

Рис. 1. Схема процесса образования из одного атома кислорода и двух атомов водорода (а) молекулы воды (б). Электронное «облако» молекулы воды состоит из 8-и электронов на наружной орбите и 2-х электронов на внутренней орбите.

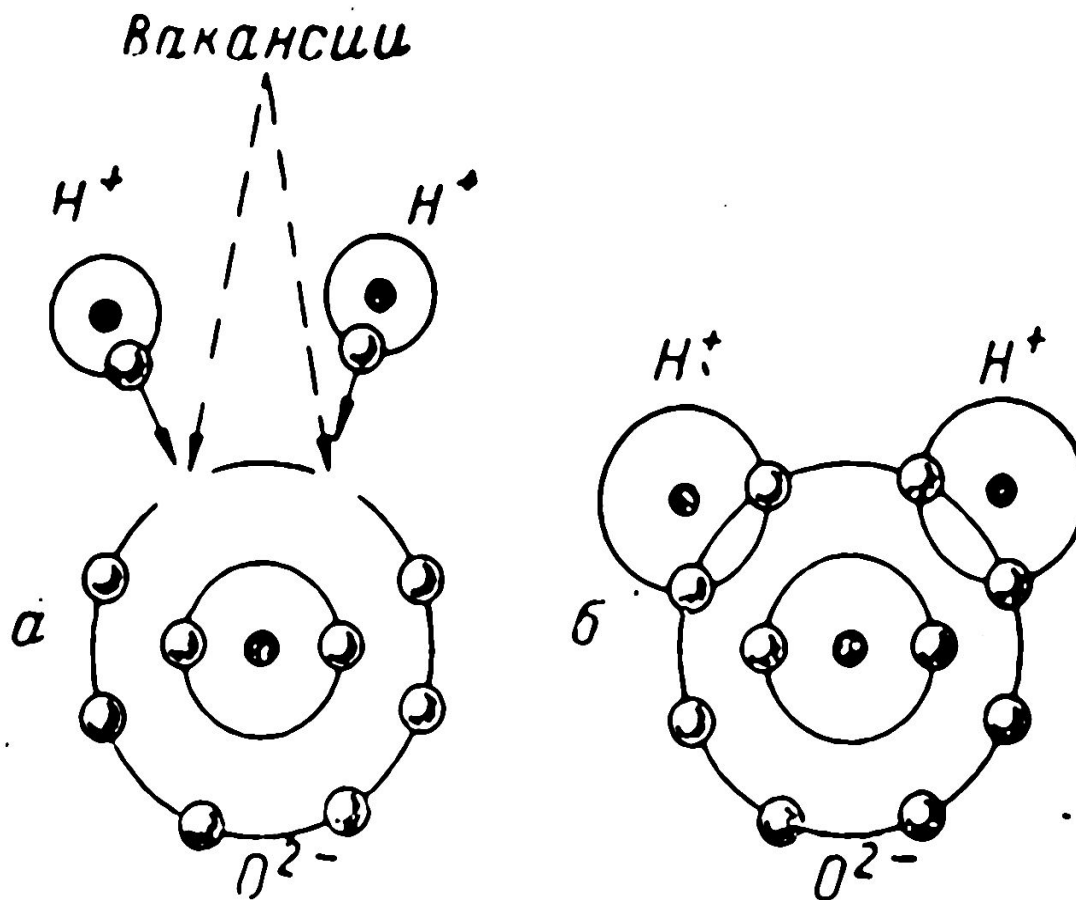


Рис. 2. Тетраэдрически координированная решётка воды, напоминающая решётку тридимита [42]

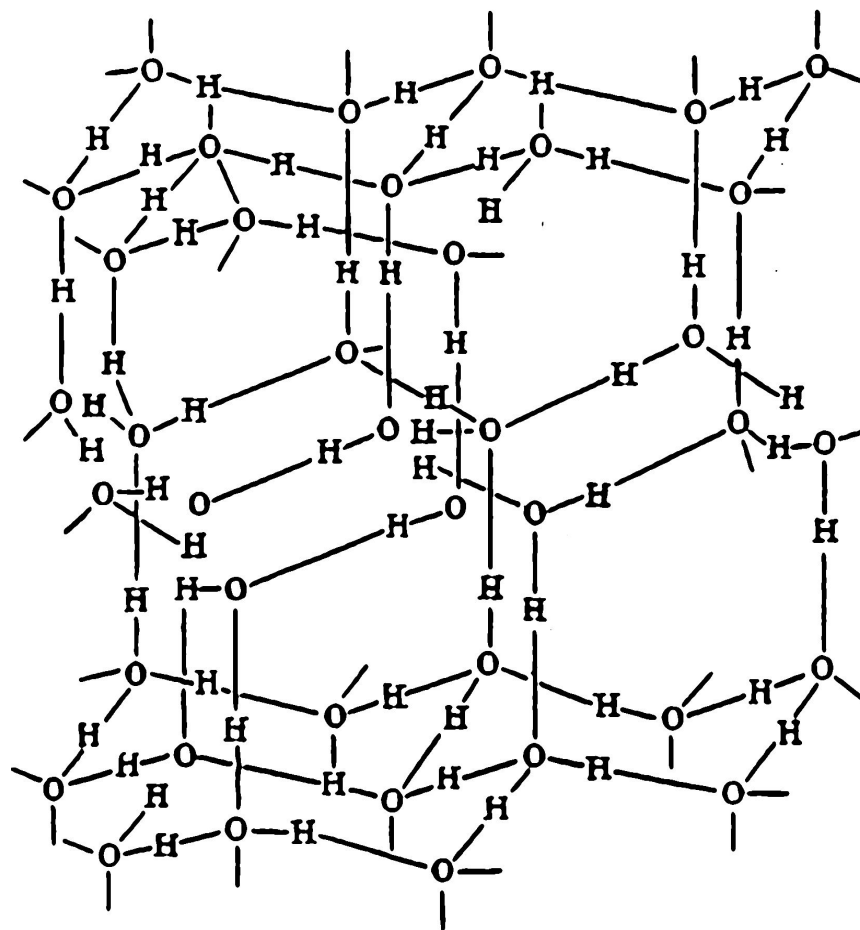
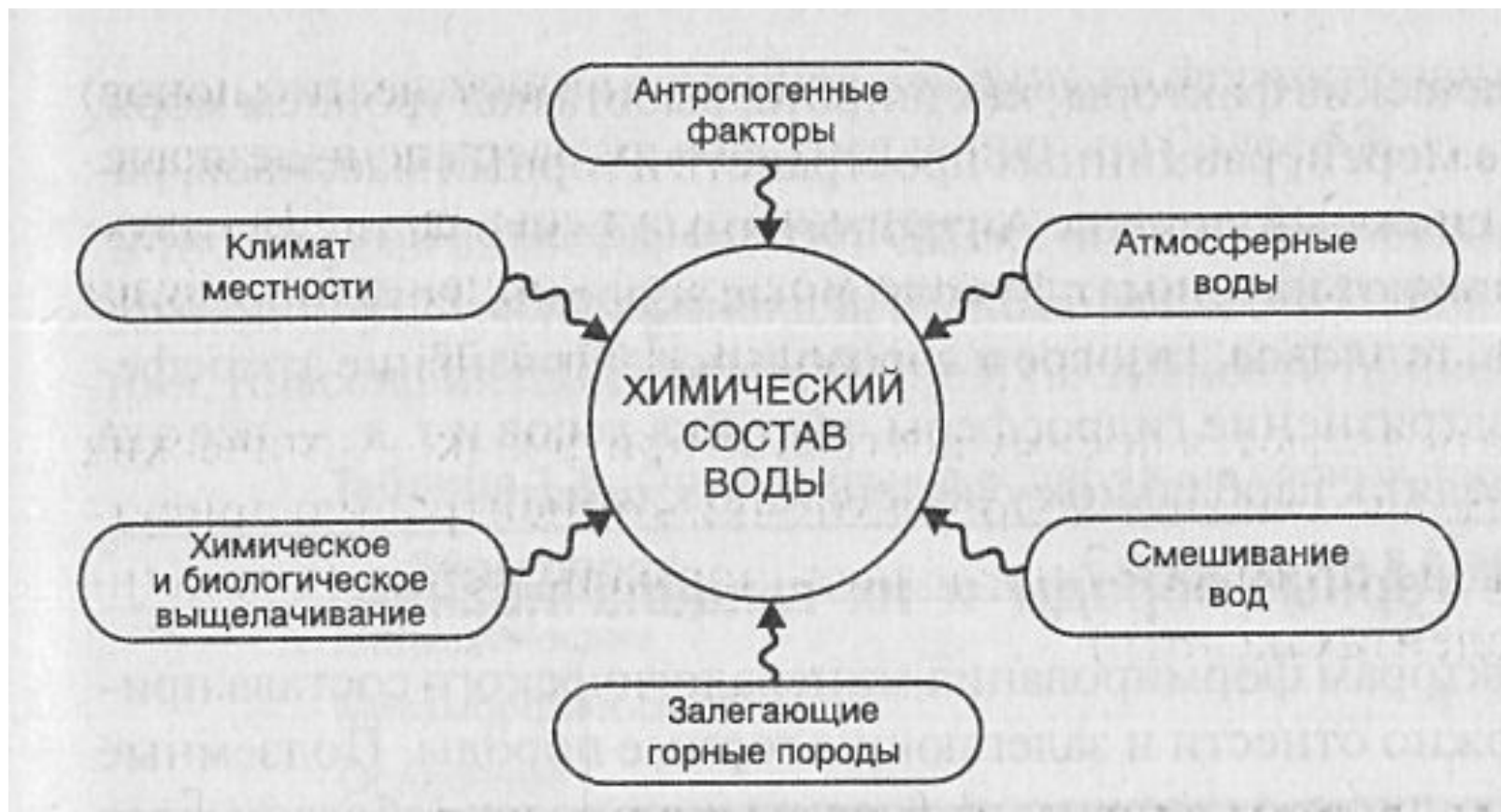


Рис3. Факторы, влияющие на формирование химического состава природных вод



Загрязнители воды и их классификация

В «Словаре русских слов» Ожегова одно из определений слова **«грязный» – нечистый.**

Т. е. «грязный» – *понятие относительное*, относительно чего-то чистого, например, относительно чистой воды

Ещё Д.И. Менделеев сказал: **«Грязь – это химическое вещество, лежащее не в том месте».**

С этой точки зрения, *загрязнители воды – это химические вещества в чистой воде.*

Загрязнители – химические вещества воды - делят по их *качеству и по их количеству.*

Классификация загрязнителей

Классификацию загрязнителей
проводят по 6-ти признакам:

1. по источникам возникновения,
2. по продолжительности времени воздействия,
3. по масштабу распространения,
4. по средам нахождения,
5. по силе,
6. по характеру действия на окружающую среду.

Классификация загрязнителей по источникам возникновения

По *источникам* возникновения загрязнители разделяют на *природные* или *естественные* и *антропогенные*.

- Источниками *природных* или *естественных* *загрязнителей* являются: стихийные бедствия (штормы, цунами, пыльные бури, лесные пожары); естественные геологические процессы (выветривание, вулканизм); естественные биологические процессы (разложение живых организмов, деятельность бактерий). Природные загрязнители не опасны, т.к. многие из них защищают живые организмы от солнечного излучения путём преломления прямых УФ – лучей. Кроме того, в природе выработаны механизмы самоочищения, например, река очищается за 10 дней, озеро – за 1 год, океан - за 10 лет.
- Источниками *антропогенных* *загрязнителей* является деятельность человека, например, сельскохозяйственные, промышленные, коммунальные сбросы в водоёмы, в атмосферу на поверхность или внутрь Земли. Эти загрязнения очень опасны, т.к. происходят за малый геологический отрезок времени и естественные механизмы самоочищения не срабатывают.

Классификация загрязнителей по продолжительности времени воздействия

- По продолжительности начала времени воздействия загрязнители делят на *долговременные*, например, тяжёлые металлы из-за их кумулятивности – способности к накоплению, радионуклиды с большим периодом полураспада, CO₂;
- *кратковременные*, например, кислотообразующие оксиды SO₂, SO₃, NO, NO₂.

Классификация загрязнителей по средам нахождения

По средам нахождения загрязнители разделяют на

- *атмосферные загрязнители*, например, кислотные осадки, смог, аэрозольный эффект;
- *гидросферные*, например, загрязнители, вызывающие заиливание или эвтрофикацию водоёма, загрязнение водоёма ионами тяжёлых металлов, нефтяными пятнами;
- *литосферные*, например, загрязнители, вызывающие засоление, закисление и выщелачивание почв;
- *биосферные*, например, токсичные загрязнители;
- *техносферные*, например, загрязнители воды, вызывающие коррозию труб.

Классификация загрязнителей по силе действия

По силе действия загрязнители делят на

- *фоновые загрязнители,*
- *импактные загрязнители (англ. impact – толчок, удар).*

Классификация загрязнения по характеру действия загрязнителей

По характеру действия загрязнителей различают

- *физическое загрязнение*, например, электромагнитное, радиоактивное, световое, тепловое, шумовое;
- *химическое загрязнение*, например, нефтяное, тяжёлыми металлами, кислотообразующими оксидами, солевое;
- *биологическое загрязнение*, например, микробное, бактериологическое, паразитическими грибами, пылью растений;
- *механическое загрязнение*, например, смог, мусор;
- *информационное загрязнение* или «сбивание с толку», например, сброс тёплой воды может вызвать преждевременный нерест рыбы.

Количественная оценка загрязнителей

Для количественной оценки загрязнителей используют нормирование.

- *Нормирование загрязнителей* – установление, поддержание и обеспечение экологически и гигиенически допустимого уровня в природной среде. При таком уровне они не должны оказывать вредного влияния на природу и общество. В качестве показателей используют *ПДЭН, ПДС, ПДВ, ПДК*.
- *ПДЭН* – предельно допустимые экологические нагрузки. Это воздействия, которые не приводят к изменению качества окружающей среды или меняют её, не нарушая экологическую систему.
- *ПДС* – предельно допустимый сброс (для водных отходов).
- *ПДВ* – предельно допустимый выброс (для атмосферы).
- *ПДК* – предельно допустимая концентрация, которая не оказывает на человека прямого или опосредованного воздействия, не снижает его работоспособности и не оказывает существенного отрицательного влияния на растения и животных.

Понятия загрязнитель и загрязнение относительно фонового состояния воды

Понятия загрязнителя и загрязнения используют относительно природного фонового состояния воды, относительно нормативов контроля (ПДК и т.д.).

Например, относительно фонового состояния воды
Загрязнитель – любой природный или антропогенный агент (механический, физический, химический, биохимический и т.д.), попадающий в окружающую среду или возникающий в ней в количествах сверх рамок обычного наличия (предельных природных колебаний содержания или среднего природного фона), т.е. выводящий систему из равновесия.

Для загрязнителей нет временных или пространственных границ. Они не всегда проявляются сразу и носят скрытый характер.

Загрязнение – внесение в среду или возникновение в ней любых загрязнителей.

Децентрализованное водоснабжение

Децентрализованным водоснабжением является использование для питьевых и хозяйственных нужд населения воды подземных источников, забираемой с помощью различных сооружений и устройств, открытых для общего пользования, *без подачи её к месту расходования*

Требования к качеству воды нецентрализованного
водоснабжения СанПин 2.1.4.1175-02

Показатели	Норматив	Показатели	Норматив
Запах, балл	Не более 2-3	Нитраты, мг/л	Не более 45
Привкус, балл	Не более 2-3	Ж, мг-экв/л	В пределах 7-10
Цветность, градусы	Не более 30	Окисл-сть перм., мгО ₂ /л	В пределах 5-7
Мутность, мг/л	1,5-2,0	Сульфаты, мг/л	Не более 500
рН, ед. рН	6-9	Хлориды, мг/л	Не более 350
Минерализац ия (с.о.), мг/л	1000-1500	Хим. в-ва (неорг и орг)	ПДК

Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения
по микробиологическим показателям (СанПиН 2.1.4.1175-02)

Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общее микробное число	Число образующих колонии микробов в 1 мл	100
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Колифаги	Число бляшкообразующи х единиц в 100 мл	Отсутствие

Допустимые содержания химических элементов (мг/л) в водах,
используемых американской промышленностью

Промышленность	Ca	Fe	Mn	Сухой остаток	Другие показ-ли
Пищевая		0,2	0,2		
Пивоваренная		0,1	0,1	500	pH 6,5-7 NaCl -275
Консервная	515	0,2	1		
Содовые напитки	50	0,2-0,3	0,2	850	
Кондитерская	-	0,2	0,2	100	
Охлаждающие напитки	12	0,5	0,5		Не корродир.

Определение питьевых минеральных вод

Минеральные природные столовые воды – это подземные воды, обладающие высоким качеством по сравнению с питьевой водой на конкретной территории, с минерализацией до 1 г/дм³, а также отвечающие установленным гигиеническим требованиям и рекомендациям ВОЗ по контролю качества питьевой воды.

Определение лечебных минеральных вод

Минеральными лечебными водами являются природные подземные воды, оказывающие на организм человека лечебное действие, обусловленное повышенным содержанием полезных бальнеологически активных компонентов, особенностями газового состава или общим ионно-солевым составом.

Бальнеологические активные компоненты (БАК)

Содержащиеся в воде соли, ионы, газы, органические вещества, микроэлементы, радиоактивные вещества, *положительно* изменяющие функциональное состояние живого организма, называются ***бальнеотерапевтическими активными компонентами.***

Определение питьевых минеральных вод

Минеральные питьевые лечебно-столовые воды — это воды с минерализацией от 1 до 10 г/дм³ или при меньшей минерализации, но содержащие биологически активные компоненты в количестве не ниже бальнеологически значимой нормы.

Определение питьевых минеральных вод

Минеральные питьевые лечебные воды – это воды с минерализацией 10 – 15 г/дм³ или при меньшей минерализации, но при наличии в них повышенных количеств мышьяка, бора и некоторых других биологически активных микрокомпонентов.

Минеральные лечебные воды

Допускается применение в качестве лечебных вод и вод с более высокой минерализацией (20–25 г/дм³ и более), обладающих выраженным лечебным действием на организм человека, при наличии методики, утверждённой Минздравом России.

Минеральные лечебные воды

Для *наружного применения* используются воды с минерализацией от 15 г/дм³ и выше (до 300 г/дм³) при разведении до оптимальной минерализации или с более низкой минерализацией, но при наличии в них биологически активных компонентов – брома, йода, сероводорода, уголекислоты, радона от 185 Бк/дм³, (5 нКю/дм³).

*Оценка качества природных вод с целью использования их как **минеральных***
Дифференциальный метод

Таблица 1. Качество минеральных вод по величине минерализации

Наименование воды	Значение минерализации, г/л
Минерально-столовая	< 1
Лечебно-столовая	2–8
Питьевые лечебные	8–12
Слабоминерализованная	< 1
Маломинерализованная	1–5
Среднеминерализованная	5–15
Высокоминерализованная	15–20
Рассолы	> 35

Оценка качества природных вод с целью использования их как минеральных
Дифференциальный метод

Таблица 2. Качество минеральных вод по величине показателя состава
(БАК)

Наименование воды	Наименование компонента	Значение, мг/л, не менее
Углекислые	CO_2	500
Железистые	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	10
Мышьяковистые	As^{3+}	0,7
Борная	HBO_3^-	35
Кремнистая	H_2SiO_3	50
Йодная	I^-	5
Бромная	Br^-	25
Вода, содержащая органические вещества	$\text{C}_{\text{орг}}$	5
Радоновые	Rh	100нКю/л; 3700Бк/л

Предельно допустимые концентрации (ПДК) компонентов минеральных
вод

Наименование компонентов	ПДК, мг/дм ³ , не более
Нитраты (по NO ₃)	50
Нитриты (по NO ₂)	2
Свинец (Pb)	

Оценка качества **питьевых вод** на предмет их физиологической полноценности для здоровья населения **по коэффициенту оптимальности (K_{opt})**

Показатели	Нижний и верхний уровень оптимальности (C_i опт), мг/дм ³
Минерализация	0,3–0,5
Жёсткость	3,5–6,5
Кальций	64–81
Магний	21–27
Гидрокарбонаты	360–380
Сульфаты	8–12,2
Хлориды	1,5–3,0

$$K_{onm} = (\sum \frac{M}{M_{onm}} + \frac{Ca}{Ca_{onm}} + \frac{Mg}{Mg_{onm}} + \frac{SO_4}{SO_{4,onm}} + \frac{Cl}{Cl_{onm}} + \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{K}_{onm}} + \frac{F}{F_{onm}}) : 7$$

Качество воды	Норматив K_{ont}
1 категория – воды не оптимальные	$0,4 > K_{ont} < 30$
2 категория – воды мало оптимальные	$0,4 < K_{ont} < 0,8$ $1,2 < K_{ont} < 30$
3 категория – воды оптимальные	$0,8 < K_{ont} < 1,2$

Категории водопользования по СанПиН 2.1.5.980-00
«Гигиенические требования к охране **поверхностных** вод»

К первой категории водопользования относится использование водных объектов или их участков в качестве *источника питьевого и хозяйственно-бытового водопользования, а также для снабжения предприятий пищевой промышленности.*

Ко второй категории водопользования относится использование водных объектов или их участков *для рекреационного водопользования.* Требования к качеству воды, установленные для второй категории водопользования, распространяются также на *все участки водных объектов, находящиеся в черте населённых мест.*

Определение понятия «качества воды первой и второй категории водопользования» по СанПиН 2.1.5.980-00

Качество воды водных объектов должно соответствовать требованиям, указанным в приложении 1. Содержание химических веществ не должно превышать предельно допустимые концентрации и ориентировочные допустимые уровни веществ в воде водных объектов, утверждённые в установленном порядке (ГН 2.1.5.689-98, ГН 2.1.5.690-98).

Полный перечень нормативов химических веществ представлен в ГН. 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

ГН. 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Настоящие нормативы распространяются на воду подземных и поверхностных водоисточников, используемых для *централизованного и нецентрализованного водоснабжения населения, для рекреационного и культурно-бытового водопользования, а также питьевую воду и воду в системах горячего водоснабжения.*

**Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов
в контрольных створах питьевого, хозяйственно-бытового и
рекреационного водопользования
(Сан ПиН 2.1.5. 980-00. Приложение 1, обязательное)**

№	Показа тели	1-ая категория водопользования	2-ая категория водопользования
1	2	3	4
1	Взвешенные вещества	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) <i>не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на</i> 0,25 мг/л 0,75 мг/л Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/л природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5%. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоёмов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются.	

1	2	3	4
2	Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться плёнки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей.	
3	Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике <i>20 см</i> <i>10 см</i>	
4	Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые: <i>Непосредственно или при ! Непосредственно последующем хлорировании или других способах обработки.</i>	
5	Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более, чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.	

1	2	3	4
6	(рН)	Не должен выходить за пределы 6,5-8,5	
7	Минерализация воды	Не более 1000 мг/л, в т. ч.: хлоридов – 305мг/л; сульфатов – 500 мг/л	
8	Растворённый кислород	Не должен быть менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной до 12 часов дня.	
9	БПК ₅	Не должно превышать при температуре 20 0С <i>2 мг O₂ /л</i> <i>4 мг O₂ /л</i>	
10	ХПК	Не должно превышать: <i>15 мг O₂ /л</i> <i>30 мг O₂ /л</i>	
11	Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ	
12	Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций	

1	2	3	4
13	Жизнеспособные яйца гельминтов	Не должны содержаться в 25 л воды	
14	Термо- толерантные колиформные бактерии	Не более 100 КОЕ /100 мл	! Не более 100 КОЕ /100 мл
15	Общие колиформные бактерии	Не более 1000 КОЕ /100 мл	500 КОЕ /100 мл
16	Колифаги	Не более 10 БОЕ /100 мл	10 БОЕ /100 мл
17	Суммарная объёмная активность радионукли- дов	$\Sigma (A_i / Y_{bi}) \leq 1$	

Таблица. Американская классификация оросительных вод

Отрицательное воздействие воды	Степень воздействия		
	Отсут-ие осложнений	Ослож-я	Серьезн. проблема
1	2	3	4
I. Засоление			
1. Общее количество растворенных солей в оросительной воде, мг/л	менее 480	480–1920	более 1920
2. Понижение водопроницаемости почвы в результате: а) низкого содержания солей, мг/л, в том числе кальция, мг/л б) ^x SAR	более 320 более 20 менее 6	320-0 менее 20 менее 6 – 9	более 9

Американская классификация оросительных вод. Продолжение таблицы.

1	2	3	4
II. Токсическое воздействие от поглощения воды корневой системой			
1. Натрий, ^x SAR	менее 3	3–9	более 9
2. Хлор			
А) мг-экв/л	менее 4	4 –10	более 10
Б) мг/л	менее 140	140–350	более 350
3. Бор, мг/л	менее 0,5	0,5–2,0	более 2–10

Американская классификация оросительных вод. Продолжение таблицы .

III. Токсичность от поглощения воды листьями при поливе дождеванием			
1. Натрий	Отсутствие осложнений	осложнения	Серёзная проблема
а) мг-ЭКВ/л	менее 3	более 3	-
б) мг/л	менее 70	более 70	-
2. Хлор			
а) мг-ЭКВ/л	менее 3	более 3	-
б) мг/л	менее 100	более 100	-

Американская классификация оросительных вод. Продолжение таблицы.

IV. Другие проблемы			
1.Повышенное содержание питательных веществ в воде:	Отсутствие осложнений	осложнения	Серьёзная проблема
а) нитрат-азот, мг/л	менее 5	5-30	более 30
б) бикарбонат, мг/л	менее 90	90-520	более 520
2. Величина рН	Нормальные величины рН	Пределы рН	Менее и более пределов рН

*Американская классификация оросительных вод.
Критерий качества воды для орошения SAR*

- Здесь SAR – натриево-адсорбционное отношение, характеризующее относительную активность ионов натрия. Оно определяется по формуле

$$SAR = Na (1 + (8,4 - pH_c)) / \quad (5.1),$$

где Na , Ca , Mg – концентрация катионов, мг-экв/л;

pH_c – расчетная величина, учитывающая суммы $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ и $(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$ и определяемая по формуле

$$pH_c = (PK_2 - PK_0) + P(Ca + Mg) + P AI_{\kappa} \quad (5.2).$$

Американская классификация оросительных вод

Абсолютные величины слагаемых уравнения (5.2) берутся из таблицы:

- величина $(PK_2 - PK_0)$ по сумме $(Ca^{2+} + Na^+ + Mg^{2+})$,
- величина $P(Ca + Mg)$ по сумме $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$
- величина $P Al_K$ по сумме $(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$.

$Ca + Na + Mg,$ мг-экв/л	$PK_2 - PK_0$	$Ca + Mg,$ мг-экв/л	$P(Ca + Mg)$	$CO_3 + HCO_3,$ мг-экв/л	$P Al_K$
1	2	3	4	5	6
0,5	2,11	0,05	4,60	0,05	4,3
0,7	2,12	0,10	4,30	0,10	4,0

Российская оценка качества оросительных вод.
Критерий качества – ирригационный коэффициент (A)

В российской практике широко используется эмпирический ирригационный коэффициент (A), определяемый по следующим формулам в зависимости от соотношения солей:

- 1. при $rNa^+ < rCl^-$, когда весь натрий соединен с хлором,

$$A = 288 / 5rCl \quad (5.3);$$

- 2. при $rCl^- < rNa^+ < (rCl^- + rSO_4^{2-})$, когда натрий соединен с хлором и сульфат-ионом,

$$A = 288 / (rNa + 4rCl) \quad (5.4);$$

- 3. при $rNa^+ > (rCl^- + rSO_4^{2-})$, когда в растворе появляются гидрокарбонаты и карбонаты натрия,

$$A = 288 / (10rNa - 5rCl - 9 rSO_4) \quad (5.5),$$

где A – ирригационный коэффициент;

288 – безразмерный эмпирический коэффициент;

rNa^+ , rCl^- и rSO_4^{2-} – концентрация натрия, хлора и сульфат-иона, мг-экв/л.

Российская оценка качества оросительных вод

Ирригац-ный коэффициент	Качество воды	Степень пригодности воды	Предупредительные меры
Более 18	Хорошее	Пригодная для орошения	Не нужны
18–6	Удовлетвор ительное	Пригодная для орошения с предва- рительной обработ- кой воды или почвы (гипсов-е, подкис-ие)	Необходимы меры для устранения образования в почвах щелочей (гипсование и др.)
6–1,2	Неудовлетв орительное	Можно применять для орошения лишь после глубокой предварительной обработки воды	Искусственный дренаж профилактика почв
Менее 1,2	Плохое	Не пригодная для орошения	

Оценка качества воды для целей рыборазведения

Рыбохозяйственные водные объекты *по качеству* могут относиться к одной из трёх категорий:

11) к высшей категории относят места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных видов рыб и других промысловых водных организмов, а также охранные зоны хозяйств любого типа для разведения и выращивания рыб, других водных животных и растений;

22) к первой категории относят водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода;

33) ко второй категории относят водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

Оценка качества воды для целей рыбохозяйственного назначения

Критерием качества воды является набор из 47 показателей качества природной воды с их нормативными значениями массовой концентрации. «Перечень ПДК И ОБУВ (ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов», 1995.

Качество воды определяется словами **«пригодная для рыбохозяйственных целей», «не пригодная для рыбохозяйственных целей».**

Проводится контроль качества исследуемой воды для рыбохозяйственных целей. Сравниваются показатели качества исследуемой воды (C_i) с нормативами вод рыбохозяйственного назначения ($ПДК_i$), рассчитывается величина $C_i / ПДК_i$.

Определение $ПДК_p$

Предельно допустимая концентрация вещества в воде для **рыбохозяйственного водопользования ($ПДК_p$)** – это максимальная концентрация, при которой вещества не оказывают прямо или косвенно вредного воздействия на рыб или водные организмы, служащих кормовой базой для рыб.

$ПДК_p$ устанавливается с учётом пяти показателей вредности:

1. органолептического;
2. санитарного;
3. санитарно-токсикологического;
4. токсикологического;
5. рыбохозяйственного.

Определения показателей вредности для вод рыбозаведения

Органолептический показатель вредности характеризует способность вещества *изменять органолептические свойства воды.*

Общесанитарный показатель определяет *влияние вещества на процессы естественного самоочищения вод* за счёт биохимических и химических реакций с участием естественной микрофлоры.

Санитарно-токсикологический показатель характеризует *вредное воздействие на организм человека.*

Токсикологический показатель показывает *токсичность вещества для живых организмов, населяющих водный объект.*

Рыбохозяйственный показатель вредности определяет *порчу качеств промысловых рыб.*

Наименьшая из безвредных концентраций по пяти показателям вредности принимается за $ПДК_p$ с указанием лимитирующего показателя вредности.

Нормативы компонентов в рыбохозяйственных водоёмах по «Перечню» в сравнении с мировыми данными

Компонент, мг/л	<i>ПДК_р</i>	Подземные воды зоны гипергенеза	Речные воды 1963, 1969 г.	Речные воды 1979, 1982 г.	Морская вода, 1969 г.
1	2	3	4	5	6
Cl-ион	300, (11900)	59,7	7,8	5,57	19400
Al	0,04	0,226	0,4	0,05	0,001
NH ₄ ⁺	0,5	0,59	нет данных	0,02	нет данных
Ba ²⁺	0,74; (2,0)	0,0183	0,01	нет данных	0,021
Ca ²⁺	180, (610)	39,2	15	13,4	411
Be	0,0003	0,00019	-	-	0,0000006
B – ионы	0,5	0,0779	0,01	-	4,450

Содержание кислорода в воде для рыборазведения

Растворимость, а следовательно, и *содержание кислорода зависит от температуры воды.*

При 0 °С нормальное содержание кислорода в пресной воде составляет 14,7мгО₂/дм³ (100 %-ное насыщение). С повышением температуры на 1 °С содержание кислорода снижается примерно на 0,3 мг/дм³. Следовательно, зная температуру воды, можно получить приближённое представление о содержании в ней кислорода по формуле:

$$O_2, \text{ в} = 14,7 - 0,3 T ,$$

где O₂, в – содержание кислорода в водоёме при данной температуре, мг/дм³; 14,7 – содержание кислорода при 0 °С; *T* – температура воды, °С.

Содержание кислорода в воде, вызывающее угнетение дыхания и
гибель рыб (по Т.И. Привольневу)

Рыбы	Содержание кислорода, мгО ₂ /дм ³	
	Угнетение дыхания	Гибель
Стерлядь	7–7,5	3,5
Нельма	6–7	4-4,5
Форель радужная	2,4–3,7	0,3–1,2
Щука	2,0–3,0	0,3–0,6
Карась	1,5–2,0	0,2–0,3
Белый амур	0,59–0,74	0,44
Пёстрый толстолобик	0,56	0,33

Требования к качеству воды, поступающей в карповые и форелевые хозяйства (ОСТ 75–282–83)

Показатель	Хозяйства	
	карповые	форелевые
1	2	3
Температура, °С	Источник воды не должен иметь отклонения более 5°С по отношению к температуре пруда. Максимальная температура не должна превышать 28 °С.	Также отклонения не более 5 °С. Максимальная температура не должна превышать 20 °С.
Цвет, запах, вкус	Вода должна быть прозрачной, без постороннего запаха, вкуса и не менять качества мяса рыбы	Вода не должна иметь постороннего цвета, запаха, вкуса и давать их мясу рыб

Продолжение таблицы

1	2	3
Цветность, градусы	меньше 50	меньше 30
Взвеси веществ, г/м3	До 25	До 10
рН, ед. рН	6,5-8,5	7,0-8,0
Растворенный кислород, г/м3	Не менее 5	Не менее 9
Железо общее, гFe/м3	До 2,0	До 0,5
Минерализация, мг/дм3	1000	1000

Геохимические показатели, используемые при описании экологического состояния среды

Кларк (К) – среднее содержание химического элемента в какой-либо космической или геохимической системе (А.Е.Ферсман, 1934).

Местный кларк (С) – среднее содержание химического элемента в данном объекте.

Фон – среднее содержание химического элемента в пределах однородного участка, в удалении от явных аномалий (А.П. Соколов, 1985).

Предельно допустимые концентрации (ПДК) – максимальная концентрация поллютанта в природном теле за определённый период осреднения наблюдений (сутки, месяц, год), *не оказывающая при принятой по результатам экспериментальных наблюдений вероятности проявления какого-либо вредного воздействия на живой организм* (Ю.Е. Сает, 1990).

Определение ПДК компонентов питьевых вод

- $ПДК_n$ – (предельно-допустимые концентрации вредных веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования) это максимальные концентрации, при которых вещество не оказывает прямого или опосредованного воздействия *на состояние здоровья населения* при воздействии на организм в течение всей жизни и не ухудшает гигиенические условия водопользования.

Определение ПДК компонентов вод для рыборазведения

- $ПДК_r$ — максимальная концентрация, при которой вещества не оказывают прямо или косвенно вредного воздействия *на рыб или водные организмы, служащих кормовой базой для рыб.*

Определение норматива ОБУВ

- Для отдельных веществ допускается использование *ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ)*, сроки действия которых устанавливаются постановлением главного государственного санитарного врача Российской Федерации.
- **ОБУВ** – временный рыбохозяйственный норматив, необходимый для решения вопроса о допустимости использования того или иного препарата в народном хозяйстве и установления допустимого уровня содержания его в воде рыбохозяйственного водоема.

Методики оценки качества вод для описания экологической обстановки. Критерии качества вод.

- **Коэффициент концентрации:** $K_c = C_i / C_{\text{фона}};$
- **Кларк концентрации** - отношение содержания химического элемента в конкретном природном объекте к кларку литосферы (В.И. Вернадский, 1954):
 $K_k = C_i / K;$
- **Коэффициент концентрации по ПДК:**
 $K_{\text{ПДК, пит}} = C_i / \text{ПДК}_{\text{пит}}, \quad K_{\text{ПДК, р}} = C_i / \text{ПДК}_{\text{р}}, \quad K_{\text{ПДК, лпв}} = C_i / \text{ПДК}_{\text{лпв}};$
- **Суммарный показатель загрязнения (концентрации)** - сумма превышения
- коэффициентов концентрации над единичным (фоновым) уровнем:
 $\Sigma K_c = \Sigma (C_i / C_{\text{фона}});$
- **Показатель природной экологической опасности (ПЭО)** –сумма кларков концентраций на фоновых участках (ΣK_k) (А.И.Морозова, 1997);
- **Коэффициентом интенсивности загрязнения ($K_{\text{ин.}}$)**– превышение содержаний **токсичных** элементов над их природным уровнем
 $K_{\text{ин.}} = (C_i / C_{\text{прир, токсич.}})$
- и др.

Оценка степени химического загрязнения поверхностных вод

Суммарный показатель химического загрязнения вод рассчитывается *по десяти соединениям, максимально превышающим ПДКр*, с использованием формулы суммирования воздействий:

$$\text{ПХЗ-10} = (C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_{10}/\text{ПДК}_{10}),$$

где ПДК_i – *рыбохозяйственные нормативы*;

C_i – концентрация химических веществ в воде.

Для установления ПХЗ-10 рекомендуется проводить анализ воды *по максимально возможному числу показателей*.

Определение ПХЗ-10 проводится отдельно для химических веществ 1-го и 2-го классов опасности и для химических веществ 3-го и 4-го классов опасности.

Классы опасности химических веществ

Класс опасности	Наименование опасности веществ
1	Чрезвычайно опасные вещества (Hg, Р _{элементарный} , Be, Tl, γ-ГХЦГ – линдан, бенз(<i>a</i>)пирен)
2	Высоко опасные вещества (Al, Ba, B, Br, Co, Mo, Sb, F, As, Cd, Pb, Se, Bi, Te, W, Li, Sr, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , F ⁻ , CN ⁻ , ДДТ (сумма изомеров) и т.д.)
3	Опасные вещества (Fe, V, Mn, Zn, Cr ⁶⁺ , Ni, Cu, NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , H ₂ S, NH ₄ ⁺ по (N), хлорит-ион, хлорат-ион)
4	Мало опасные вещества (SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻)

Критерии оценки степени химического загрязнения поверхностных вод

Показатели	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительное
ПХЗ-10 1–2 кл. оп.	Более 80	35-80	1
ПХЗ-10 3–4 кл. оп.	Более 500	500	10

Критерии качества воды и их величины по классификации качества вод организацией СЭВ

Класс качества	Нефте прод., мг/л	Фенол, мг/л	БПК, мг/л	Fe, мг/л	(N) NH ₄ , мг/л	(N) NO ₃ , мг/л
1	2	3	4	5	6	7
1А «очень чистые»	0	0,002	2	0,5	0,1	1
2 «чистые»	0,05	0,05	4	1,0	0,2	3
3 «весьма незначительно загрязнённые»	0,1	0,1	8	1,0	0,5	5
4 «незначительно загрязнённые»	0,3	0,5	15	5	2	10
5 «сильно загрязнённые»	1,0	1,0	25	10	5	20
6 «очень сильно загрязнённые»	> 1,0	> 1,0	> 25	> 10	> 5	>20

Критерии качества воды и их величины по классификации
качества вод организацией СЭВ (продолжение таблицы)

Класс качества	(N) NO ₂ мг/л	Фосфаты, мг/л	O ₂ , мг /л	ХПК мг/л	Cu, мг/л	Zn, мг/л
1	8	9	10	11	12	13
1А «очень чистые»	0,002	0,025	8	15	0,02	-
2 «чистые»	0,005	0,2	6	25	0,05	0,001
3 «весьма незначительно загрязнённые»	0,020	0,5	5	50	0,1	0,002
4 «незначительно загрязнённые»	0,050	1,0	3	70	0,2	0,005
5 «сильно загрязнённые»	0,100	2,0	2	100	0,5	0,010
6 «очень сильно загрязнённые»	> 0,10	> 2,0	< 2	> 100	> 0,50	>0,01

Качество поверхностных вод питьевого назначения в связи с
загрязнением природных сред и экологической обстановкой
(Методика ИМГРЭ, г. Москва)

Экологическая обстановка	Уровень загрязнения природных сред	Уровень загрязнения воды	Токсичные элементы			
			К _с	К _{пдк}		
				Класс опасности		
				1	2	3,4
Относительно удовлетворительная	Допусти- мый	Минималь- ный	< 4	< 1	< 1	< 1
Напряжённая	Умеренно опасный	Низкий	4-8	1-1,5	1-2,5	1-5
Критическая	Опасный	Средний	8-16	1,5-2	2,5-5	5-10
Чрезвычайная	Высоко опасный	Высокий	16-32	2-3	5-10	10-15
Экологического бедствия	Чрезвычайн о опасный	Очень высокий	> 32	> 3	> 10	> 15

Российская классификация качества вод по интегральному показателю – гидрохимическому индексу загрязнённости вод (ИЗВ)

Критерием качества вод является величина индекса загрязнённости вод (ИЗВ), которая рассчитывается по формуле

$$ИЗВ = \frac{\sum_{i=1}^n C_i / ПДК_i}{n}$$

где *ИЗВ* – индекс загрязнённости вод, безразмерный параметр; C_i – концентрация компонента (в ряде случаев – значение физико-химического параметра); n – число показателей, используемых для расчёта индекса, $n = 6$; $ПДК_i$ – установленная величина норматива для соответствующего типа водного объекта.

Классификация качества воды в зависимости от значения индекса загрязнения

Качество вод	Значения <i>ИЗВ</i>	Классы качества вод
Очень чистые	До 0,2	I
Чистые	0,2 – < 1,0	II
Умеренно загрязнённые	1,0 – < 2,0	III
Загрязнённые	2,0 – < 4,0	IV
Грязные	4,0 – < 6,0	V
Очень грязные	6,0 – < 10,0	VI
Чрезвычайно грязные	≥ 10	VII

Условия использования методики оценки качества вод по *ИЗВ*

ИЗВ установлен Госкомгидрометом СССР [Временные методические..., 1986 г.] и относится к категории показателей, наиболее часто используемых для оценки качества водных объектов. Этот индекс является типичным аддитивным коэффициентом и представляет собой **среднюю долю превышения *ПДК* по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов.**

ИЗВ, как правило, рассчитывают по шести показателям, которые можно считать гидрохимическими; часть из них (**концентрация растворённого кислорода, водородный показатель рН, биологическое потребление кислорода *БПК*₅**) является **обязательной**. При расчёте *ИЗВ* для составляющих $C_i/ПДК_i$ по неоднозначно нормируемым компонентам (*БПК*₅, растворённый кислород, рН) устанавливаются специальные значения нормативов *ПДК* (табл. 1) и значения слагаемых $C_i/ПДК_i$ (табл. 2–3).

Нормативные величины $БПК_5$ для расчёта $ИЗВ$

Показатель $БПК_5$, мг O_2 /дм ³	Значение норматива $ПДК$
Менее 3	3
От 3 – до 15	2
свыше 15	1

Значение слагаемого $C_i/ПДК_i$ растворённого O_2 для расчёта $ИЗВ$

Концентрация O_2 , мг $O_2/дм^3$	Значение слагаемого $C_i/ПДК_i$
Более или равно 6	6
Менее 6 до 5	12
Менее 5 до 4	20
Менее 4 до 3	30
Менее 3 до 2	40
Менее 2 до 1	50
Менее 1	60

Значение слагаемого $C_{i,pH}/ПДК_{i,pH}$ для расчёта *ИЗВ*

Значения <i>pH</i> ниже диапазона нормы ($< 6,5$)	Значения <i>pH</i> выше диапазона нормы ($> 8,5$)	Значение слагаемого $C_{i,pH}/ПДК_{i,pH}$
Менее 6,5 до 6	Свыше 8,5 до 9	2
Менее 5 до 3	Свыше 9 до 9,5	5
Менее 3	Свыше 9,5	20

Методика НИИ гигиены Ф.Ф.Эрисмана (Новиков Ю.И.)

Критериям качества воды являются четыре критерия загрязнения природной воды с их нормативными значениями: W_c , W_{ϕ} , W_{cm} , W_{ε} . Каждый критерий сформирован определённой группой веществ и специфических показателей, табл. 4.

Критерий санитарного режима (W_c), учитывает растворённый кислород, БПК₅, ХПК и специфические загрязнения, нормируемые по влиянию на санитарный режим.

Критерий органолептических свойств (W_{ϕ}) учитывает запах, взвешенные вещества, ХПК и специфические загрязнения, нормируемые по органолептическому признаку вредности.

Критерий санитарно-токсикологического загрязнения (W_{cm}) учитывает ХПК и специфические загрязнения, нормируемые по санитарно-токсикологическому признаку.

Эпидемиологический критерий (W_{ε}) учитывает опасность микробного загрязнения воды.

Формула псевдокомпенсации (расчета комплексных показателей загрязнения вод по методике Новикова Ю.И.)

Одни и те же показатели могут входить одновременно в несколько групп. Комплексная оценка вычисляется отдельно для **каждого лимитирующего признака вредности (ЛПВ)** W_c , W_{ϕ} , W_{cm} , W_z по традиционной формуле «псевдокомпенсации»:

$$W = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - 1)}{n} \qquad \delta_i = \frac{C_i}{N_i}$$

где W – комплексная оценка уровня загрязнения воды по ЛПВ;

n – число показателей, используемых в расчёте;

N_i – нормативное значение единичного показателя (чаще всего $N_i = ПДК_i$),

C_i – фактическое значение показателя в исследуемой воде.

Степень загрязнения водоёмов в зависимости от значений комплексных показателей W , рассчитанных по лимитирующим признакам вредности

Уровень загрязнения	Критерий загрязнения по величинам комплексных оценок			
	Органолептический (W_{ϕ})	Санитарный режим (W_c)	Санитарно-токсикологический (W_{ct})	Эпидемиологический (W_z)
Допустимый	1	1	1	1
Умеренный	1,0–1,5	1,0–3,0	1,0–3,0	1,0–10,0
Высокий	1,5–2,0	3,0–6,0	3,0–10,0	10,0–100,0
Чрезвычайно высокий	> 2,0	> 6,0	> 10	> 100,0

По особым формулам рассчитывается вклады в величину W от содержаний *растворенного кислорода и взвешенных веществ*.

Растворённый кислород нормируется по нижнему уровню значения, т.е. его содержание **должно быть не меньше 4 мг O_2 /дм³**, поэтому при $C_i < 4$ для растворённого кислорода принято использовать формулу

$$\delta_i = 1 + 10(N_i - C_i) / N_i$$

Для *взвешенных веществ* также предложены специальные формулы, учитывающие требования «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами»

Экотоксикологический критерий по Т.И. Моисеенко

Критерием качества воды является общий индекс загрязнения $X_{\text{сум}}$, который определяется как сумма трёх составляющих компонентов-загрязнителей по формуле: $X_{\text{сум}} = X_{\text{токс}} + X_{\text{ф-х}} + X_{\text{эфт..}}$

$X_{\text{токс}}$ – степень загрязнения токсическими веществами оценивается традиционной суммой превышений концентрации соответствующих элементов (C_i) к их предельно допустимым концентрациям ($\text{ПДК}_{p,i}$):

$$X_{\text{токс}} = \sum C_i / \text{ПДК}_{p,i}$$

Продолжение

$X_{\phi-x}$ – степень загрязнения водоёма сульфат-ионами, взвешенными веществами и общей минерализацией, по которым кратность превышения концентраций относится не к $ПДК_{p, r}$ а к *максимальным фоновым значениям* ($C_{\text{фон. max } i}$):

$$X_{\phi-x} = \sum (C_i / C_{\text{фон. max } i} - 1)$$

$X_{\text{эфт}}$ – специальный показатель эвтрофикации рассчитывается по формуле:

$$X_{\text{эвт}} = K(C_{\text{фос}} / C_{\text{фон. фос}} - 1)$$

где $C_{\text{фос}}$ и $C_{\text{фон. фос}}$ – анализируемые и фоновые значения концентраций минерального **фосфора**, K – дополнительный коэффициент, зависящий от состояния водоёма (для мезотрофных водоёмов $K = 2$, а для эвтрофных водоёмов $K = 3$).

Параметры экологической системы, зависящие от $X_{\text{сум}}$

Предлагаемая схема расчетов ориентирована таким образом, что суммарный индекс качества вод для "абсолютно" чистых озер будет иметь нулевое значение и повышаться при любом виде антропогенного воздействия.

Наиболее приемлемые, доступные и информативные показатели качества в практике мониторинга природных водоемов следующие:

$Y_{\text{пат}}$ — % рыб в стаде с патологическими отклонениями;

$Y_{\text{ин}}$ — средний балл тяжести заболевания (интенсивность проявления патологий) в локальных зонах;

$Y_{\text{кр, Нб}}$ — % рыб с концентрацией гемоглобина в крови менее 8 г%.

продолжение

Величины Y_{nat} , $Y_{ин}$, $Y_{кр, Нб}$ – экотоксикологические критерии качества водоёмов для обитания рыб.

Качество водоёмов представлено доза-эффектными зависимостями $Y_{nat} - X_{сум}$, $Y_{ин} - X_{сум}$, $Y_{кр, Нб} - X_{сум}$.

Наиболее достоверная зависимость описывается логарифмической кривой за исключением рыб с концентрацией гемоглобина ниже критических значений.

Доза-эффектная зависимость $Y_{nat} - X_{сум}$ описывается ур:

$$y = 32,935 \ln (X_{сум}) - 66,895 \quad .$$

Доза-эффектная зависимость $Y_{ин} - X_{сум}$ описывается ур.:

$$y = 1,3793 \ln (X_{сум}) - 2,3969 \quad .$$

Доза-эффектная зависимость $Y_{кр, Нб} - X_{сум}$ описывается ур.:

$$y = 0,4226 X_{сум} - 1,4556 \quad .$$

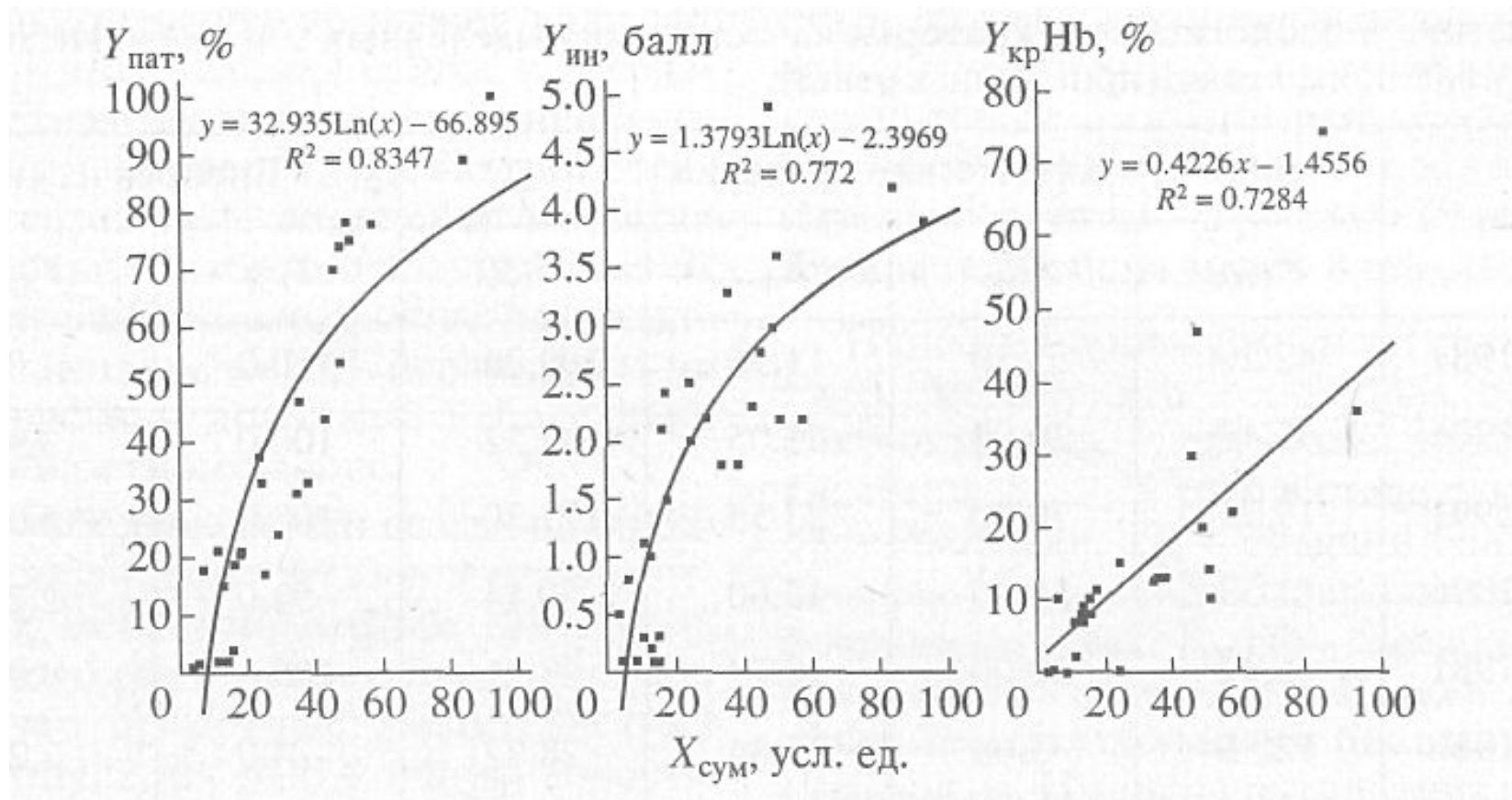


Рис. Зависимости между суммарным показателем качества вод ($X_{\text{сум}}, \text{ усл. ед.}$) и экотоксикологическими критериями

Российская классификация качества вод по веществам с одинаковым лимитирующим признаком вредности (ЛПВ)

Критерием качества вод является величина

$$K_p = \sum_i \frac{C_i}{ПДК_i}$$

где K_p — безразмерный коэффициент суммы отношений концентраций компонентов, с одинаковыми лимитирующими признаками вредности (C_i), к их $ПДК_i$.

Качество воды оценивается степенью загрязнения в соответствии с величиной K_p .

Российская классификация качества вод по веществам с одинаковым лимитирующим признаком вредности (ЛПВ)

Степень загрязнения	K_p
Не опасное загрязнение	< 1
Потенциально опасное загрязнение	$1 - < 10$
Опасное загрязнение	$10 - 100$
Особо опасное загрязнение	> 100

Классификация качества вод по интегральному показателю — гидробиологическому индексу сапробности (S)

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 не менее 30***.

Критерием качества вод является величина индекса сапробности вод

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

где S_i — значение сапробности гидробионта, которое задаётся специальными таблицами; h_i — относительная встречаемость микроорганизмов (в поле зрения микроскопа); N — число выбранных индикаторных организмов.

Классификация качества вод в зависимости от индекса сапробности

Уровень загрязнённости	Зоны	Индексы сапробности <i>S</i>	Класс качества воды
Очень чистые	Ксено-сапробная	До 0,50	1
Чистые	Олиго-сапробная	0,5–1,5	2
Умеренно загрязнённые	<i>a</i> -мезосапробная	1,51–2,50	3
Тяжело загрязнённые	<i>b</i> -мезосапробная	2,51–3,50	4
Очень тяжело загрязнённые	Поли-сапробная	3,51–4,00	5
Очень грязные	Поли-сапробная	>4,00	6

Характеристика качества вод по индексу сапробности

Зона сильнейшего загрязнения (полисапробная). В этой зоне протекают гнилостные процессы анаэробного типа, так как здесь вода богата остатками погибших растений и животных — белками, жирами, клетчаткой и продуктами их разложения. Здесь развиваются организмы стойкие к повышенным дозам органического вещества, сероводорода, углекислоты и метана. Число бактерий до миллиона в 1 мл воды.

Характеристика качества вод по индексу сапробности (продолжение)

Зона средней загрязнённости (мезосапробная). В этой зоне наблюдается минерализация органического вещества с преобладанием окислительных процессов. Азот аммонийных солей переводится микробами в нитриты, сероводород – в соли серной кислоты. В этой зоне органическое вещество минерализуется до CO_2 . Мезосапробная зона делится на **α - и β -мезосапробные зоны**. Эти зоны отличаются интенсивностью окисления. Наиболее интенсивно процессы минерализации протекают в **β -мезосапробной зоне**, где полностью заканчивается минерализация органического вещества. Число бактерий в этой зоне до 100 тыс. в 1 мл воды.

Характеристика качества вод по индексу сапробности (продолжение)

Зона чистой воды (олигосапробная). В этой зоне отсутствуют органические вещества. Здесь заканчиваются процессы окисления нитритов в нитраты. В воде этой зоны содержится от 1000 до 10 000 бактерий в 1 мл воды. Типичными представителями этой зоны являются железобактерии, которые окисляют закисное железо в окисное.

Методика оценки качества воды по микробиологическим показателям

Критерием качества воды является комплекс из 3-х видов микробиологических показателей: общее число бактерий, число сапрофитных бактерий и отношения общего числа бактерий к числу сапрофитных бактерий.

Качество воды оценивается **6-ю классами (I-VI)** в соответствии с нормативами критериев по микробиологическим показателям, с присвоением им словесными **уровнями загрязнённости**: очень чистые, чистые, умеренно загрязнённые, загрязнённые, грязные, очень грязные.

За результирующий уровень загрязнённости и класс качества воды принимается уровень и класс *по самой большой величине* 3-х критериев микробиологических показателей исследуемой воды.

Методика оценки качества воды по микробиологическим показателям

Уровень загрязнённости и класс качества вод	Общее число бактерий, 10^6 клеток/см ³	Число сапрофитовых бактерий, 1000 клеток/см ³	Отношение общего числа бактерий к чис- лу сапрофито- вых бактерий
	Микробиологические показатели		
Очень чистые, I	<0,5	<0,5	<1000
Чистые, II	0,5–1	0,5–5,0	>1000
Умеренно загрязнённые, III	1,1–3	5,1–10,0	1000–100
Загрязнённые IV	3,1–5	10,1–50,0	<100
Грязные, V	5,1–10	10,1–100	<100
Очень грязные, VI	>10,0	>100,0	<100

Гигиеническая классификация водных объектов по степени
загрязнения. (Сан ПиН № 4630-88 «Охрана поверхностных вод от
загрязнения»)

Оценочные показатели для водных объектов I и II категории							
Органолептический		Токсикологический	Санитарный режим			Индекс загряз- нения	
За-пах, привкус (баллы)	$ПДК_{орг}$, степень превыше- ния	$ПДК_{токс}$, степень превышения	$БПК_{20}$, мг O_2 /дм ³				число лактозополо- жительных кишечных палочек в 1 дм ³ *
			I	II	O_2		
2	1	1	3	6	4	$<10^4$	0
3	4	3	6	8	3	$10^4 - 10^5$	1
4	8	10	8	10	2	$>10^5 - 10^6$	2
>4	>8	100	>8	>10	1	$>10^6$	3

Гигиеническая классификация водных объектов по степени
загрязнения (продолжение)

Степень загрязнения	Индекс загрязнения
Допустимая	0
Умеренная	1
Высокая	2
Чрезвычайно высокая	3

Методика классификации качества вод по В.П. Емельяновой

Критериями качества являются три признака.

1. *Признак повторяемости, %, случаев загрязнения (фактор времени).*
2. *Кратность превышения реальных концентраций загрязняющих веществ нормативов ПДК.*
3. *Лимитирующий показатель загрязнения (ЛПЗ).*

Проводится систематизация аналитического материала по **признакам повторяемости случаев загрязнения, кратности превышения нормативов, а также с учётом комплексного характера загрязнённости** в виде *трёхступенчатой классификации*, изложенной ниже.

Методика классификации качества вод по В.П. Емельяновой

Первая ступень классификации основана на установлении меры устойчивости процесса загрязнения. При анализе процесса загрязнения по признаку **повторяемости** (фактор времени) *выделяются как качественно* различимые следующие характеристики: загрязнение может быть *случайным*, т. е. наблюдаться в каких-то единичных пробах; может наблюдаться *периодически*; может не являться подавляющим, но в то же время явно имеет *неслучайный* характер; загрязнение может быть *устойчивым*, т. е. являться *характерным* (табл.).

Классификация степени загрязнения воды водотока по признаку
встречаемости случаев загрязнения

Повторя- емость, %	Характеристи- ка загряз- нения воды водотоков	Оценочный балл ¹⁾	
		выраженный условно	абсолютное значение
< 10	Случайное	<i>a</i>	1
≥10 – < 30	Периоди- ческое	<i>b</i>	5
≥30 – < 50	Неслучай- ное	<i>c</i>	7
≥ 50	Характер- ное	<i>d</i>	9

Методика классификации качества вод по В.П. Емельяновой

Вторая ступень классификации позволяет систематизировать данные *по реальным концентрациям загрязняющих веществ.*

При анализе загрязнённости воды водотоков *по кратности превышения нормативов отдельным загрязняющим веществом* также выделены четыре **качественно различные ступени уровня загрязнённости:**

- *низкого,*
- *среднего,*
- *высокого и*

очень высокого уровней, (табл.)

Классификация воды водотоков по уровню загрязнённости

Кратность превышения <i>ПДК</i>	Уровень загрязнён- ности воды	Оценочный балл	
		выраженный условно	абсолютное значение
≤ 5	Низкий	a_1	1
$> 5 - \leq 10$	Средний	b_1	2
$> 10 - \leq 50$	Высокий	c_1	3
> 50	Очень высокий	d_1	4

Методика классификации качества вод по В.П. Емельяновой

При сочетании первой и второй ступеней классификации получают комплексные характеристики, условно соответствующие «дозам» загрязнённости, сообщаемым каждым ингредиентом и показателем загрязнения в общее качество воды, (табл. 2.29).

Возможные вариации качественного состояния воды водотоков по отдельным ингредиентам и показателям загрязнения

Комплексная характеристика состояния воды водотока	Суммарный оценочный балл		Характеристика качества воды водотока
	выраженный условно	абсолютное значение	
Случайное загрязнение низкого уровня	$a + a_1$	2	Слабо загрязнённая
Случайное загрязнение среднего уровня	$a + b_1$	3	Слабо загрязнённая
Случайное загрязнение высокого уровня	$a + c_1$	4	Загрязнённая
Случайное загрязнение очень высокого уровня	$a + d_1$	5	Загрязнённая

Возможные вариации качественного состояния воды водотоков по отдельным ингредиентам и показателям загрязнения (продолжение)

Периодическое загрязнение низкого уровня	$b + a_1$	6	Грязная
Периодическое загрязнение среднего уровня	$b + b_1$	7	Грязная
Периодическое загрязнение высокого уровня	$b + c_1$	8	Грязная
Периодическое загрязнение очень высокого уровня	$b + d_1$	9	Очень грязная

Возможные вариации качественного состояния воды водотоков по отдельным ингредиентам и показателям загрязнения (продолжение)

Неслучайное загрязнение низкого уровня	$c + a_1$	8	Грязная
Неслучайное загрязнение среднего уровня	$c + b_1$	9	Очень грязная
Неслучайное загрязнение высокого уровня	$c + c_1$	10	Очень грязная
Неслучайное загрязнение очень высокого уровня	$c + d_1$	11	Очень грязная

Возможные вариации качественного состояния воды водотоков по отдельным ингредиентам и показателям загрязнения (продолжение)

Характерное загрязнение низкого уровня	$d + a_1$	10	Очень грязная
Характерное загрязнение среднего уровня	$d + b_1$	11	Очень грязная
Характерное загрязнение высокого уровня	$d + c_1$	12	Очень грязная
Характерное загрязнение очень высокого уровня	$d + d_1$	13	Очень грязная

Суммарный оценочный балл по одному ингредиенту может колебаться в различных водах от 2 до 13. Большему его значению соответствует худшее качество воды по отдельному загрязняющему веществу, т.е. *по одному из элементов качества.*

Однако качество воды водных объектов есть функция *не только отдельных её элементов и продолжительности их воздействия*, но и *числа этих элементов и комбинаторных отношений их концентраций.* Учёт суммарного влияния этих факторов осуществляется в заключительной **третьей ступени классификации.**

Известно, что *при одновременном воздействии* токсических веществ эффект их может *оставаться таким же*, как действие каждого из них в отдельности, может оказаться *ослабленным* или *усиленным*. Может быть простое суммирование (аддитивное действие).

На основании этого положения качество воды водного объекта определяется через *обобщенный показатель*, получаемый путём сложения суммарных оценочных баллов *всех определяемых в створе загрязняющих веществ*. Так как этот показатель учитывает различные комбинации концентраций загрязняющих веществ в условиях их одновременного присутствия, он назван **«комбинаторным индексом загрязнённости»**. Получаемая при этом оценка качества в значительной степени будет зависеть от **числа** ингредиентов.

Градация качества воды водных объектов в зависимости от **числа** учитываемых ингредиентов и показателей качества (***n***)

Качество воды	Комбинаторный индекс загрязнённости
Слабо загрязнённая	$< 4\ n$
Загрязнённая	$\geq 4\ n < 6\ n$
Грязная	$\geq 6\ n < 9\ n$
Очень грязная	$\geq 9\ n$

Лимитирующие показатели загрязнения

*Если по каким-либо элементам качества наблюдаются резкие отличия оценок от основной массы, то эти загрязняющие вещества определяются как **лимитирующие показатели загрязнения (ЛПЗ)*** для данного створа или водотока, так как они по значению суммарного оценочного балла (≥ 9) относят воду к наихудшему классу «очень грязная». В некоторых комбинациях загрязняющих веществ может сложиться ситуация, когда вода *очень сильно загрязнена одним или несколькими загрязняющими веществами*, но имеет удовлетворительные характеристики по всем остальным показателям. В этом случае при получении комбинаторного индекса загрязнённости происходит *сглаживание высоких значений одних показателей за счёт низких значений других*, и при наличии явно выраженного сильного загрязнения воды по какому-либо одному или двум ингредиентам вода может определяться как слабо загрязнённая.

Коэффициент надёжности *надёжности* (k)

Для устранения сглаживающего влияния низких значений концентраций в градации качества вводится *коэффициент надёжности k* , который преднамеренно занижает количественные выражения градаций качества в зависимости от числа лимитирующих показателей загрязнения и уменьшается с возрастанием числа последних (от единицы при отсутствии ЛПЗ до 0,9 при 1 ЛПЗ и т. д.). Таким образом, при наличии в воде водного объекта *лимитирующих показателей загрязнения комбинаторный индекс загрязнённости* должен определяться с учётом *коэффициента надёжности* (см. табл.). В случае присутствия в воде более шести ЛПЗ вода по своему качеству без расчёта относится к IV классу.

Классификация качества воды водотока по значению комбинаторного индекса загрязнённости

Характеристика состояния воды водотока	Комбинаторный индекс загрязнённости	
	без учёта числа <i>ЛПЗ</i>	с учётом числа лимитирующих показателей загрязнения
		1 <i>ЛПЗ</i> ($k = 0,9$)
Слабо загрязнённая	$< 4 n$	$< 3,6 n$
Загрязнённая	$\geq 4 n \dots < 6 n$	$\geq 3,6 n \dots < 5,4 n$
Грязная	$\geq 6 n \dots < 9 n$	$\geq 5,4 n \dots < 8,1 n$
Очень грязная	$\geq 9 n$	$\geq 8,1 n$

Влияние загрязнения на возможность использования воды водотоков

Состояние воды водотоков	Хозяйстве нно- питьевое	Рекреация	Бытовое использова ние	Рыбное хозяйство	Промыш- ленность	Орошение
Слабо загрязнён- ная	Пригодна с очисткой	Использу- ется	Пригодна	Пригодна для некоторых видов рыб	Пригодна для всех видов	Пригодна
Загрязнённ ая	Не пригодна	Не пригодна	Не пригодна	Не пригодна	Затрудни- тельно	Пригодна с ограничения ми
Грязная	Не пригодна	Совершенно не пригодна	Не пригодна	Не пригодна	Возможно для специальных целей после очистки	Встречает затруднени я
Очень грязная	Не пригодна	Не использу- ется	Совершен но не пригодна	Не возможно	Возможно в отдельных случаях	Возможно в отдельных случаях

Комплексная оценка загрязнённости вод по Г.Д. Фрумину и Л.В.Баркану [1997]

Критерием качества воды является обобщённая функция Харрингтона D , которая определяется как среднегеометрическое число частных показателей желательности (d) по формуле

$$D = (d_1 d_2 d_3 \dots d_n)^{1/n}$$

Оценка загрязнённости вод по Г.Т.Фрумину и Л.В.Баркану

Класс качества воды	Интервал варьирования обобщённого показателя D
Очень чистая	0,99
Чистая	0,99-0,80
Умеренно загрязнённая	0,80-0,63
Загрязнённая	0,63-0,37
Грязная	0,37-0,20
Очень грязная	0,20-0,01

Комплексная оценка загрязнённости вод
по Г.Д. Фрумину и Л.В.Баркану [1997] (продолжение)

Для каждого ингредиента рассчитывается *частная функция желательности Харрингтона* по формуле

$$d_i = e^{-e^{p_i}} \quad p_i = b_0 + b_1 C_i / ПДК_i$$

где C_i и $ПДК_i$ – наблюдаемая и предельно допустимая концентрация i -го ингредиента, b_0 и b_1 – специально рассчитанные коэффициенты, зависящие от типа ингредиента и класса качества воды по ГОСТ 2761-84.

Согласно принципу мажоритарности средних, среднегеометрическая по численному значению меньше, чем среднеарифметическая, поэтому описанный подход даёт более жёсткую оценку качества воды, чем, например, традиционно используемый в системе Роскомгидромета индекс загрязнённости вод *ИЗВ*.

**Качество подземных вод для описания их устойчивости
экологического состояния по индексам загрязнения по методике А.
П. Белоусовой**

[А.П.Белоусова. Качество подземных вод. Современные подходы к
оценке. - М.: Наука, 2001. - С. 339.]

Понятия устойчивость и степень устойчивости гидрогеохимического состояния подземных вод.

Устойчивость – внутренне присущая системе способность противостоять изменениям. Устойчивость гидрогеохимического состояния подземных вод заключается в сохранении их природной основы или тех техногенных показателей, которые сформировались до интенсивного или глобального воздействия на них (эксплуатация месторождений, оросительных систем или крупных предприятий, природных и техногенных катастроф, кислых дождей и др.). Устойчивое гидрогеохимическое состояние подземных вод лимитируется их фоновыми показателями, с одной стороны, а с другой – их предельно допустимыми показателями, уровнями (*ПДК*, *ПДУ* и др.). Отклонения от этих пределов указывают на неустойчивость гидрогеохимического состояния подземных вод.

Степень устойчивости гидрогеохимического состояния подземной части гидросферы может быть охарактеризована следующими категориями состояния: устойчивое, слабо неустойчивое, средне неустойчивое, сильно неустойчивое, очень сильно неустойчивое (катастрофическое).

Таблица 6.5. Классификация степени загрязнения воды в связи с классификацией устойчивости воды

Качество воды (степень загрязнения воды)	Состояние устойчивости
Условно чистая вода	Устойчивое состояние
Слабо загрязнённая	Слабо неустойчивое состояние
Весьма загрязнённая	Средне неустойчивое состояние
Очень загрязнённая	Неустойчивое состояние
Грязная и очень грязная	Сильно неустойчивое состояние
Чрезвычайно грязная	Очень сильно неустойчивое (катастрофическое) состояние

продолжение

Критериями качества воды являются индексы загрязнения (I_3) – химические индексы: рН-индекс (pH/pH_{ϕ}), индексы концентрации ($C_i/C_{i\phi}$, $C_i/C_{iПДК}$) с их нормативными значениями

для *отдельных компонентов* - i (см. табл. 6.6)

и для *группы загрязняющих веществ* (см. табл. 6.8).

Качество воды соответствует категории гидрогеохимического состояния (табл. 6.5) и описывается как «условно чистая вода», «слабо загрязнённая», «весьма загрязнённая», «очень загрязнённая», «грязная и очень грязная», «чрезвычайно грязная».

Таблица 6.6. Категории и количественная характеристика
химических индексов

Категория гидрогеохимического состояния	I_3 – химические индексы		
	pH – индекс	индексы концентрации	
	pH/pH _ф	$C_i/C_{иф}$	$C_i/C_{ипДК}$
Устойчивое	1	< +1; > -1	≤ 1
Слабо неустойчивое	1	+1 ÷ +5; -1 ÷ -5	≤ 1
Средне неустойчивое	1	+5 ÷ +10; -5 ÷ -10	≤ 1
Неустойчивое	+1 ÷ +1,06; -1 ÷ -1,08		+1 ÷ +5
Сильно неустойчивое	1,06 ÷ 1,1; -1,08 ÷ -2,1		+5 ÷ +10
Катастрофически неустойчивое	> +1,1; > -2,1		> 10

Ход оценки качества воды для оценки экологической обстановки.

1. Значения pH не должны выходить за пределы $6,5 \div 8,5$.
2. Рассчитывают величину pH/pH_{ϕ} . По полученной величине pH/pH_{ϕ} и по табл. 6.6 и 6.5 устанавливают качество воды.
2. Рассчитывают величины $C_i/C_{i\phi}$ и $C_i/C_{iПДК}$ для отдельных компонентов воды. По их величинам и нормативам табл. 6.6 устанавливают категорию гидрогеохимического состояния воды и в соответствии с табл. 6.5 — качество воды.

продолжение

Для оценки степени загрязнения подземных вод при поступлении в них **нескольких** загрязняющих веществ **одного класса опасности** (табл. 6.7, 6.8) используют формулу суммы отношений всех загрязняющих веществ

$$\Sigma C_i/C_{iПДК} = C_1/C_{1,ПДК} + C_2/C_{2ПДК} + \dots + C_n/C_{nПДК}$$

Классы опасности химических веществ

Класс опасности	Наименование опасности веществ
1	Чрезвычайно опасные вещества (Hg, P_{элементарный}, Be, Tl, γ-ГХЦГ – линдан, бенз(<i>a</i>)пирен)
2	Высоко опасные вещества (Al, Ba, B, Br, Co, Mo, Sb, F, As, Cd, Pb, Se, Bi, Te, W, Li, Sr, NH₄⁺, NO₂⁻, F⁻, CN⁻, ДДТ (сумма изомеров) и т.д.)
3	Опасные вещества (Fe, V, Mn, Zn, Cr⁶⁺, Ni, Cu, NO₃⁻, PO₄³⁻, H₂S, NH₄⁺ по (N), хлорит-ион, хлорат-ион, дибензилтолуол и т.д.)
4	Мало опасные вещества (SO₄²⁻, Cl⁻)

продолжение

Для оценки степени загрязнения ***чрезвычайно опасными и высоко опасными*** загрязняющими веществами необходимо использовать как формулу 6.14, табл. 6.8 так и формулу 6.15, табл.2.26

$$\Sigma C_i/\Phi K_i = C_1/\Phi K_1 + C_2/\Phi K_2 + \dots + C_n/\Phi K_n$$

где ΦK – фоновая концентрация ингредиента

Состояние подземных вод в зависимости от величины суммы
отношений всех загрязняющих веществ

Состояние подземных вод	Величина $\Sigma C_i/C_{iПДК}$
Устойчивое	< 1
Слабо неустойчивое	$1 \div 5$
Средне неустойчивое	$5 \div 10$
Неустойчивое	$10 \div 20$
Сильно неустойчивое	$20 \div 50$
Очень сильно неустойчивое (катастрофическое)	> 50

продолжение

За результирующее качество воды принимается самое загрязнённое состояние.

7. Делается вывод, например, исследованная подземная вода по качеству «условно чистая».