

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, распределенного в другом веществе (среде). Система называется **гомогенной**, если внутри нее 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 10-3 мкм – это гомогенная система (однофазная из двух или более индивидуальных веществ). Если размер частиц $\geq 10 \dots 3$ мкм, то примеси образуют с водой гетерогенную (неоднородную многофазную) систему. Истинные растворы, где примеси находятся в молекулярно-растворенном виде или в виде ионов, – это гомогенные системы. Гетерогенные системы – коллоиды (размер частиц: 10^{-2} – 10^{-1} мкм) или суспензии (частицы $> 10 \dots 1$ 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 ее для использования оценивается по комплексу показателей, и нужно признать, что такой подход дает 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 ее 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 трех главных катионов (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) и трех 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 разделен 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). Для задач, связанных с очисткой воды, эта классификация полезна тем, что, определив фазоводисперсное состояние примесей в воде и установив ее 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.

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-растворенные вещества	$10^{-1}-10^{-2}$	Коллоиды и высокомолекулярные соединения, обуславливающие окисляемость и цветность воды; вирусы
Гомогенная система			
III	Молекулярно-растворенные вещества	$10^{-2}-10^{-3}$	Газы, растворимые в воде; органические вещества, придающие воде запах и привкус
IV	Вещества, диссоциированные на ионы (электролиты)	$< 10^{-3}$	Соли, кислоты, основания, придающие воде жесткость, щелочность и минерализованность

Методы обработки воды, определенные 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 тяжелых металлов (меди, серебра и др.).

Группа III. Воздействие на растворенные органические вещества и газы: десорбция газов и легколетучих органических соединений путем 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, паровое, хлором, озоном, диоксидом хлора и др.).

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.

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

Определенный 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 – растворенное 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.

2. Физико-химические показатели качества природных вод

Под качеством природной воды в целом понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее 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 твердые 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, дает представление о загрязненности 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 загрязненности воды производят косвенно по мутности воды.

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	$> 10^{-1}$	$10^{-1} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
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 твердой 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	Гидродинамические	Электростатические	Вандерваальсовы	Ионные силы растворов

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.

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

В России мутность чаще всего измеряют в нефелометрических единицах мутности НЕФ (NTU) для небольших значений в пределах 0–40 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, гнивающие 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.

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.

Наиболее распространенный солёный вкус воды чаще всего обусловлен растворенным 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; FeCl_2 – 0,35; MgSO_4 – 250; CaSO_4 – 70; MnSO_4 – 15,7; FeSO_4 – 1,6; NaHCO_3 – 450. По силе воздействия на органы вкуса ионы некоторых металлов выстраиваются в следующие ряды: катионы: $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+$; $\text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$; анионы: $\text{OH}^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$.

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	Неопределенный	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	Отчетливый	Запах, обращающий на себя внимание и делающий воду неприятной для питья
5	Очень сильный	Запах сильный настолько, что делает воду непригодной для питья

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	Отчетливая	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

Цветность

Показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды и обусловленный содержанием окрашенных соединений, выражается в градусах платино-кобальтовой 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.

Минерализация подземных вод и соленых озер изменяется в интервале от 40–50 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 10–120 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 – соленый или горько-соленый (табл. 10).

Таблица 9

Характеристика вод по минерализации

Группа воды	Единицы измерения, г/кг
Пресные	До 1
Солоноватые	Более 1 до 25
Соленые	Более 25 до 50
Рассолы	Более 50

Таблица 10

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
Соленая	Более 3,0 до 10,0
Сильносоленая	Более 10,0 до 50,0
Рассол	Более 50,0 до 300,0
Ультрарассол	Более 300,0

Граница между солоноватыми и солеными 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 солеными водами и рассолами обусловлена тем, что соленость больше этого значения не бывает в морях; такая соленость характерна только для соленых озер и некоторых подземных вод.

Жесткость

Жесткость 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 жесткостью понимают сумму количеств ионов кальция и магния – общая жесткость, складывающаяся из значений карбонатной (временной, устраняемой кипячением) и некарбонатной (постоянной) жесткости. Первая вызвана присутствием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, вторая наличием сульфатов, хлоридов, силикатов, нитратов и фосфатов этих металлов. Однако при значении жесткости 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, жесткость определяется как способность воды образовывать пену с мылом.

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

Международные своды нормативов качества воды не нормируют жесткость 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 жесткости природные воды делят на группы – табл. 11.

Таблица 11

Классификация воды по жесткости

Группа воды	Единица измерения, ммоль/л
Очень мягкая	До 1,5
Мягкая	Более 1,5 до 4,0
Средней жесткости	Более 4 до 8
Жесткая	Более 8 до 12
Очень жесткая	Более 12

Щелочность

Щелочностью 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 щелочности воды: бикарбонатная (гидрокарбонатная), карбонатная, гидратная, фосфатная, силикатная, гуматная – в зависимости от анионов слабых кислот, которыми обуславливается щелочность. Щелочность природных вод, pH которых обычно < 8,35, зависит от присутствия в воде бикарбонатов, карбонатов, иногда и гуматов.

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

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.

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 определенных 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 смещено в сторону органических примесей, то есть «органики» в решающей степени больше. В подземных водах (артезианских) это соотношение – обратное, то есть 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 малозагрязненных вод рекомендовано определять перманганатную окисляемость (перманганатный индекс); в более загрязненных 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.

Таблица 12

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

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).

В англоязычной литературе ХПК обозначают термином COD (Chemical Oxygen Demand), в немецкой литературе – CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf). При анализе ХПК наиболее надежные результаты получаются при ХПК = 300–600 мгО/л. При этом анализе окисляются ионы Br^- , I^- , NO_2^- , некоторые соединения серы и др.

Таблица 13

Характеристика вод по бихроматной окисляемости

Степень загрязнения (класс чистоты)	ХПК, мгО/л
Очень чистая	1
Чистая	2
Умеренно загрязненная	3
Загрязненная	4
Грязная	5–15
Очень грязная	Более 15

Биохимическая потребность в кислороде (БПК₅, БПК_{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 – БПК₅, и, как правило, этот показатель в поверхностных водах находится в пределах 0,5–4,0 мгО₂/л (табл. 14).

При определении БПК₅ (температура воды 20 °С, рН = 6–8, обеспечен достаточный доступ кислорода к пробе воды) окисляется примерно 70 % легкоокисляющихся органических веществ, за 10–20 сут – соответственно 90 и 99 % (как правило, но не всегда). Поэтому, когда определяют БПК_{полн}, имеют в виду, что процесс окисления длится 15–20, в редких случаях – до 35 сут.

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 загрязненная	2,0–2,9
Загрязненная	3,0–3,9
Грязная	4,0–10,0
Очень грязная	Более 10,0

Общий органический углерод

Содержание общего органического углерода (ООУ, по зарубежным источникам – ТОС, Total Organic Carbon) – достаточно надежный показатель содержания 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).

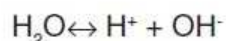
Растворенный кислород

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

Водородный показатель (рН)

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

Вода, хотя и весьма незначительно, – приблизительно одна миллионная часть молекул – диссоциирует (распадается) на ионы водорода Н⁺ и гидроксила ОН⁻ по уравнению:



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

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

Произведение концентраций этих ионов есть величина постоянная и называется ионным произведением воды – К_в. Так как распадается незначительное количество молекул воды, то концентрация ионов Н⁺ и ОН⁻ малы, тем более мало их произведение. При температуре 24,8 °С К_в = 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 щелочности 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.; щелочи: $NaOH$, $KaOH$, $Ca(OH)_2$ и др.), то концентрации ионов H^+ и OH^- не будут равны, но их произведение KW будет постоянно. Воду в зависимости от pH рационально делить на семь групп (табл. 15).

Таблица 15

Классификация вод по pH

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

Тяжелые металлы

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

Понятие «тяжелые металлы» не относится к строго определенным. Разные авторы в составе группы тяжелых 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 тяжелым металлы с плотностью более 8 г/см^3 , выделяя при этом подгруппу благородных металлов. Таким образом, к собственно «тяжелым» 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 тяжелых металлов, включает в эту группу также цинк, мышьяк, селен, сурьму.

Есть и другие классификации.

3. Интегральные показатели качества вод – индексы качества

Учет обобщенных 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 загрязненностью.

Сапробные организмы разделяются:

- на *полисапробные*, живущие в очень загрязненных водах, составляющих полисапробную зону;
- *мезасапробные*, живущие в более чистых мезасапробных зонах водоема;
- *олигосапробные*, находящиеся в наименее загрязненных 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 – мертвые 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 – прикрепленные, закапывающиеся, свободно лежащие на дне и др.

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

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

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.

Каждому виду исследуемых организмов присвоено некоторое условное численное значение индивидуального индекса сапробности, отражающее совокупность его физиолого-биохимических 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 загрязненности и класс качества водных объектов иногда устанавливают в зависимости от микробиологических показателей. Встречается и другая классификация загрязненности 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 загрязненная	α -мезосапробная
Более 2,50 до 3,50	4	Тяжело загрязненная	β -мезосапробная
Более 3,50 до 4,00	5	Очень загрязненная	Полисапробная
Более 4,00	6	Очень грязная	Полисапробная

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	От 0,5 до 1,0	От 0,5 до 5,0	Более 1000
III	Умеренно загрязненная	Более 1,0 до 3,1	Более 5,1 до 10,0	Более 1000 до 100
IV	Умеренно загрязненная	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 допускаемой 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, pH и БПК₅.

Таблица 1.18

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 загрязненная
Более 2,0 до 4,0	IV	Загрязненная
Более 4,0 до 6,0	V	Грязная
Более 6,0 до 10,0	VI	Очень грязная
Более 10,0	VII	Чрезвычайно грязная