до 1,5
Мягкая	более 1,5 до 4,0
Средней жёсткости	более 4 до 8
Жёсткая	более 8 до 12
Очень жёсткая	более 12

✦ Щёлочность.

Щёлочностью воды называется суммарная концентрация содержащихся в воде анионов слабых кислот и гидроксильных ионов (выражена в ммоль/л), вступающих в реакцию при лабораторных исследованиях с соляной или серной кислотами с образованием хлористых или сернокислых солей щелочных и щелочноземельных металлов

Различают следующие формы щёлочности воды: бикарбонатная (гидрокарбонатная), карбонатная, гидратная, фосфатная, силикатная, гуматная – в зависимости от анионов слабых кислот, которыми обуславливается щёлочность. Щёлочность природных вод, рН которых обычно $< 8,35$, зависит от присутствия в воде бикарбонатов, карбонатов, иногда и гуматов.

Щёлочность других форм появляется в процессах обработки воды. Так как в природных водах почти всегда щёлочность определяется бикарбонатами, то для таких вод общую щёлочность принимают равной карбонатной жёсткости.

Гуматы – материалы своеобразные вытяжки из торфа, бурого угля, содержат 35 – 40 % и более гуминовых веществ.

Бикарбонаты (совр. название гидрокарбонаты) – кислые соли угольной кислоты H_2CO_3 . Общая формула MHCO_3 , где М – одновалентный металл, например, сода – NaHCO_3 .

✦ Органические вещества.

Спектр органических примесей очень широк:

✦ *группа растворенных примесей:* гуминовые кислоты и их соли – гуматы натрия, калия, аммония; некоторые примеси промышленного происхождения; часть аминокислот и белков;

✦ *группа нерастворенных примесей:* фульвокислоты (соли) и гуминовые кислоты и их соли – гуматы кальция, магния, железа; жиры различного происхождения; частицы различного происхождения, в том числе микроорганизмы.

Фульвокислоты (ФК) – группа гумусовых кислот, растворимых в воде, щелочах и кислотах.

Содержание органических веществ в воде оценивается по методикам определения окисляемости воды, содержания органического углерода, биохимической потребности в кислороде, а также поглощения в ультрафиолетовой области.

Величина, характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых одним из сильных химических окислителей при определённых условиях, называется *окисляемостью*.

Существует несколько видов окисляемости воды: *перманганатная, бихроматная, иодатная, цериевая* (методики определения двух последних применяются редко). Окисляемость выражается в миллиграммах кислорода, эквивалентного количеству реагента, пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в 1 л воды.

Окислители могут действовать и на неорганические примеси, например, на ионы Fe^{2+} , S^{2-} , NO^{2-} , но соотношение между этими ионами и органическими примесями в поверхностных водах существенно сдвинуто в сторону органических примесей, т.е. «органики» в решающей степени больше. В подземных водах (артезианских) это соотношение – обратное, т.е. органических примесей гораздо меньше, чем указанных ионов.

Практически их совсем нет. К тому же неорганические примеси могут определяться непосредственно индивидуально. Если содержание указанных восстановителей суммарно меньше 0,1 ммоль/л, то ими можно пренебречь, в иных случаях нужно вносить соответствующие поправки. Для природных малозагрязнённых вод рекомендовано определять перманганатную окисляемость (перманганатный индекс); в более загрязнённых водах определяют, как правило, бихроматную окисляемость (ХПК).

Окисляемость перманганатная измеряется мгО/л, если учитывается масса иона кислорода в составе перманганата калия, пошедшего на окисление «органики», или мг $KMnO_4$ /л, если оценивается количество перманганата калия, пошедшего на окисление «органики» – табл. 12. и рис. 1.

Таблица 1

Характеристика вод по перманганатной окисляемости

Величина окисляемости	Единица измерения, мгО/л
Очень малая	до 4
Малая	более 4 до 8
Средняя	более 8 до 12
Высокая	более 12 до 20
Очень высокая	более 20



Рис. 1 – Перманганатное тестирование воды.

Окисляемость бихроматная, мгО/л, называемая также химической потребностью в кислороде (ХПК), – показатель, дающий более правильное представление о содержании в воде органических веществ, так как при определении ХПК окисляется около 90 % органических примесей, а при определении перманганатной окисляемости – 30 ÷ 50 % (табл. 13).

Таблица 13

Характеристика вод по бихроматной окисляемости

Степень загрязнения (класс чистоты)	ХПК, мгО/л
Очень чистая	1
Чистая	2
Умеренно загрязнённая	3
Загрязнённая	4
Грязная	5 ÷ 15
Очень грязная	более 15

В англоязычной литературе ХПК обозначают термином COD (Chemical Oxygen Demand), в немецкой литературе – CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf).

При анализе ХПК наиболее надёжные результаты получаются при ХПК = 300 ÷ 600 мгО/л. При этом анализе окисляются ионы Br^- , J^- , NO_3^- , некоторые соединения серы и др.

Биохимическая потребность в кислороде (БПК_5 , $\text{БПК}_{\text{полн}}$), мгО₂/л. Биохимическая потребность в кислороде (БПК) – показатель, определяемый при окислении «органики» природных вод не химическими веществами, а биохимическими воздействиями в аэробных условиях. Чаще определяют биохимическое потребление кислорода за пять суток – БПК_5 , и, как правило, этот показатель в поверхностных водах находится в пределах 0,5 ÷ 4,0 мгО₂/л (табл. 14).

Таблица 14

Характеристика вод по БПК_5

Степень загрязнения (класс чистоты)	БПК_5 , мгО ₂ /л
Очень чистая	0,5 ÷ 1,0
Чистая	1,1 ÷ 1,9
Умеренно загрязнённая	2,0 ÷ 2,9
Загрязнённая	3,0 ÷ 3,9
Грязная	4,0 ÷ 10,0
Очень грязная	более 10,0

При определении БПК_5 (температура воды 20 °С, рН = 6 ÷ 8, обеспечен достаточный доступ кислорода к пробе воды) окисляется примерно 70 % легко-окисляющихся органических веществ, за 10 ÷ 20 сут – соответственно 90 и 99 % (как правило, но не всегда). Поэтому, когда определяют $\text{БПК}_{\text{полн}}$, имеют в виду, что процесс окисления длится 15 ÷ 20, в редких случаях – до 35 сут.

★ Общий органический углерод.

Содержание общего органического углерода (ООУ, по зарубежным источникам – ТОС, Total Organic Carbon) – достаточно надёжный показатель содер-

жания в воде органических веществ, в среднем численно равный 50 % массы органических веществ. В природных поверхностных водах значения органического углерода могут колебаться от 1 до 20 и даже до нескольких сотен мг/л (в болотистых водах).

★ Растворённый кислород.

Поступление кислорода в водоём происходит путём растворения его при контакте с воздухом (абсорбции), а также в результате фотосинтеза водными растениями. Содержание растворённого кислорода зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, минерализации воды и др. В поверхностных водах содержание растворённого кислорода может колебаться от 0 до 14 мг/л. В артезианской воде кислород практически отсутствует.

Артезианские воды – напорные подземные воды, заключённые в водоносных пластах горных пород между водоупорными слоями. Обычно встречаются в пределах определённых геологических структур (впадин, мульд, флексур и др.), образуя артезианские бассейны.

★ Водородный показатель (pH).

Величина pH – один из важнейших показателей качества воды для определения её стабильности, накипеобразующих и коррозионных свойств, прогнозирования химических и биологических процессов, происходящих в природных водах. Если рассматривать воду без примесей, то физическая сущность pH может быть описана следующим образом.

Вода, хотя и весьма незначительно, – приблизительно одна миллионная часть молекул – диссоциирует (распадается) на ионы водорода H^+ и гидроксила OH^- по уравнению:



Но такое же количество молекул воды одновременно снова образуется. Следовательно, состав воды при определённой температуре и в отсутствие примесей не изменяется.

$$K_w = (H^+) \cdot (OH^-) = 10^{-14}.$$

Произведение концентраций этих ионов есть величина постоянная и называется ионным произведением воды – K_w . Так как распадается незначительное количество молекул воды, то концентрация ионов H^+ и OH^- малы, тем более мало их произведение. При температуре 24,8 °C $K_w = 10^{-14}$. Увеличение концентрации водородных ионов вызывает соответствующее уменьшение гидроксид-ионов и наоборот.

Для нейтральной среды.

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{ион/л}.$$

Для оценки кислотности и щёлочности среды удобно пользоваться не концентрацией водородных ионов, а водородным показателем pH. Он равен десятичному логарифму концентраций водородных ионов, взятому с обратным знаком.

$$pH = -\lg[H^+].$$

Если в воде растворено какое-либо вещество, которое само источник ионов H^+ и OH^- (примеры: кислоты HCl , H_2SO_4 , HNO_3 и др.; щёлочи: $NaOH$, $KaOH$, $Ca(OH)_2$ и др.), то концентрации ионов H^+ и OH^- не будут равны, но их

произведение K_w будет постоянно. Воду в зависимости от pH рационально делить на семь групп (табл. 15).

Таблица 15

Группа воды	Значение pH
Сильнокислая	до 3,0
Кислая	более 3,0 до 5,0
Слабокислая	более 5,0 до 6,5
Нейтральная	более 6,5 до 7,5
Слабощелочная	более 7,5 до 8,5
Щелочная	более 8,5 до 9,5
Сильнощелочная	более 9,5

✦ Тяжёлые металлы.

Тяжёлые металлы выделяются из общей группы металлов по специфической вредности для живых организмов.

Понятие «тяжёлые металлы» не относится к строго определённым. Разные авторы в составе группы тяжёлых металлов указывают разные химические элементы. В экологических публикациях в эту группу включают около 40 элементов с атомной массой более 50 атомных единиц.

Н.Ф. Реймерс относит к тяжёлым металлы с плотностью более 8 г/см³, выделяя при этом подгруппу благородных металлов. Таким образом, к собственно «тяжёлым» отнесены медь, никель, кадмий, кобальт, висмут, ртуть, свинец.

Группа специалистов, работающая под патронажем Европейской экономической комиссии ООН и занимающаяся мониторингом выбросов в окружающую природную среду тяжёлых металлов, включает в эту группу также цинк, мышьяк, селен, сурьму.

Есть и другие классификации.

3. Интегральные показатели качества вод – индексы качества.

Учет обобщённых показателей качества вод полезен при сравнении состояния водного объекта в разные временные периоды и при сравнении разных объектов.

✦ Гидробиологический показатель качества воды – индекс сапробности.

Все микроорганизмы, которые могут служить показателями загрязнения воды, делятся на катаробов и сапробов.

Катаробы – микроорганизмы, населяющие чистые ключевые воды.

Сапробы – микроорганизмы, находящиеся во всех пресных водах с разной загрязнённостью.

Сапробные организмы разделяются:

- ✦ на *полисапробные*, живущие в очень загрязнённых водах, составляющих полисапробную зону;
- ✦ *мезасапробные*, живущие в более чистых мезасапробных зонах водоёма;

* *олигосапробные*, находящиеся в наименее загрязнённых водах, образующих олигосапробную зону.

В зависимости от места обитания все водные организмы делятся на две основные группы: обитающие в толще воды и на дне бассейна.

Первая группа подразделяется на планктон, нектон и нейстон, *вторая группа* – бентос.

Планктон истинный – водоросли, веслоногие, ветвистоусые, ракообразные, коловратки и др.

Планктон ложный – мёртвые организмы, древесина, уголь, обрывки тканей, кожи и др.

Нектон – рыбы, дельфины, головоногие моллюски и др.

Нейстон – жгутиковые и простейшие (живут в тонком поверхностном слое воды).

Бентос – разные организмы – прикреплённые, закапывающиеся, свободно лежащие на дне и др.

Сапробность – комплекс физиологических свойств данного организма, обуславливающий его способность развиваться в воде, загрязнённой органическими веществами с некоторой степенью разложения. Индекс сапробности рассчитывают исходя из индивидуальных характеристик сапробности видов, представленных в различных водных сообществах (фитопланктоне, перифитоне):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot h_i)}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

где S – индекс сапробности, безразмерный;

S_i – значение сапробности гидробионта, устанавливаемое по специальным таблицам;

h_i – относительная встречаемость в поле микроскопа индикаторных организмов;

n – число выбранных индикаторных организмов.

Перифитон (от др.-греч. $\pi\epsilon\rho\iota\phi\acute{\upsilon}\tau\omicron\nu$ – расти вокруг, обрастать) – экотопическая группировка гидробионтов (растений, животных, микроорганизмов), ведущих преимущественно прикрепленный образ жизни на разделе вода – твёрдые субстраты различного происхождения (камни, скалы, высшие водные растения, покровы животных, затопленный крупный мусор, сваи, днища судов и т.д.).

Каждому виду исследуемых организмов присвоено некоторое условное численное значение индивидуального индекса сапробности, отражающее совокупность его физиологобиохимических свойств, обуславливающих способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ. Для статистической достоверности результатов необходимо, чтобы в пробе содержалось не менее 12 индикаторных организмов с общим числом особей в поле наблюдения каждого из 12 организмов не менее 30 шт.

В зависимости от значения S воды разделяют на классы чистоты (табл. 16). Уровень загрязнённости и класс качества водных объектов иногда устанавливают в зависимости от микробиологических показателей. Встречается и другая классификация загрязнённости воды по микробиологическим показателям (табл. 17).

Таблица 16

Оценка качества вод по индексу сапробности

Значение индекса S	Номер класса чистоты воды	Характеристика класса чистоты	Наименование зоны
менее 0,50	1	Очень чистая	Ксеносапробная
более 0,50 до 1,50	2	Чистая	Олигосапробная
более 1,50 до 2,50	3	Умеренно загрязнённая	α-мезосапробная
более 2,50 до 3,50	4	Тяжело загрязнённая	β-мезосапробная
более 3,50 до 4,00	5	Очень загрязнённая	Полисапробная
более 4,00	6	Очень грязная	Полисапробная

Таблица 17

Оценка качества вод по микробиологическим показателям

Класс чистоты	Характеристика класса чистоты воды	Общее число бактерий, 10 ⁶ клеток	Число сапрофитных бактерий, 1000 клеток/мл	Отношение общего числа бактерий к числу сапрофитных бактерий
I	Очень чистая	менее 0,5	менее 0,5	до 1000
II	Очень чистая	более 0,5 до 1,0	более 0,5 до 5,0	более 1000
III	Умеренно загрязнённая	более 1,0 до 3,1	более 5,1 до 10,0	более 1000 до 100
IV	Умеренно загрязнённая	более 3,1 до 5,0	более 10,0 до 50,0	менее 100
V	Грязная	более 5,0 до 10,0	более 50,0 до 1000	менее 100
VI	Очень грязная	более 10	более 1000	менее 100

★ Гидрохимический индекс загрязнения воды.

Гидрохимический индекс загрязнения воды

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^N (C_i / \text{ПДК}_i) / N,$$

где C_i – фактическая средняя концентрация i -й примеси за контролируемый период, мг/л;

ПДК $_i$ – предел допустимой концентрации i -й примеси, мг/л;

N – количество примесей; должны анализироваться не менее семи примесей, которые в данном водоисточнике считаются наиболее значимыми по санитарно-токсикологическому признаку. В числе семи показателей обязательно нужно указывать: значения растворенного кислорода, рН и БПК $_5$.

Таблица 18

Оценка качества воды по ИЗВ

ИЗВ	Класс качества воды	Характеристика воды
менее или равно 0,2	I	Очень чистая
более 0,2 до 1,0	II	Чистая
более 1,0 до 2,0	III	Умеренно загрязнённая
более 2,0 до 4,0	IV	Загрязнённая
более 4,0 до 6,0	V	Грязная
более 6,0 до 10,0	VI	Очень грязная
более 10,0	VII	Чрезвычайно грязная