

Ì åæáóí àðí áí åý Àèääáì èý Í áóè

*Öáí òðà Í ïïñòáðí íé Çàùèòú*

Õèì è÷åñéåý Èááí ðàòí ðèý

Àèääáì èè . ÓÍ Ç Èóóí èèí Ñ. Å.  
×éáí -èí ðð. ÓÍ Ç Í èñè÷áí èí Å.Í .

ÕÈÌ ÈΒ È Ì ÈÊÐÎ ÁÈÎ ÈÎ ÃÈΒ ÂÎ ÄÛ

4-å Ì åðåðàáí òáí í íå èçääí èå



**Chem.Lab.NCD**  
Í í áí ñèáéðñè 2000

## Содержание

Лекция №1	Введение. Проблемы воды на земле.	2–4
Лекция №2	Примеси воды. Физико-химические законы и методы определения содержания примесей.	5–6
Лекция №3	Произведение растворимости. Закон Оствальда. Буферные системы.	7–9
Лекция №4	Общие свойства растворов. Закономерности окислительно-восстановительных процессов. Химическая кинетика и равновесие.	10–13
Лекция №5	Основные физические и химические показатели качества воды.	14–16
Лекция №6	Фазово-дисперсная характеристика природных вод.	17–20
Лекция №7	Коагуляция, осветление, обесцвечивание и ПАВ.	21–24
Лекция №8	Обеззараживание воды.	25–28
Лекция №9	Специальные методы водоподготовки.	29–31
Лекция №10	Сточные воды и их очистка.	32–34
Лекция №11	Проблемы обезжелезивания подземных вод в водоносных пластах.	35–37
Лекция №12	Общая микробиология.	38–39
Лекция №13	Физиология и роль микроорганизмов в процессах превращения вещества и энергии в природе.	40–42
Лекция №14	Микробиологический анализ воды.	43–46
Лекция №15	Роль микроорганизмов в процессах аэробного окисления примесей сточных вод (часть 1).	47–50
Лекция №16	Роль микроорганизмов в процессах аэробного окисления примесей сточных вод (часть 2).	51–52
Лекция №17	Сооружение по очистке сточных вод с помощью микроорганизмов (часть 1).	53–55
Лекция №18	Сооружение по очистке сточных вод с помощью микроорганизмов (часть 2).	56–58
Лекция №19	Проблема оптимизации технологических схем очистки воды на станциях западносибирской железной дороги.	59–60
Лекция №20	Проблемы экологии водных ресурсов по данным публикаций в литературе.	61–62
	Рекомендуемая литература	63

## Ë â ë ö è ÿ 1 1

*Введение. Проблемы воды на земле*

Ï èàí :

1. Ï ðî áèàì à âî âù ì à çàì èà.
2. Ï óà-âîòàáí ì ì á çàèí ì ì áàòàèùíòàí ì á ì òðàí á âî áí ùò ðàíòðíí á.
3. Çààà-è èòðîà "Òèì èù è ì èèðî áèì èîâèè" àèù òòàáí òí à òí àòèàèùí ì òèè ÆÀ.
4. Õàí ðàòè-âîèèà ì òí ì âù èòðîà.
5. Æí àà èàè ì áúàèò òèçè-âîèè è òèì èè.
6. Ï ðààèèí òàç è àèàððàì ì ù òí òòî ÿí èù. Æèàððàì ì ù ðàíòàí ðèì ì òèè òí èàè á âî àà èàè àèàððàì ì à òí òòî ÿí èù.

Вода ( $H_2O$ ) – важнейшее химическое соединение на земле, служащее средой для природных и биологических процессов. Она является необходимым компонентом жизнедеятельности человека.

Острейшая проблема водоснабжения на земле заключается не в том, что воды физически мало, а в неравномерности ее распределения на поверхности планеты. Потребности СНГ оцениваются в 260 миллиардов м<sup>3</sup> в год, составляет 85% от объема потребности Европы.

В связи с ограниченностью водных ресурсов и увеличением себестоимости все более усложняются задачи государства и общественности:

Увеличить мощности систем оборотного и повторного использования воды.

Улучшить защиту водоносных объектов (рек, озер) от загрязнения.

Рекуперировать воду технологического и бытового назначения.

Улучшить экологическую обстановку в районе водоемов и т. д..

В российском законодательстве были предусмотрены необходимые меры обеспечения людей и производства в настоящее время и на перспективу.

Возрастают темпы промышленного и бытового потребления воды. Технологический прогресс отрицательно сказывается на решении проблемы водообеспечения. Вода продолжает загрязняться в большинстве водоемов.

Экологический аспект связан, в частности, с всеобщим распространением в воде, даже в атмосфере примесей различного состава.

В период семидесятых – восьмидесятых годов принят ряд постановлений об увеличении мощностей систем оборотного и повторного водопользования, об улучшении охраны водных ресурсов и создании экологически благоприятной обстановки в районах водных бассейнов.

Железнодорожный транспорт является одним из звеньев народного хозяйства, потребляющим большие объемы воды по всей территории СНГ.



Равновесное значение энергии Гиббса при растворении примеси в воде  $\Delta G_p$ .

$$\Delta G_p = -RT \ln K_p \equiv -RT \ln N_a \quad (3)$$

Примем  $N_a$  – меру взаимодействия растворенных частиц.

$$N_a = \gamma C \quad (4)$$

В отличие от концентрации растворенного вещества  $C$  введем активность: произведение коэффициента активности  $\gamma$  на концентрацию. Величина  $\gamma$  – это мера взаимодействия молекул растворенного вещества с молекулами воды.  $\gamma = 1$ ,  $N_a = C$ , когда  $dE/dV = 0$ . В этом случае частицы растворенного вещества ведут себя как газ. Подставляя (4) в (3), получим

$$\Delta G_p = -RT \ln \gamma C \quad (5)$$

Правило, фаз Гиббса использует число внешних условий, таких как: давление, температура, концентрация, которые можно изменять, и это изменение связано с числом фаз и компонентов системы.

$$C = K - \Phi + 2$$

где  $C$  – число степеней свободы ( $P, T$  и  $C$ )

$K$  – число компонентов системы,

$\Phi$  – число фаз.

$H_2O$   $K = 1$

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$   $K = 3 - 1 = 2$  — независимые компоненты.

Фаза — однородная часть неоднородной системы, отделенная границей раздела. Системы подразделяются на гомогенные (1 фаза) и гетерогенные (более 1 фазы).

Для  $K = 1 - H_2O$  найдем число возможных фаз.

$$C = 0 \quad \Phi = 3$$

$$C = 1 \quad \Phi = 2$$

$$C = 2 \quad \Phi = 1$$

Для  $K = 2 - CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$   $\Phi = 3, C = 1$ , константа равновесия

данной гетерогенной системы запишется  $K_p = P_{CO_2}$

Химические и физические свойства воды уникальны.  $H_2O$  – оксид водорода. Имеет ряд изотопных модификаций, например,  $D_2O$  – дейтериевая “тяжелая” вода,  $T_2O$  – тритиевая вода. В обычной воде  $mO : mH = 88,81 : 11,19$ .

Вода – самое распространенное соединение, часто составляет до 90% массы веществ.  $H_2O$  как система обладает аномальными свойствами.



## Ë â ë ö è ü 1 2

**Примеси воды. Физико-химические законы  
и методы определения содержания  
примесей**

Ë ä äí :

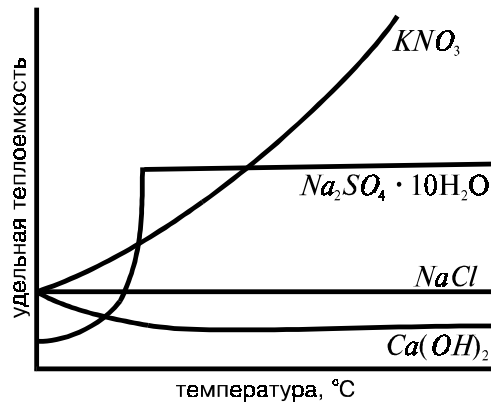
1. Òí òì ù òèì è-àñèí é âí äü è òèì è-àñèèâ ñâì èñòââ âí äü.
2. Àèââðâì ì ù òâñòâí òèì ï òèè, àèââðâì ì ù ñí òòì ÿí èü.
3. Ì òèì àñè âí äü. Õèçèèí-òèì è-àñèèâ çâèí ì è ì äòì äü èí èè-àñòââí ï ï âí ï òâââèâí èü ï òèì àñâé.
4. Èí ï ï â ï òí èçââââí èâ âí äü.

По причине дипольности молекулы воды вступают во взаимодействие с ионами, заряженными частицами и поверхностями. Различают несколько форм взаимодействия.

1. Адсорбция, характеризуемая теплотой  $Q_{\text{адс}}$  и температурой адсорбции  $T_{\text{адс}}$ . В основе связи – межмолекулярные силы Ван-дер-Ваальса.
2. Хемосорбция – более прочная связь, предполагающая химическое взаимодействие, образование химических связей наряду с физическими взаимодействиями. Характеризуется энергией активации  $E_a$  и температурой хемосорбции  $T_{\text{хем}}$ .
3. Сокристаллизация – наличие молекул воды в кристаллической решетке материала. Например:  $[CuSO_4 \cdot 5H_2O]_n$ ,  $[KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]_n$ .
4. Химически связанная вода входит в состав молекул, атомы кислорода связаны с другими элементами. Например,  $Ca(OH)_2 = CaO \cdot H_2O$ ,  $H_2SO_4 = SO_3 \cdot H_2O$ .

Растворимость веществ (солей) в воде зависит от температуры и структуры молекул вещества.

На диаграммах представлены состояние систем, образующихся при растворении в воде двух солей  $S_1$  и  $S_2$ .

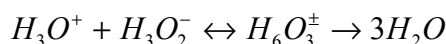






## 4. Весовой анализ.





$$K_g = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} \quad (6)$$

$$K_g[H_2O] = [H^+][OH^-] = K_w \quad (7)$$

$K_w$  – ионное произведение воды

$$K_w = 10^{-14} \frac{\text{моль}^2}{\text{л}^2} = 2 \cdot 10^{-16} \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 55,5 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$pH$  – водородный показатель, мера кислотности и щелочности.

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

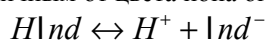
величина  $pH$  характеризует среду раствора.

$pH > 7$  – среда щелочная,  $[H^+] < [OH^-]$

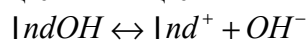
$pH < 7$  – среда кислая,  $[H^+] > [OH^-]$

$pH = 7$  – среда нейтральная,  $[H^+] = [OH^-]$  (см (7)).

$pH$  определяют химическими индикаторами и методом электропроводности  $pH$  – метрами. Химические индикаторы представляют собой слабые органические кислоты и щелочи  $H^+ \text{Ind}$  и  $\text{IndOH}^-$ , обладающие отличным от цвета иона окраской.



цвет I                  цвет II



цвет I                  цвет II

$$K_{H\text{Ind}} = \frac{[H^+][\text{Ind}^-]}{[H\text{Ind}]} \rightarrow \frac{\text{цвет II}}{\text{цвет I}}$$

$$K_{\text{IndOH}^-} = \frac{[\text{Ind}^+][OH^-]}{[\text{IndOH}^-]} \rightarrow \frac{\text{цвет II}}{\text{цвет I}}$$

Цвет индикатора, таким образом, будет зависеть от среды раствора, или от  $pH$ . Цвет некоторых распространенных индикаторов в кислой и щелочной средах представлен в таблице:

Название индикатора	Цвет в средах		Интервал значений $pH$
	Кислой	Щелочной	
метилоранж	розовый	оранжевый	3.1–4.4
фенолфталеин	бесцветная	малиновая	8.2–10.0



---

$$d = [AB](1-\alpha)C$$
$$pOH = pK_a - \lg \frac{C}{d}.$$



$\gamma_{Cl^-} = 0.88$ ,  $\gamma_{Ca^{2+}} = 0.66$ . При  $C = 0,1$  моль/л.

$$a_{Cl^-} = \gamma_{Cl^-} \cdot C \cdot 2 = 0.88 \cdot 0.1 \cdot 2 = 0.176$$

$$a_{Ca^{2+}} = \gamma_{Ca^{2+}} \cdot C = 0.66 \cdot 0.1 = 0.066$$

Один из методов определения электропроводности основан на измерении электропроводности и расчете  $\alpha$ . Введем понятие эквивалентной электропроводности  $\lambda_v$  – электропроводности раствора при постоянном объеме.  $\lambda_v$  – это электропроводимость столба жидкости длиной в 1 см и площадью 1 см<sup>2</sup> с концентрацией раствора, выраженной в единицах нормальности  $[N]$  в зависимости от удельной электропроводности  $\varpi$  [Ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>].

$$\lambda_v = \frac{10^3 \varpi}{C} \quad (6)$$

Для слабых растворов электролитов  $\lambda_v = \alpha \lambda_{\infty}$ , где  $\lambda_{\infty}$  – электропроводность при бесконечном разбавлении. Для растворов сильных электролитов  $\lambda_v$  подчиняются формуле Онзагера:

$$\lambda_v = \lambda_{\infty} - (\alpha \cdot \lambda_{\infty} + \beta) \sqrt{C} \quad (7)$$

Выражение для константы диссоциации может быть записано

$$K_D = \frac{\alpha^2 C}{1 - \alpha} = \frac{\lambda_v^2 C}{\lambda_{\infty} (\lambda_{\infty} - \lambda_v)} \quad (8)$$

Вычисление константы гидролиза

$$K_G = \frac{K_W}{K_D} = \frac{10^{-14}}{K_D} \quad (9)$$

### Закономерности окислительно-восстановительных процессов.

Окислительно-восстановительными называются реакции, при которых происходит изменение степени окисления ионов и атомов, сопровождающихся отдачей валентных электронов (окисление) и принятием (восстановление). Процессы характеризуются  $\varphi$  – электродным потенциалом. ЭАС в системе равна  $-\varphi_1 - \varphi_2$ . Стандартный электродный потенциал водорода  $E^0$  определяется при условиях  $t = 25^\circ\text{C}$  и  $P = 1$  атм.

$$\varphi_{2H^+/H_2}^0 = 0.00 \text{ В.}$$

Стандартный электродный потенциал катионов и анионов  $E^0$  может быть положительным и отрицательным.

$$E_{мет} = E_{мет}^0 + \frac{0.058}{n} \lg \frac{a_{окисленной\ формы}}{a_{восстановленной\ формы}} \quad (10)$$

$n$  – число электронов, участвующих в реакции,

$$0,058 = \frac{RT}{F} \quad \text{при } T = 298 \text{ К.}$$

Пример:  $FeCl_2 \rightarrow FeCl_3$

$$E^0_{Fe^{2+}/Fe^{3+}} = E^0_{Fe^{2+}/Fe^{3+}} + \frac{0.058}{1} \lg \frac{a_{Fe^{3+}}}{a_{Fe^{2+}}} \quad (11)$$

### Кинетика, гомогенных и гетерогенных реакций.

Скорость гомогенных реакций определяется как изменение концентрации во времени.

$$v = \pm \frac{dC}{dt} \quad (12)$$

Скорость гомогенных реакций подчиняется закону действия масс, она пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ в степенях их стехиометрических коэффициентов.

$$v = k[A]^a [B]^b$$

Для реакции  $aA + bB \rightarrow cC + \dots$ , где  $k$  – константа скорости реакции,  $[C]^{c-1} \cdot (\dots)^{a+b-1}$ , равная скорости при единичных концентрациях.

Зависимость скорости и константы скорости от температуры выражается следующим соотношением. **Правило Вант Гоффа.** При изменении температуры гомогенной реакции на  $10^\circ \text{C}$  скорость ее изменится в 2–4 раза.

Уравнение Аррениуса связывает константу скорости реакции с энергией активации  $E_a$ , той величиной энергии, которой должна обладать молекула для разрыва химических связей и протекания реакции.

$$k(T) = \frac{RT}{h} e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (14)$$

По числу одновременно реагирующих частиц реакции подразделяют на моно-, би- и тримолекулярные. Порядок реакции,  $p$  – сумма степеней концентраций в выражении реального уравнения скорости.

Первый порядок.  $v = k \cdot C_A$  – мономолекулярная реакция.

Бимолекулярная реакция.  $v = k \cdot C_A \cdot C_B$   $1 + 1 = 2$  – второй порядок.

Тримолекулярная реакция.  $v = k \cdot C_A \cdot C_B \cdot C_C$  либо  $v = k \cdot C_A^2 \cdot C_B$  либо  $v = k \cdot C_A^3$ . Порядок реакции равен трем:  $1 + 1 + 1 = 2 + 1 = 3$ .



Скорость гетерогенных процессов определяют степень взаимодействия  $\alpha$ , или долей прореагировавшего вещества.  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Может выражаться уравнением

$$a = 1 - e^{-kt} \quad (15)$$

Химическим равновесием называется такое состояние системы, при котором равны скорости прямой и обратной реакций. Равновесное состояние системы

$aA + bB \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} cC + dD$  характеризуется константой равновесия

$$K_p = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (16)$$

Для гетерогенных реакций  $[A]_{\text{тв}} = [B]_{\text{тв}} = \dots = 1$  и в выражение константы равновесия входят только концентрации жидких компонентов и парциальные давления газов.



сеянного света;

$l$  – толщина слоя воды (образца);

$c$  – концентрация частиц;

$I$  – интенсивность света, прошедшего через образец;

$I_0$  – интенсивность света, падающего на образец.

**Прозрачность.** Выражается высотой столба воды, при котором видны контуры рисунка на дне сосуда. Ширина линий рисунка 1мм. Прозрачность воды для 30 см по “кресту” и “шрифту”.

**Цветность.** Определяется по сравнению цветности исследуемой воды с растворами платиново-кобальтовой шкалы, содержащей определенное стандартное количество веществ. Вся шкала рассчитана на диапазон 0–100 градусов цветности. Цветность нормальной воды, согласно ГОСТ 2874-89, не должна превышать 20°. Кроме визуального метода, используется фотометрический метод определения.

**Запах и вкус.** Запахи воды имеют искусственное (фенольный, хлорный) и естественное происхождение. К естественным запахам относят рыбный, болотный, гнилостный и т. д.. Определение запаха проводят при температурах 20° и 60°С, во втором случае его интенсивность выше. Вкус определяют органолептически (пробуют). Различают четыре разновидности вкуса – горький, сладкий, кислый, соленый. Для более детальной характеристики вводят определение привкусов. Количественно запах и вкус оцениваются по пятибалльной шкале.

0	1	2	3	4	5
нет	очень слабый	слабый	заметный	отчетливый	очень сильный

ГОСТ допускает наличие запаха воды не более 2 баллов при 60°С. Вкус воды не должен превышать 2 баллов при 20°С. Температура воды определяется стандартными методами – термометры, термомпары и т. д.. Она имеет определенный диапазон колебаний, в зависимости от условий источника. Наиболее благоприятная температура – 7–12°С.

Химические компоненты в воде влияют на ее органолептические свойства. Степень возможного влияния компонента характеризуется предельно допустимой концентрацией (ПДК). При растворении в воде солей происходит ее минерализация, более 1 г на литр воды обеспечивает солоноватый привкус. Содержание примесей в пробе оценивают по сухому остатку, т. е. по тому количеству примесей, которые остаются на фильтре при высушивании при температуре 105°С. Масса сухого остатка не должна превышать 1000 мг/л. ПДК определяется по содержанию примесей. Общее содержание – это сумма остатков на фильтре после первого фильтрования. Диапазон изменения рН воды по ГОСТ 2874-89 равен 6,5 – 8,5; содержание примесей жесткости не более 7 мг-экв/л. Примеси, обуславливающие жесткость воды:  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HPO_4^{2-}$  и т. д.

Различают следующие виды жесткости:

1. карбонатную – наличие  $HCO_3^-$
2. некарбонатную – все остальные ионы.

ПДК примесей в жесткой воде определяют методом осаждения на гидроксиде алюминия.

Вредные примеси	Be <sup>2+</sup>	Se <sup>6+</sup>	As <sup>+3</sup>	Sr <sup>+2</sup>	Mo <sup>+2</sup>	Pb <sup>+2</sup>
ПДК, мг/л	2•10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	5•10 <sup>-2</sup>	2	0,5	0,1

Требования по ПДК различны для разных климатических зон. Суммарная концентрация токсичных веществ не должна превышать некоторой величины:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C'_i} ,$$

где  $n$  – число токсичных компонентов,

$C_i$  – концентрация  $i$ -того компонента, мг/г,

$C'_i$  – ее предельно допустимое значение.

Микробиологические и бактериологические показатели определяются количеством колоний, вырастающим на определенной питательной среде при определенной температуре, когда на нее выливается 1 мл питьевой воды. Это способ выявления бактерий группы кишечной палочки – БГКП.

Количество бактерий в 1 л воды определяет величину коли – индекса, который по ГОСТ должен быть не более 3, при этом коли – титр должен составлять не менее 300. Под коли – титром понимается наименьший объем, мл, в котором содержится одна клетка БГКП.

Для бытовых и технологических нужд желательно оптимальное сочетание факторов: достаточно низкая температура, малая карбонатная жесткость, незначительное содержание кислорода (не более 0,017 мг-экв/л), масел (не более 0,5 мг-экв/л), железа (не более 100 мг/л) и т. д..

## Ë â ê ö è ÿ 1 6

**Фазово-дисперсная характеристика природных вод**

Ï èàí :

1. Оасí àí -àèñí àðñí àÿ òàðàèòàðèòèèèà ì ðèðì áí Ûò àí à.
2. Àèñí àðñí Ùà òèòàì Ù.
3. Ñí ðáòèè í í Ùá ì ðí òáññÛ.
4. Èí èèè èáí Ùà òèòàì Ù. Èí àáòèÿòèÿ.

Дисперсные системы – химические и микробиологические системы, состоящие из нескольких фаз. К гетерогенным системам, состоящим из дисперсной фазы и дисперсионной среды, относятся эмульсии, пены, минералы и т. д.

Фазово-дисперсная характеристика природных вод базируется на классификации Кульского Л. Н.. Дисперсность системы  $D$  связана с размером частиц  $r$ :  $D = 2r^{-1}$ .

По классификации Кульского, выделяются следующие группы примесей:

- а) истинные растворы ионной и молекулярной степени дисперсности.

Размер частиц  $r = 1 - 10 \overset{0}{\text{Å}} = 10^{-10} - 10^{-9}$  м.

б) коллоидные частицы (органические и неорганические вещества) с величиной  $r = 10 - 100 \overset{0}{\text{Å}} = 10^{-9} - 10^{-8}$  м.

в) грубодисперсные системы (эмульсии, планктон) с размером частиц  $r > 100 \overset{0}{\text{Å}} = 10^{-8}$  м.

Примеси групп б), в) – минеральные и органоминеральные частицы грунтов, нерастворимые и недиссоциированные формы гумусовых соединений или вульфокислот ( $pH < 7$ ).

Бактерии и вирусы, удерживаясь друг около друга, образуют зоогели, или зооколлоиды. Они способны сорбировать положительные и отрицательные ионы в соответствии с законами сорбции.

Сорбционные процессы – это процессы концентрирования вещества на поверхности твердых и жидких тел. Процессы сорбции описываются несколькими законами.

Закон Генри постулирует прямую пропорциональную зависимость между концентрацией сорбируемого вещества и концентрацией сорбента. В основе сорбции лежат физико-химические силы адсорбции и хемосорбции, в том числе силы Ван-дер-Ваальса.

Уравнение Фрейндлиха описывает сорбцию при концентрации примесей менее 0,5 моль/л.

$$A = \beta c^\mu = \beta c^{1/n} \quad (1)$$

где  $A$  – удельное количество сорбируемого вещества (на единицу объема и

массы адсорбента),

$\beta, \mu$  – константы, зависящие от температуры,

$n$  – число молей вещества.

Пример. Уравнение адсорбции фенола активированным углем при температуре 25°C имеет вид  $A = 15,85 c^{0,27}$ .

Уравнение Ленгмюра описывает сорбцию при концентрации примесей более 0,5 моль/л.

$$A = A_{\infty} + \frac{1}{1 + \frac{b}{c}}$$

где  $A_{\infty}$  – предельное количество вещества, которое сорбируется сорбентом,

$b$  – константа для данного класса веществ,

$c$  – равновесная концентрация адсорбируемого вещества.

Пример. Адсорбция фенола при  $c > 0,5$  моль/л  $A = 18,5 + \frac{1}{1 + \frac{0,16}{c}}$

Изменение энергии Гиббса в процессе адсорбции может быть записано

$$\Delta G = -RT \ln K_{adc} \tag{3}$$

где  $K_{adc}$  – константа равновесия адсорбции.

$$K_{adc} = e^{-\frac{\Delta G}{RT}} = \frac{C_{adc}}{C_{равн}} \tag{4}$$

На анализе явлений сорбции основана очистка природных и сточных вод, осветление, обесцвечивание, в том числе и в условиях самоочищения водоема.

### **Законы разрушения и образования коллоидных систем.**

В коллоидных системах различают дисперсную фазу, т.е. растворенное вещество и дисперсионную среду, т.е. растворитель. Выделяют молекулярные коллоиды – высокомолекулярные соединения в воде и суспензии в зависимости от строения дисперсных фаз. Устойчивые коллоидные частицы называются золями, которые подразделяются на аэро-, гидро- и органозоли.

Равновесие в коллоидных системах достигается двумя путями. Равновесие достигается с одной стороны, за счет агрегативной устойчивости, и, с другой стороны, за счет броуновского движения коллоидных частиц. При определенном уровне энергии не происходит слипания, седиментации и разрушения геля. Для разрушения такого рода состояний используют значения принципы дестабилизации систем.

### Диффузионные процессы в явлении седиментации при разрушении геля.

Диффузия описывается двумя законами Фика. Уравнение первого закона

$$\frac{dC}{dt} = -DS \frac{dC}{dX} \quad (5)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии,

$S$  – площадь,

$\frac{dC}{dX}$  – изменение концентрации вдоль выбранного направления.

При низких температурах коэффициент диффузии может быть выражен из условия Эйнштейна – Стокса для броуновского движения частиц.

$$D = \frac{kT}{6\pi r \eta N} \quad (6)$$

где  $k$  – константа Больцмана,  $r$  – размер частиц,

$\eta$  – вязкость среды,  $N$  – число молей.

При высоких температурах температурная зависимость коэффициента диффузии представляется

$$D(I) = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (7)$$

Уравнение второго закона Фика

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (8)$$

решением которого является интеграл вероятности

$$C = \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

Оба закона Фика могут быть записаны в векторном виде:

$$1. \quad v = -DS \text{grad} C \quad (9)$$

$$2. \quad v = D \text{divgrad} C \quad (10)$$

Операторы

$$\text{div} = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}; \quad \text{grad} \frac{\partial}{\partial x};$$

$$\text{divgrad} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Скорость седиментационных процессов и седиментационное равнове-



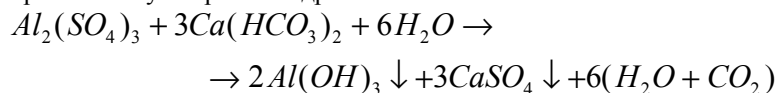






С целью увеличения гидролиза нужно смещать равновесие реакции путем связывания водородных ионов. Это достигается щелочным резервом, в качестве которого выступают ионы  $\text{OH}^-$  и  $\text{HCO}_3^-$ .

Уравнение суммарного гидролиза:



Процесс коагуляции примесей включает три стадии:

1. Образование коллоидного раствора гидроксида металла
2. Коагуляция золя коагулянта и его взаимодействие с коллоидами и грубодисперсными примесями, приводящая к увеличению степени коагуляции  $\alpha$ . При этом  $\alpha$  увеличивается под действием концентрации растворенных примесей.

$$\text{Cl}^- - 0.07 \frac{\text{экв}}{\text{л}}$$

$$\text{HCO}_3^- - 0.005$$

$$\text{SO}_4^{2-} - 0.001$$

1. Процесс хлопьевыделения завершается седиментацией, т. е. выпадением осадка.
2. В процессе оседания происходит взаимодействие со взвешенными примесями. В результате происходит увеличение степени коагуляции  $\alpha$ . При этом  $\alpha$  увеличивается под действием концентрации растворенных примесей.

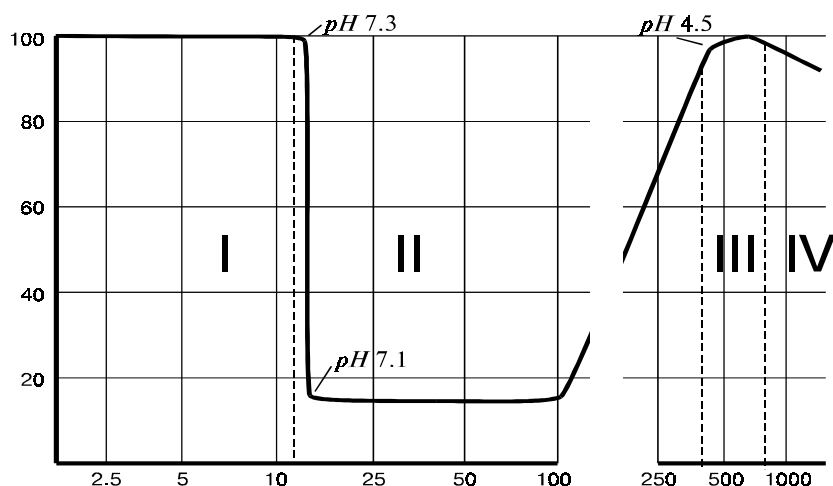


Рис. 5. Кривая коагуляции. Определение оптимальной дозы коагулянта. I – зона устойчивости; II – зона коагуляции; III – зона устойчивости.

**Связь между цветностью и дозой коагулянта.**

Доза коагулянта  $D$  сульфата алюминия безводного (мг/л) связана с цветностью воды по платино-кобальтовой шкале по уравнению

$$D = 4\sqrt{u} \tag{7}$$

Количество щелочи, необходимое для подщелачивания в процессе коагуляции, рассчитывалось по уравнению

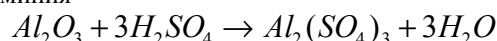
$$D_{щ} = D - Щ + 1 \tag{8}$$

где  $D_{щ}$  – необходимая доза щелочи,

$Щ$  – щелочность воды.

**Характеристика коагулянта.**

$Al_2(SO_4)_3$  получают действием серной кислоты на технический оксид алюминия

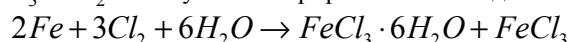


Выпускается двух сортов: очищенный – 40,3% и неочищенный – 33,5%.

Гидроксохлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  – вещество зеленого цвета, хорошо растворимо в воде.

Снижает щелочность и увеличивает солесодержание.

$FeCl_3 \cdot 6H_2O$  получают хлорированием отходов железа



Действует как эффективный осветлитель.

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$  50%-ный удаляет органические примеси.

Флоккулянты для очистки воды подразделяются на:

- 1) неорганические (кремниевая кислота);
- 2) органические высокомолекулярные соединения (ВМС – крахмал, альгинат натрия и т.д.);
- 3) синтетические ВМС (полиакриламид, полиэтиленимин)

Флоккулянты типа ВА-2 используют при малых величинах мутности 1,0–1,5 мг/л.

ПАВ используют для осветления воды при мутности 150 мг/л

## Ë â ê ö è ÿ 1 8

**Обеззараживание воды**

Ï èàí :

1. Ðàààáí òí ùé è ááçðààááí òí ùé ì àòì àù ì ááçðàðàæèááí èÿ âì àù.
2. Õèì ðèðì ááí èá âì àù .
3. Ñòàáèèèçàòèÿ âì àù.
4. Ì ááçðàðàæèááí èá ñì èÿì è òÿæáèóò ì àòàèèì á.
5. Õèçè-áñèèá ì àòì àù.

Обеззараживание воды – это способ уничтожения микроорганизмов в воде. Относится к обязательным техническим приемам, используемым на всех водозаборных станциях. Цель – освободить воду от патогенной микрофлоры, вызывающей заболевания людей.

Реагентные методы обеззараживания: хлорирование (1910 год), озонирование (1911 год), фторирование, обработка ионами переходных металлов. Олигодинамия – метод обработки серебром.

Безреагентный методы: ультразвуковая обработка, магнитным полем, ультрафиолетовым излучением, тепловая обработка, электрофорез, электрокоагуляция, гиперфльтрация, использование электрического заряда и т. д..

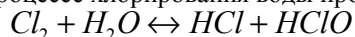
Все виды обеззараживания патогенных бактерий приводят нормальный жизнедеятельный цикл в форме колоний к разрушению. Происходит проникновение химического реагента в клеточный организм и его уничтожение.

**Хлорирование воды.**

Под воздействием “активного хлора” – положительно заряженных ионов хлора – клетки претерпевают необратимые изменения и гибнут. Хлор имеет следующие степени окисления:

+1	+3	+4	+5	+6	+7
Cl <sub>2</sub> O	Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ClO <sub>2</sub>		ClO <sub>3</sub>	Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
НСlO	НСlO <sub>2</sub>		НСlO <sub>3</sub>		НСlO <sub>4</sub>

В процессе хлорирования воды происходит образование кислот



pH среды влияет на равновесие обеих реакций .



Общее количество хлора, которое расходуется на взаимодействие с окисляющимися примесями, определяет хлоропоглощаемость, или хлороемкость, воды. Она зависит от свойств примесей, содержащихся в обрабатываемой воде, времени контакта хлора с водой, температуры воды и количества введенного хлора. При концентрации до 1 мг/л хлоропоглощаемость изменяется пропорционально времени контакта, при более высоких концентрациях обнаруживается логарифмическая зависимость.

Для оценки качества воды применяют показатель хлорируемости. Он зависит от количества хлора, которое обеспечивает после 30-минутного

контакта содержание остаточного хлора 0,5 мг/л.

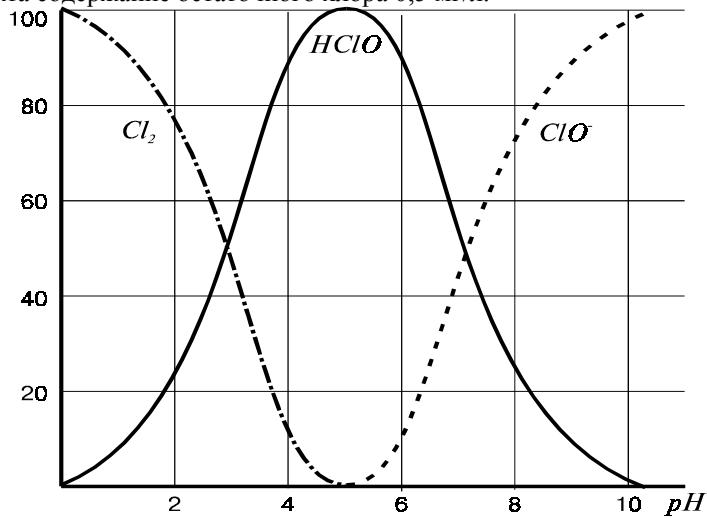


Рис. 6. Соотношение содержания различных форм хлора в воде в зависимости от pH.

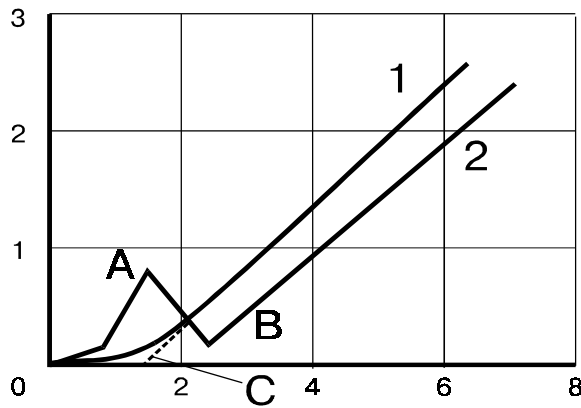
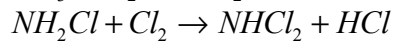
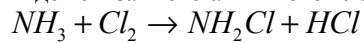


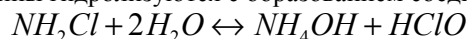
Рис. 7. Кривые хлоропоглощаемости воды: 1 – в отсутствии аммонийных соединений; 2 – при наличии в воде аммонийных соединений..

Если в воде присутствуют аммонийные соли или аммиак, хлор фиксируется в виде “связанного активного хлора”. Возможные процессы:



При наличии в воде аммонийных соединений кривая хлоропоглощаемости проходит через максимум, связанный с образованием хлораминов.

Хлорамины гидролизуются с образованием соединений “активного хлора”



Реагенты для обеззараживания

$\text{ClO}_2$  – диоксид хлора

$\text{Ca}(\text{ClO})_2$  – гипохлорит кальция, хлорная известь

$\text{NaClO}_2$  – гипохлорат натрия.

Расчет активного хлора (AX).

$M$  – молекулярная масса хлора.

$M_0$  – молекулярная масса хлорсодержащего вещества;

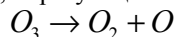
$n$  – число гипохлорит ионов.

$$AX = \frac{nM}{M_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$\text{Для } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \quad AX = \frac{2 \cdot 71 \cdot 100}{143} = 99,3\%, \quad \text{NaClO} - 95\%$$

### Озонирование воды.

Эффект обеззараживания происходит под действием атомарного кислорода, образующегося при разложении озона.



Озон не загрязняет воды и улучшает ее вкусовые качества. Озон обладает исключительной химической активностью. Применение озона ограничено высокой стоимостью его производства.

### Кинетика распада озона.

Скорость разложения озона в воде описывается кинетическим уравнением

$$-\frac{dC_{\text{O}_3}}{dt} = kC_{\text{O}_3}^{3/2} \quad (2)$$

где  $k$  – константа скорости разложения озона, зависящая от свойств обрабатываемой воды,

$C_{\text{O}_3}$  – концентрация озона.

Для дистиллированной воды  $k = 0,229$ ;

для грунтовых вод  $k = 2,383$ ;

для поверхностных вод  $k = 10-22$ .

Скорость окисления тем выше, чем больше в воде примесей. Минимальная концентрация остаточного озона, равна 0,05–0,1 мг/л, обеспечивает бактерицидный эффект при озонировании очищенной воды. В зимний период бактерицидная доза озона составляет 3–4 мг/л, в весенний – 4–5.

### Обеззараживание воды солями тяжелых металлов.

Определенные концентрации ионов переходных металлов –  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  и т. д. – обеззараживают патогенную флору. Обеззараживающий эффект

ионов серебра  $Ag^+$  проявляется при концентрации 0,04 мг/л, обычно применяют до 0,2 мг/л. При повышении температуры бактерицидное действие значительно возрастает.

**Физические методы.**

При водоподготовке применяют два основных физических метода: облучение воды ультрафиолетовыми лучами и воздействие ультразвуком.

Ультрафиолетовые лучи. Ультрафиолетовая часть спектра – 200–300 нм обладает сильно выраженным бактерицидным действием. Максимум бактерицидного действия проявляется у излучения с длиной волны 260 нм.

$$\lambda_{\max} = 260 \text{ нм} = 2600 \text{ \AA}$$

Действие излучения определяют по бактерицидной дозе, т. е. по отношению числа микроорганизмов после облучения  $\rho$  к числу микроорганизмов до облучения  $\rho_0$ . В качестве источников используют ртутные

кварцевые лампы (соль-люкс) с длиной волны 2570  $\text{\AA}$ , бактерицидная эффективность которого составляет 15%. Действие излучения заключается в разрушении клеточной структуры.

Ультразвук. Ультразвук частотой более 20 кГц приводит к колебанию частиц воды. Генератором может служить кристалл кварца, при частотах излучения которого наблюдается кавитационный эффект. Бактерии и примеси коагулируют, что приводит к эффекту обеззараживания и очистки воды.

Термообработка. При кипячении воды в протяжении 5–10 минут патогенные бактерии в основном гибнут.

Электрокоагуляция. Алюминиевые или железные электроды погружают в проточную воду и подают напряжение. При электрокоагуляции ионы металлов захватывают патогенные бактерии.

Электрофорез. При воздействии электрофореза колонии примесей не разрушаются, а сгущаются и удаляются из зоны действия внешнего поля.

Показатель	Исходная вода	Обработанная вода
Прозрачность, см	5–20	30
Мутность, мг/л	100–500	0,4
Цветность, град	30–500	9
Вкус, балл	1–3	0,1
pH	6,5–7,5	6,8–7,8
Количество окисляющих веществ, мг/л	3,25	0,5–0,6

В таблице приведены основные показатели качества воды до и после обработки. Видно, что после обработки вода соответствует требованиям



ГОСТ 2874-89.

Другие методы. Перспективным методом является фторирование. Недостаток – возможное возникновения кариеса зубов. Содержание фтора не должно превышать 0,5-0,7 мг/л.

### Специальные методы водоподготовки

Ë ä äí :

1. Õì ÿä-äí èä, î ääññí èèäáí èä è îí ðäñí äí èä äí äü.
2. Ñöäáèèèçäöèü äí äü.
3. Öääèäí èä äí èí îí ä í äðäáí öäáí è è èðäí î èäáí è èèñèò.

К методам опреснения и обессоливания воды относятся термическая дистилляция и вымораживание. Электрохимические методы: электроосмос, электродиализ, методы ионного обмена.

Парциальное давление компонента  $P_i$  при давлении его насыщенного пара  $P_0$  при мольной доле  $N$  выражается законом Рауля.

$$P_i = iNP_0 \tag{1}$$

Метод дистилляции – выпаривание – используется в южных районах страны. Производительность обычных установок 7–10 л/м<sup>2</sup>с.

Изменение температуры кипения  $\Delta t_{\text{кип}}$  связано с эбуллиоскопической константой  $K_3$  и мольной долей компонента  $N$  соотношением

$$\Delta t_{\text{кип}} = iK_3N \tag{2}$$

где  $i$  – изотонический коэффициент, связанный со степенью диссоциации  $\alpha$  и числом ионов  $n$  выражением

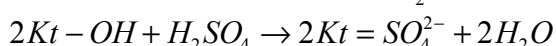
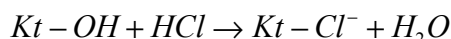
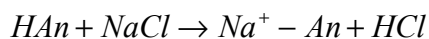
$$i = 1 + \alpha (n - 1) \tag{3}$$

Опреснители – это довольно большие емкости горизонтального и наклонного типа, в которых при небольшом слое воды значительна площадь испарения. Вода конденсируется на специальной емкости. В последнее время площадь испарения покрывают специальными покрытиями и используют неотражательные зеркала и специальные отражательные камеры.

Опреснение электроосмосом и электродиализом позволяет получать наиболее чистую воду, лишенную солей. Промышленные установки монтируются на крупных морских судах.

#### Опреснение ионитами.

Наиболее тонкий процесс очистки воды от ионов солей, обуславливающих жесткость, в частности, от ионов  $Na^+$  и  $SO_4^{2-}$ . Адсорбцию ионов на ионитах  $HAn$  и  $KtOH$  можно записать



Препятствия для очистки является  $CO_2$ . Его удаление осуществляется в градирнях методом аэрации. Химическую активность воды нужно стабилизировать. Стабильная вода при контакте с железобетоном или други-

ми поверхностями не изменяет своих свойств.

Вводятся два понятия: показатель стабильности  $C$  и индекс стабильности  $I$ . Показатель стабильности определяется по выражению.

$$C = \frac{\text{щелочность исходной воды}}{\text{щелочность насыщенной воды}} \quad (4)$$

Под щелочностью исходной воды понимают щелочность в естественном состоянии [мг-экв/л], щелочность насыщенной воды – щелочность после ее обработки известняком. Критерии стабильности:

$C < 1$  – вода агрессивна,

$C > 1$  – вода склонна к отложению солей кальция,

$C \approx 1$  – вода стабильна.

Обозначим  $pH_n$  и  $pH_u$  – соответственно,  $pH$  насыщенной и исследуемой воды. Тогда индекс стабильности  $I$  выразится

$$I = pH_n - pH_u \quad (5)$$

а показатель

$$C = \frac{pH_u}{pH_n} \quad (6)$$

$pH_n$  может быть вычислен по формуле

$$pH_n = pK_2 - pK_5 - \lg[Ca^{2+}] - \lg[2.8Щ] + \frac{\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{2\mu}} + 8.07$$

где  $pK_2$  – отрицательный логарифм константы диссоциации угольной кислоты по второй ступени диссоциации,

$pK_5$  – логарифм произведения растворимости  $CaCO_3$ ,

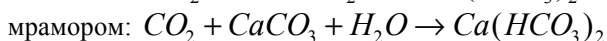
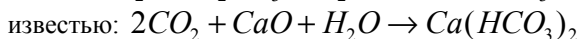
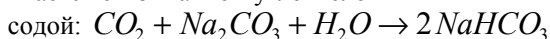
$[Щ]$  – общая щелочность,

$\mu$  – ионная сила раствора, вычисляется при концентрациях ионов  $C_i$  и зарядах ионов  $Z_i$  как

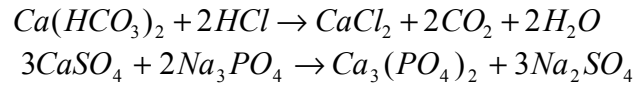
$$\mu = \sum_{i=1}^n C_i Z_i^2 \quad (8)$$

для  $n$  видов ионов.

Удаление углекислотной агрессивности воды осуществляется добавлением едкого натра, соды, извести, мыла или мрамора. Стабилизация достигается связыванием углекислоты

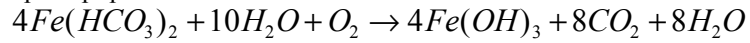


Для борьбы с жесткостью применяют подкисление, карбонизацию, фосфотирование.



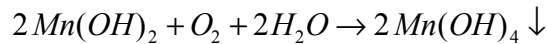
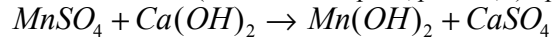
**Удаление железа, марганца и кремниевой кислоты.**

Удаление железа в виде ионов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  достигается аэрированием воды, коагулированием, известкованием и методом катионного обмена. Реакция при аэрировании:

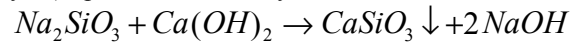


ПДК железа составляет 0,03–0,05 г/л.

Удаление марганца осуществляется известковым методом, катионного обмена и биологическими методами очистки. ПДК марганца равна 0,1 мг/л. При известковании (в щелочной среде,  $pH > 9,5$ ) протекают реакции



Освобождение от кремниевой кислоты (для теплоэнергетических и других нужд) проводят, используя известковое молоко  $Ca(OH)_2$ :



Иногда используют метод коагуляции на алюминате натрия. Метод ионного обмена позволяет получать полную очистку от  $Na_2SiO_3$  – до 0,05 мг/л.

Для дезактивации воды применяют методы коагуляции и фильтрации, а также сорбции на активированном угле.

## Ë â ê ö è ÿ 1 1 0

**Сточные воды и их очистка****Ë èâî :**

1. Òððàèòàðèíðèèèà òòí ÷í Ûò àí à.
2. Ì ðàààèùí ì – àí ì òíðèì àÿ èí ì òáí ððàòèÿ àâùáíðà è ì ðààèèè òí òíèà ì ÷èùáí ì Ûò àí à à àí àí àí ù.
3. Èðàòèèèè ì áñí ð ì àòí àí à ì ÷èíðèè òòí ÷í Ûò àí à.

Сточные воды делятся на бытовые, производственные и ливневые. Они отличаются происхождением, составом, биологической активностью и в связи с этим способами очистки.

Бытовые сточные воды имеют слабо щелочную реакцию. Соотношение минеральных и органических примесей приведено в таблице по группам примесей в процентах (%).

Загрязнения	Нерастворимый осадок	Суспензии	Коллоиды	Растворенные
Минеральные	5	5	2	30
Органические	15	15	8	20

Концентрацию загрязнений бытовых сточных вод с учетом нормы водоотведения определяют по формуле

$$C = \frac{10^3 a}{q}, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация примеси, мг/л;

$a$  – количество загрязнений, приходящееся на одного жителя, г/л;

$q$  – норма водоотведения от одного жителя, л/сут.

Одной из важнейших характеристик величины  $C$  является биохимическое потребление кислорода за 5 суток, или ХПК<sub>5</sub>. Эта величина для неосветленных бытовых сточных вод составляет 54, а осветленных – 35 г/сут. Основой для бытовых сточных вод являются: азотсодержащие соединения (аммонийные соли и аминокислоты), углеводороды, полисахариды, жиры. В ней содержатся, помимо микробиологической флоры, яйца паразитов и червей. От одного жителя поступает  $4,5 \cdot 10^{12}$  клеток в сутки. Общее количество микроорганизмов исчисляется порядка 107 мл.

В зависимости от состава примесей и их действия сточные воды делятся на 4 группы:

- 1) воды, содержащие неорганические примеси, резко изменяющие  $pH$  воды водоема и обладающие токсичным действием, к ним относятся стоки гальвано-цехов, кислотных и азотно-туковых производств и т. д.
- 2) воды, содержащие нетоксичные неорганические примеси, но отрицательно сказывающиеся на жизнедеятельности живых организмов; к ним относятся стоки рудообогатительных фабрик и цементных заводов.
- 3) воды, содержащие нетоксичные органические вещества, приводящие к



пены очистки может достигать 85–95%.

Экстракция. Метод основан на извлечении органических примесей с малой растворимостью в воде с помощью органических растворителей-экстрактов, в которых эти соединения хорошо растворимы. Отношение концентраций экстрагируемого вещества (примеси) в экстрагенте и в очищенной воде при состоянии равновесия есть величина постоянная  $K_{\text{э}}$  – коэффициент распределения

$$K_{\text{э}} = \frac{C_{\text{э}}}{C_{\text{в}}} \quad (2)$$

где  $C_{\text{э}}$  – концентрация вещества в экстрагенте, кг/м<sup>3</sup>,

$C_{\text{в}}$  – концентрация вещества в воде, кг/м<sup>3</sup>.

Применяют в оборотных и бессточных системах. В качестве экстрагентов используют бензол,  $K_{\text{э}} = 2,2$  этилацетат  $K_{\text{э}} = 55$ .

Химические методы позволяют выводить из воды ионы тяжелых металлов:  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ , переводя их в форму малорастворимых гидроксидов, сульфидов, гидроксокарбонатов и т. д.. Выпадающие осадки  $Me(OH)_2$ ,  $MeS$ ,  $(MeOH)_2CO_3$  отфильтровывают.

В необходимых случаях проводят сжигание примесей и очистку от радиоактивных изотопов – дезактивацию.

### Проблема обезжелезивания подземных вод

Г е а і :

1. I eadabey yeai ai oia a ai ai i i ni uo i eapao.
2. O i di u i aoi aeai ey aeaeasa a ai ai i i ni uo i eapao.
3. Oadi i ae i ai eea yeaeodi oei e-apei ai i daadauai ey oi di aeaeasa.
4. Eei aoeea eci ai ai ey ei i oai odaoee oi di aeaeasa.

Рассмотрение миграции элементов в водоносных пластах имеет двойное значение:

- 1) вода в водоносных слоях – это источник питьевой воды; вода также лечебный фактор;
- 2) она является “визитной карточкой” полезных ископаемых, содержащихся в слое.

Под миграцией понимают перемещение элементов и их соединений от коренного источника водами. Миграция зависит от физико-химических свойств элементов. Миграцию ионов определяет радиус  $r$  и заряд  $z$ , а также комплексная характеристика – ионизационный потенциал  $I$ . Потенциал  $I$  является функцией  $r$  и  $z$ :

$$I \approx z^2/r \tag{1}$$

По величине миграции все элементы делятся на три группы

1. Элементы с низким потенциалом ионизации  $I$  (0.6–2.6 eV):  $Ag^+$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ . Эти элементы остаются в водных растворах в ионном состоянии.
2. Элементы со средним потенциалом  $I$  (2.7–5.9 eV) такие, как  $Sb^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $V^{3+}$ . Эти ионы осаждаются из водных растворов при невысоких значениях pH.
3. Элементы с потенциалом  $I > 6.3$  eV. К ним относятся  $P^{5+}$ ,  $V^{4+}$ ,  $V^{5+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $W^{6+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ . Эти элементы растворимы в воде в форме оксидных ионов, являющихся комплексообразователями. Образуют соединения типа  $[(MeO)(H_2O)_n]Cl$ ,  $[(MeO)(H_2O)_n]SO_4$ .

Академик Вернадский В. И. разделил элементы на 2 группы:

1. Пирогенетические (редкоземельные и урановые элементы), которые присутствуют в воде в незначительных количествах.
2. Гидрогенетические элементы ( $Co$ ,  $Mn$ ,  $Fe$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ ), участвующие в водном равновесии земной коры. Имеют место равновесия: земная кора – вода и растворенные элементы – живые организмы, через которые реализуется всеобщая связь.

Железо – один из наиболее распространенных элементов в воде. Цветность воды на 80–100% обусловлена ионными формами железа в воде. Реологические законы определяются сорбцией, дисперсностью и диффузией.

Формы нахождения железа в водоносных пластах представляют собой:  $Fe(OH)^+$ ,  $Fe(OH)_2^0$ ,  $Fe(OH)_3^-$ ,  $FeCl^+$ ,  $FeCl_2^0$ ,  $FeCl_3^-$ . Активность ионов является функцией концентрации.

$$a = fc \tag{2}$$

Константа равновесия распада иона запишется



$$K = \frac{a_{\text{Fe}^{2+}} \cdot a_{\text{An}^-}^m}{a_{[\text{FeAn}_m]^{2-m}}} \quad (3)$$

где  $a_{\text{Fe}^{2+}}$  – активность ионов  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $a_{\text{An}^-}$  – активность ионов  $\text{An}^-$ ,  
 $m$  – число анионов в сложном ионе.

Логарифм константы в численном виде может быть рассчитан по уравнениям:

$$-\lg K = pK = 4.8 \div 1.5(\text{Fe}^{2+})$$

$$-\lg K = pK = 4.0 \div 3.8(\text{Fe}^{3+})$$

Растворимость  $\text{Fe}^{3+}$  перекрывается растворимостью  $\text{Fe}^{2+}$ . Ионы можно разделить. На основе  $\lg K$  можно рассчитать степень растворимости всех форм железа при заданной температуре.

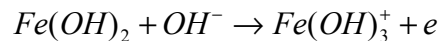
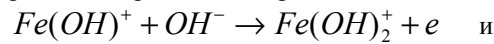
Электродный потенциал процесса переноса электрона  $\text{Fe}^{2+} - e \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  рассчитывается по формуле Нернста

$$E = E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}}^0 + \frac{0.059}{n} \lg \frac{a_{\text{окисл}}}{a_{\text{восст}}} \quad (4)$$

т. к.  $n = 1$ , уравнение принимает вид

$$E = E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}}^0 + 0.059 \lg \frac{a_{\text{окисл}}}{a_{\text{восст}}} = 0.771 + 0.059 \lg \frac{a_{\text{окисл}}}{a_{\text{восст}}} \quad (4')$$

Для реакций переноса электрона



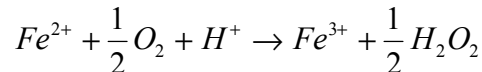
Электродные потенциалы рассчитываются аналогично по уравнениям, соответственно

$$E = 0.703 + 0.059 \lg \frac{a_{\text{Fe}(\text{OH})_2^+}}{a_{\text{Fe}(\text{OH})^+}} - 0.059 \text{pH} \quad (5)$$

$$E = 0.213 - 0.059 \text{pH} \quad (6)$$

Электродные потенциалы определяют термодинамические особенности взаимопревращения форм железа.

Кинетическое уравнение для процесса

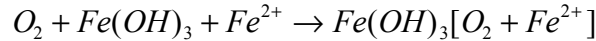


представляет собой уравнение первого порядка

$$v = \frac{dC_{\text{Fe}^{2+}}}{dt} = -k C_{\text{Fe}^{2+}} \quad (7)$$

Экспериментальная кривая изменения концентрации ионов  $\text{Fe}^{2+}$  во

времени отвечает уравнению второго порядка. Отклонение от теоретической кривой связано с сорбцией. Частицы гидроксида железа, адсорбирующие кислород и ионы  $Fe^{2+}$ , выступают в качестве катализатора



С учетом этого уравнение (7) может быть записано

$$\frac{dC_{Fe^{2+}}}{dt} = -(k_0 + k_s)C_{Fe^{2+}} \quad (7)$$

где  $k_0$  и  $k_s$  – константы, связанные с сорбцией, соответственно, кислорода и ионов железа.

Для вычисления констант сорбции воспользуемся уравнениями сорбции, связывающими количество сорбируемого вещества с постоянными Генри

$$a_0 = \Gamma_0(C_{Fe^{3+}}) = k_0(C_{Fe^{3+}})^{1/n} \quad (8.1)$$

$$a_s = \Gamma_s(C_{Fe^{3+}}) = k_s(C_{Fe^{3+}})^{1/n} \quad (8.2)$$

От формы поверхности будет зависеть характер сорбции кислорода и ионов железа, который, в свою очередь, определяет конечное реологическое уравнение.

### Схема работы установок “Виредокс”.

Схема состоит из технологических стадий:

- 1) Закачки кислородобогащенной воды в пласт и
- 2) Откачки обезжелезенной воды.

По мере роста пленки гидроксида железа в пласте и адсорбции ионов начинает работать каталитический слой и кривая извлечения железа из раствора отклоняется от линейного закона.

Механизм, таким образом, складывается из трех стадий:

1. Образование зерен гидроксида железа
2. Адсорбция на зерне кислорода и ионов железа, т. е. образование дисперсно-каталитической системы
3. Изменение характера утилизации ионов железа.

Пусть осуществляется закачка азрированной воды  $Q_3$  во времени  $t_3$ . Отбираемая вода во времени  $t_0$  содержит допустимое число ионов железа. Концентрация  $C_{Fe^{2+}}$  связана с параметрами технологии аэрации, подачи и отбора воды следующими соотношениями:

$$X = f\left(\frac{Q_3 t_3}{Q t_0}\right) \quad (9)$$

$$C_{Fe^{2+}} = erf \frac{1}{2\sqrt{F_0}} \quad (10)$$

где  $F_0$  – параметр:

$$F_0 = Dt_0 / X^2 \quad (11)$$

где  $D$ ,  $X$  – коэффициент диффузии,  $X$  – линейный параметр,  $F_0$  – безразмерный критерий.

Ë â ê ö è ÿ <sup>1</sup> 1 2

## *Общая микробиология. Морфология и физиология микроорганизмов*

Ë èáì :

1. Ëðîí ðè-âíèèèè ì áçì ð ðàáì òù ì èèðì àèì èì âì á à ì àèàíòè ì èèðì àèì èì àèè âì àù
2. Ì ì ðòì èì àèù ì èèðì ì ðàáì èçì à.

Микроорганизмы ассимилируют *Cu, Sb, Te, H<sub>2</sub>S* для построения организмов и на энергию движения. Под действием микроорганизмов образуются и полезные ископаемые: железистые и серосодержащие бактерии.

Микробиология воды изучает строение и жизнедеятельность организмов, использование микроорганизмов в качестве индикаторов степени загрязнения воды.

Выделяют одноклеточные и многоклеточные организмы растительного и животного происхождения. К ним относятся: бактерии, бактериофаги, вирусы, грибы, простейшие.

Микробиология изучает морфологию микроорганизмов и физиологию. Начало экспериментальной физиологии бактерий связана с именем М. М. Тереховского. Основоположником научной микробиологии является Л. Пастер, открывший вакцину от бешенства. И. И. Мечников (1845–1916) впервые разработал теорию иммунитета, выдвинул учение об антагонизме микроорганизмов. Р. Кох получил чистые культуры бактерий, выращенные на питательных средах. Д. И. Ивановский открыл вирусы (1892). Академик Н. Ф. Гамалея открыл группу микроорганизмов – бактериофаг – паразитов, изменяющих свое строение и приспосабливающихся к окружающим условиям. Основы учения о хемотрофном типе питания микроорганизмов были заложены С. Н. Виноградовым. Он изучал жизнедеятельность микроорганизмов – хемотрофов, развивающихся в почве (железосеробактерий). Л. С. Ценовский развивал микологию – науку о грибах.

### **Морфология микроорганизмов.**

Различают микрофлору (одно- и многоклеточные организмы растительного мира) и микрофауну (организмы животного мира). Основные типы организмов:

- 1) ультрамикробы, вирусы и фаги,
- 2) бактерии,
- 3) актиномицеты,
- 4) грибы,
- 5) водоросли,
- 6) простейшие,
- 7) коловратки.

Вирусы не имеют клеточного строения. Их размеры порядка 10–300 нм. В состав вирусов входят молекулы РНК и ДНК, которые окружены

белковой оболочкой. Обладают специфичностью действия. Вирусы могут быть кубическими, сферическими, размножаются путем деления. Вирусы встраиваются в клетку, разрывая ее оболочку. Устойчивы к высушиванию.

Актиномицеты (лучистые грибы) занимают промежуточное положение между бактериями и грибами. Вызывают запахи и привкусы воды.

Фаги имеют булавидную форму. Их действие основано на проникновении в клетку.

Бактерии одно- и многоклеточные организмы, их размер варьируется от 0.4 до 10 мкм. По форме клеток бактерии делятся на группы: шаровидные (кокки), палочковидные и извитые. По характеру деления кокки делятся на микрококки, диплококки, стрептококки, стафилококки и т. д.. Извитые формы отличаются количеством витков и подразделяются на вибрионы, спириллы и спирохеты.

Грибы – многоклеточные организмы, имеющие ветвящийся субстрат. Могут размножаться делением, почкованием, с помощью спор и половым путем.

Водоросли отличаются содержанием хлорофилла.

Простейшие – одноклеточные животные организмы.

Коловратки – многоклеточные животные организмы, служащие индикатором степени очистки воды.

Ë â ê ö è ü 1 13

## *Физиология и роль микроорганизмов в процессах преобразования вещества и энергии в природе*

Ï èàí :

1. Ï àì áí áâçñòà è ýí äðàèè.
2. Òèçèèèãèý è ìèðàí èà ì èèðî ðãàí èçì ì à
3. Àèèòì èèèðî áàí èà ýí äðàèè à èèèèè.
4. Çàèì ìì äðí ìòèè ðí òà èèèèèèè àèèèèèè.

### **Конструктивный и энергетический обмен.**

Физиология, в отличие от морфологии, изучает процессы и закономерности функционирования живых организмов.

Взаимодействие организмов со средой заключается в обмене веществ и энергии – метаболизме. Метаболизм включает в себя два процесса: конструктивный обмен (ассимиляция, или анаболизм) и энергетический (диссимиляция, или катаболизм). При конструктивном обмене вещества усваиваются и конструируют тело организма. В энергетическом обмене вещества в основном за счет гидролитических и окислительно-восстановительных процессов разрушаются, т. е. диссимилируют энергию.

Энергия ассимилированной клетки фиксируется в форме АТФ – аденозинтрифосфата. По мере затрат энергии в процессе жизнедеятельности организма она будет возмещаться за счет энергии химических связей. Такой организм перерабатывает массу веществ, в 30–20 раз больше массы собственного тела.

Усвоение и расход энергии при ассимиляции и диссимиляции реализуется энзимами, биологическими катализаторами или ферментами. Ферменты могут быть простыми белками (протеины), сложными белками (протеиды – содержащие активные центры белковых молекул). У протеидов активные группы – сложные органические вещества или переходные металлы (Fe, Co). Белковая часть молекулы фермента называется фероном (носитель), а добавочная – агонем (активная группа). Ферон и агон не проявляют каталитической активности в отдельности. Если агон может существовать самостоятельно, он называется коферментом. Коферменты – переносчики электронов или радикалов.

Механизм катализа заключается в образовании промежуточного комплекса:

фермент + субстрат  $\leftrightarrow$  ферментный комплекс  $\leftrightarrow$  продукт реакции + фермент

В ферментативных реакциях понижается энергия активации и резко возрастает скорость реакции. Для процесса взаимодействия фермента  $\Phi_0$  с субстратом  $M$  закон развития ферментного комплекса  $\Phi^*$  во времени  $t$

$$\Phi_0 + M \leftrightarrow \Phi^* \quad (1)$$

зависит от  $n$  – числа погибших клеток и  $\beta$  – константы скорости рождения

новых клеток и может быть выражен уравнением

$$\Phi^* = \frac{\Phi_0}{1 + \frac{\Phi_0 - n}{K_1} e^{-\beta t}} \quad (2)$$

где  $\Phi_0 = [M] \frac{K_1}{K_1 + 1}$ , (3)

$K_1$  – константа равновесия.

**Питание микроорганизмов.**

За исключением коловраток, микроорганизмы получают питание в форме молекул простых веществ. Микроорганизмы разлагают сложные вещества до молекул с помощью ферментов. Транспортировка веществ происходит по принципу осмоса. Молекулы перемещаются из области с концентрацией  $C_1$  в область с концентрацией  $C_2$ , если  $C_1 > C_2$

Второй путь – за счет диффузии, описываемой уравнением

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (4)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии компонента [ $м^2/час$ ].

Микроорганизмы проявляют избирательность в питании. Источником питания является азот, фосфор, ионы железа. Микроорганизмы, осуществляющие перевод световой энергии в энергию химических связей, называются фототрофы.

Микроорганизмы, которые черпают энергию в форме химических реакций, называются хемотрофами.

I. Фототрофы подразделяются на:

а) фотолифотрофы, черпающие солнечную энергию для поступления живого вещества из воды и диоксида углерода – фотосинтетика;

б) вещества, способные использовать энергию солнца для химического превращения одних веществ в другие в своем организме (например, пурпурные бактерии).

II. Хемотрофы подразделяются на:

а) хемотрофы, использующие энергию осисления неорганических соединений;

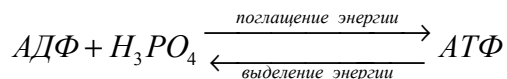
б) хемоорганотрофы, использующие энергию превращения органических веществ.

Микроорганизмы не могут существовать без витаминов – факторов роста и созревания ( $B_1, B_2$ ).

**Аккумуляция энергии в клетке.**

Микроорганизмы способны накапливать энергию в виде химических связей, разрыв которых приводит к выделению энергии. Одним из аккумуляторов энергии является аденозинтрифосфат (АТФ), который

синтезируется из аденозиндифосфата путем присоединения остатка фосфорной кислоты.



Обмен веществ в микроорганизме не отделим от обмена энергией. При конструктивном обмене энергия потребляется, при энергетическом – выделяется.

### Закономерности роста культуры микроорганизмов.

Рост и развитие культуры микроорганизмов в закрытой системе, содержащей ограниченное количество питательных веществ, будет лимитироваться их концентрацией, а также накоплением продуктов обмена в окружающей среде. Закономерности развития культуры микроорганизмов одного вида описываются кривой активного роста, представленной на рисунке.

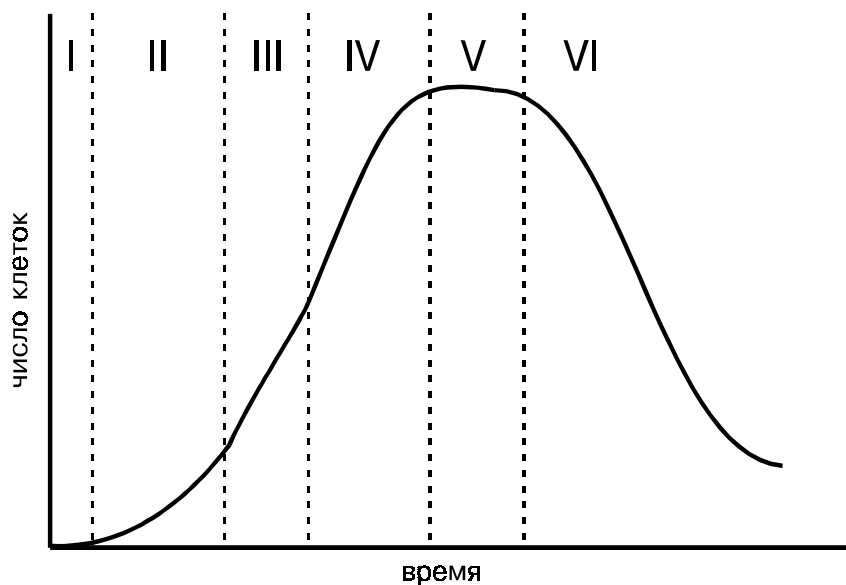


Рис. 8. Фазы роста микробной культуры:

- I – лаг-фаза;*
- II – фаза ускоренного роста;*
- III – фаза логарифмического роста;*
- IV – фаза замедленного роста;*
- V – стационарная фаза;*
- VI – фаза отмирания*





пающих в водоем загрязнений на санитарный режим, химический состав воды и условия жизнедеятельности водных организмов определяется их свойствами. Нарушение жизнедеятельности водных организмов, ухудшение качества воды вызывается соединениями, продуцируемыми некоторыми группами микроорганизмов в самом водоеме. Выделяют несколько видов загрязнений двух основных классов: химические и микробиологические. Классификация видов загрязнений представлена на рисунке 9.

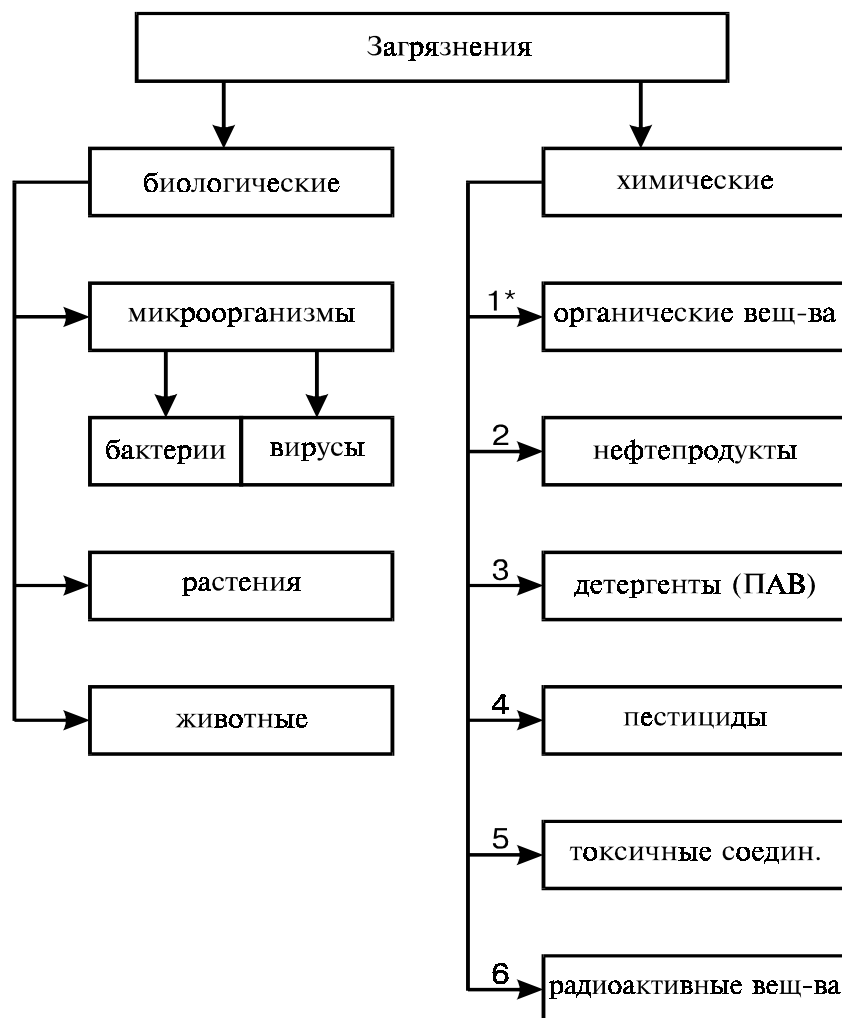


Рис. 9. Структура загрязнения сточных вод.

Возможны различные виды вторичных загрязнений от отмирания жи-

вых организмов. Поступление биогенных элементов ( $N, P, K$ ) при сливе удобрений с полей в водоемы приводит к интенсивному развитию высших водных растений, цветению, появлению нежелательных дополнительных сообществ микроорганизмов.

### Процессы самоочищения водоемов.

Поступление загрязнений – первый этап воздействия условий на естественное состояние водоемов. Возможно ли сопротивление этому воздействию? В частности, донный ил как сорбент и активная среда жизнедеятельности организма является природным фактором, приводящим к очищению водоема, т. е. средствами самого водоема устраняются внешние условия его загрязнения. Выделяют три группы биоценоза дна.

- 1) накопители органического вещества;
- 2) минерализаторы;
- 3) захоронители.

### Скорость и интенсивность самоочищения.

Скорость и интенсивность процесса самоочищения находится в зависимости от температуры. При температуре воды  $10^{\circ}\text{C}$  наибольшее количество бактерий обычно наблюдается через 50 часов, а при  $20^{\circ}\text{C}$  – через сутки. Важными факторами, влияющими на самоочищение, являются кислородный режим,  $pH$  и окислительно-восстановительный потенциал.

Зоопланктон снижает в процессе самоочищения содержание биомассы и фитопланктона. Высшая растительность водоема играет важную роль в самоочищении. Один простейший организм в течении дня потребляет 30 тысяч бактерий. ПАВ и соли тяжелых металлов способствуют отмиранию микроорганизмов, нарушению биоценоза.

Скорость разложения, характеризующая самоочищение водоема, определяется константой скорости  $\beta$  и концентрацией микроорганизмов  $C$ .

$$V = \beta \cdot C \quad (1)$$

Концентрация  $C$ , в свою очередь, определяется количеством более мелких микроорганизмов  $\Phi$ , которые потребляют микроорганизмы  $C$ .

$$\Phi = \frac{\Phi_0}{1 + \frac{\Phi_0 - n}{n} e^{-\beta t}} \quad (2)$$

где  $n$  – число отмирающих организмов,  
 $\Phi_0$  – концентрация питательной среды,  
 $t$  – время жизнедеятельности, сутки.

Константа скорости  $\beta$  является функцией БПК:

$$\beta = \frac{1}{t} \ln \frac{БПК_{2t}}{БПК_{2t} - БПК_t} \quad (3)$$

$БПК_{2t}$  определяется кратными сроками анализа на содержание биокси-

мически переработанного кислорода.

Активную роль играют микроорганизмы (бактериофаги) в очищении. Патогенные бактерии поедаются простейшими, однако они обладают свойством приспособления к новым условиям, и тогда они избегают гибели.

### Зоны сапробности.

Экологическая характеристика степени загрязнения водоема обычно задается зонами сапробности. Под сапробностью понимают способность гидробионтов, обусловленную их физиологическими особенностями, жить в воде с определенной степенью загрязнения органическими соединениями. В зависимости от степени загрязнения воды выделяют следующие зоны сапробности:

*p* – полисапробную,

*dm* – д-мезасапробную,

*βm* – β-мезасапробную,

*o* – олигосапробную,

*k* – катаробную, отвечающую самым чистым водам.

*p* – зона сильного загрязнения, число бактерий достигает  $10^6$ /мл, общее число видов микроорганизмов – 30–36.

*dm* – зона с большей степенью распада органических веществ, содержится большое количество аминокислот и  $NH_3$  и мало  $CO_2$  и  $H_2S$ , общее число видов – 70–76.

*βm* – зона наличия продуктов минерализации органических соединений – аммонийных солей, ионов  $NO_3^-$  и  $NO_2^-$ . Число бактерий –  $10^4$ /мл, число видов до 135. Широко представлены инфузории, рыбы и т. д.. Эта зона соответствует качеству воды рек, прудов, водохранилищ со стабильным санитарным режимом.

*o* – зона чистой воды, с числом бактерий  $10^3$ /мл и количеством видов – более 160.

**Роль микроорганизмов в процессах  
аэробного окисления примесей сточных вод  
(часть 1)**

Ë ä äí :

1. Äyðí äí üé ï ðí óáññ ï èèñéáí èü ï ðááí è-áñèèò ááüáñòá
2. Èéí áòèèá èçì äí äí èü +èñéáí ï ï òè ááèòáðèè
3. Äçí òñí ááðæáüèá ááüáñòáá èäè ýí áðááðè-áñèèé ï ï òèòáèü

Полная биологическая очистка является эффективным средством очистки сточных вод. Эффективность работы станций очистки определяется подбором оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов биоценозов очистных сооружений. Разложение органических веществ может происходить в аэробных и анаэробных условиях.

Аэробные процессы обычно используются для окисления загрязнений, остающихся в сточной воде после отстаивания. Окисление осуществляется аэробными микроорганизмами в естественных (биологические пруды, поля орошения и поля фильтрации) условиях и на искусственных очищенных сооружениях (аэротенки, био- и аэрофильтры). Эффективность удаления органических веществ определяется технологическими особенностями очистных сооружений и выбором оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов: температуры, pH, содержание растворенного кислорода и т. д..

**Аэробные процессы разложения без азотистых органических веществ.**

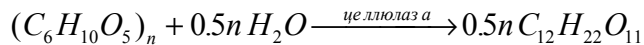
Начальное число бактерий  $\Phi_0$ , концентрация фермента  $M$  определяют характер равновесия и конечное число бактерий  $\Phi$ .

$$\Phi_0 \xrightarrow{M} \Phi$$

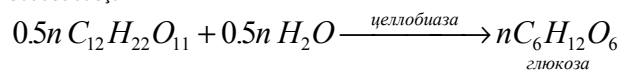
Ферментативный процесс – имманентный процесс аэробного окисления веществ. Он осуществляется колониями бактерий, благодаря которым не прекращается жизнедеятельность бактерий и происходит процесс переработки органических веществ. Материалом питания белкового существования является  $CO_2$  и  $H_2O$ . Этот процесс осуществляется бактериями *Sutophaga*, *micromonospora*. Поэтому окисление жиров, целлюлозы, предельных углеводов происходит по некоторым стадиям и механизмам.

**Окисление целлюлозы и пектиновых веществ.**

Разложение целлюлозы начинается с ферментативного гидролиза вначале до дисахарида целлобиозы, а затем – до глюкозы.



öééöáéäöçä



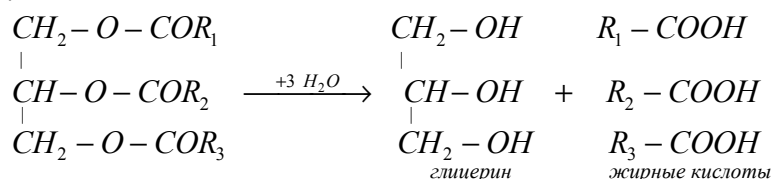
Суммарно схема сложных ферментативных процессов может быть записана



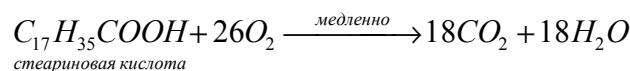
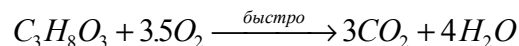
где  $\Delta H_{OГ}$  – энтальпия процесса окисления глюкозы.

### Окисление жиров.

Разложение жиров начинается с их гидролиза под влиянием фермента – липазы, содержащейся во многих микроорганизмах – пигментных бактериях, актиномицетах, плесневых грибах родов *Aspergillus* и *Penicillium*.

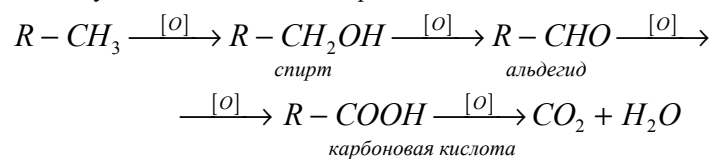


Под воздействием микроорганизмов в аэробных условиях протекают следующие стадии:



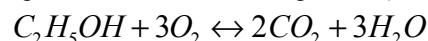
### Окисление предельных углеводородов.

Основной путь окисления можно представить схемой:



Наиболее энергично окисляют алканы бактерии *Pseudomonas*, микробактерии, актиномицеты.

Для процессов окисления спирта  $C_2H_5OH$



Константа равновесия может быть записана

$$K = \frac{P_{CO_2}^2 \cdot P_{H_2O}^3}{P_{O_2}^3} \quad (1)$$

Используя известные соотношения для развития микроорганизмов (см. лекции № 13 и № 14)

$$\Phi = \frac{\Phi_0}{1 + \frac{\Phi_0 - n}{n} e^{-\beta t}} \quad (2)$$

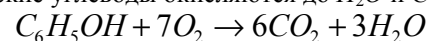
$$\Phi_0 = M \frac{K}{1 + K} \quad (3)$$

для процесса окисления этанола  $\Phi_0$  в зависимости от концентрации фермента  $M$  и других факторов выразим:

$$\Phi_0 = \frac{M \cdot P_{CO_2}^2 \cdot P_{H_2O}^3 \cdot P_{O_2}^{-2}}{1 + P_{CO_2}^2 \cdot P_{H_2O}^3 \cdot P_{O_2}^{-2}} \quad (4)$$

### Окисление фенолов и их гомологов.

Фенол и его гомология являются токсикантами по отношению к микроорганизмам. Но существуют бактерии, способные разлагать эти соединения. Окисление фенолов и их гомологов в присутствии бактерий происходит в присутствии большого количества кислорода. В этих условиях ароматические углеводы окисляются до  $H_2O$  и  $CO_2$  по типу

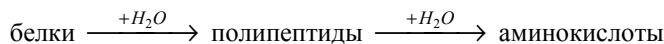


Поверхностно – активные вещества по отношению к биохимическому окислению делятся на “мягкие” и “жесткие”. Жесткие ПАВ практически не окисляются, мягкие – окисляются, в зависимости от строения.

### Окисление азотосодержащих веществ.

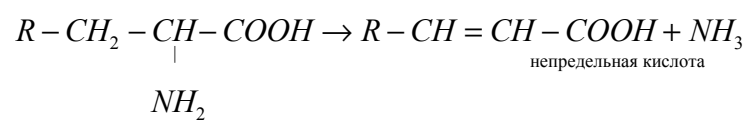
Белки – сложные органические азотосодержащие вещества непосредственно не усваиваются микроорганизмами.

Некоторые группы микроорганизмов способствуют гидролизу по схеме

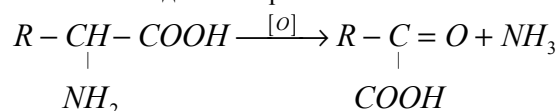


Образовавшиеся аминокислоты под влиянием других микроорганизмов, содержащих фермент трансаминазу, подвергаются дезаминированию, т. е. разложению с выделением аммиака. Оно осуществляется различными путями:

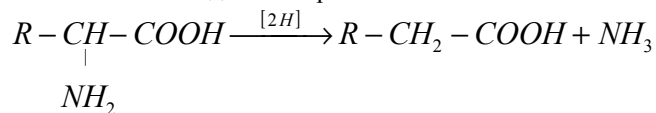
- 1) прямое дезаминирование



2) окислительное дезаминирование



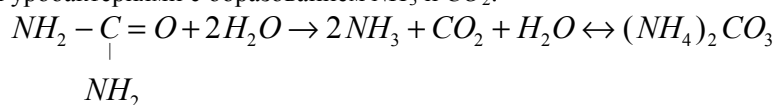
3) восстановительное дезаминирование



Процесс разложения продуктов гидролиза белковых соединений микроорганизмов с образованием аммиака называется аммонификацией.

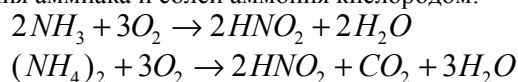
**Разложение карбамида.**

Под действием фермента уреазы карбамид (мочевина) гидролизуется уробактериями с образованием NH<sub>3</sub> и CO<sub>2</sub>:



**Нитрификация.**

Образующийся аммиак используется в качестве энергетического материала нитрозобактериями. Энергия, необходимая для жизнедеятельности нитрозобактерий, получается в результате ферментативных реакций окисления аммиака и солей аммония кислородом:

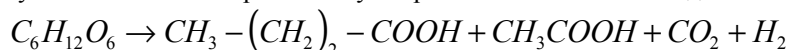


Эти процессы осуществляются бактериями, главным образом Nitrosomonas, только в аэробных условиях.





Особенностью является образование масляной, уксусной кислоты,  $CO_2$  и  $H_2$ , оно вызывается маслянокислыми бактериями *Clostridium butyricum*. Схему масляно-кислого брожения суммарно можно записать в виде:



Брожение пектиновых веществ осуществляется бактериями и грибами, гидролизующими пектиновые вещества, например, облигатными анаэробами *Clostridium felsenium*.

Разложение жиров в анаэробных условиях, вызываемое возбудителями *Clostridium perfringens* и др. проходит через стадию образования глицерина и жирных кислот. Конечным продуктом являются метан и  $CO_2$ .

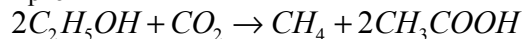
Метановое брожение.

Метановое брожение – сложный процесс, протекающий при участии нескольких групп микроорганизмов. Сущность основных закономерностей метанового брожения заключается в сбраживании органических кислот, спиртов, образующихся на первой стадии брожения, с выделением  $CH_4$  и  $CO_2$ . Основные биохимические процессы, протекающие с образованием  $CH_4$ , можно выразить следующими уравнениями:

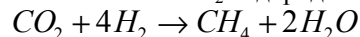
а) брожение органических (жирных) кислот



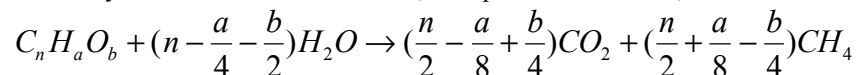
б) спиртов



в) восстановление  $CO_2$  водородом



Около 70–75% метана образуется из  $CH_3COOH$ , а остальное – из  $CO_2$ ,  $H_2$  и других соединений. Общее эмпирическое уравнение метанового брожения с участием воды для веществ, содержащих  $C$ ,  $H$  и  $O$ , имеет вид:



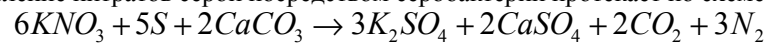
Основными возбудителями метанового брожения является палочковидные и кокковые формы бактерий. Процессы образования метана используются микроорганизмами в энергетическом обмене. Метановое брожение протекает в средах с  $pH$  5–7.

**Разложение азотосодержащих органических соединений в анаэробных системах.**

Разложение белков завершается образованием аминокислот ароматического ряда, меркаптанов, сероводорода. Многие из этих веществ имеют неприятный запах. Анаэробное разложение белков вызывается спорообразующими палочками *Bacillus putrificus*, *Bacillus sporogenes*.

Процесс денитрификации заключается в ферментативном восстановлении нитратов до свободного азота в анаэробных условиях. Возбудители денитрификации: *Bacterium denitrificans*, *Pseudomonas fluorescens*. Восста-

новление нитратов серой посредством серобактерий протекает по схеме



Ë ä ê ö è ü 1 17

**Сооружения по очистке сточных вод с помощью микроорганизмов (часть 1)**

Ï èàí :

1. Ï ÷èñðèà òîí ÷í ùò àí à í à àyðî ðáí èàð
2. Ï ÷èñðèà òîí ÷í ùò àí à í à àèí òèèyððàò
3. Èèí àðè÷àíèèà çàèí ìî ððîí òèè òî ðáðèè.

Начальные стадии разложения сводятся к процессам:

- 1) сорбция загрязняющего вещества на “активном” иле в случае аэробного процесса;
- 2) в анаэробном процессе аналогично п. 1) протекает на иле или на бактериях, которые действуют по принципу брожения.

Следующая стадия приводит к минерализации. Начальная стадия – сорбция – физико-химический процесс, а переработка адсорбированных загрязнений в аэробных и анаэробных средах – микробиологический процесс. Сорбция на иле в обеих средах протекает 5–10 минут. Микробиологический процесс обработки загрязнений активным илом протекает часы, сутки. Протекание процесса зависит от следующих условий: температура воды в сооружениях, рН среды, наличие кислорода и т. д..

Виды очистных сооружений для окислительных процессов в аэробных условиях:

- 1) аэротенки,
- 2) биофильтры,
- 3) очистные пруды,
- 4) поля орошения и фильтрации.

В аэротенках и на биофильтрах происходит интенсивное перемешивание активного компонента ила с воздухом. В очистных прудах и на полях идет медленное перемешивание .

Очистка сточных вод в аэротенках протекает в присутствии активного ила с искусственной аэрацией, включающей

- а) продув воздуха компрессором сквозь трубы или пластины с отверстиями (пневматическая аэрация);
- б) механическое взбивание воздушной смеси мешалками.

Количество подаваемого воздуха в систему определяется БПК. Зависит от парциального давления кислорода и состояния воды. Расход воздуха А в объеме на 1 объем сточной воды рассчитывается по формуле

$$A = \frac{h_2 - h_1}{S \cdot n \cdot 2,099} \tag{1}$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – БПК, соответственно, сточной и очищенной воды;  
 $n$  – процент используемого активным илом кислорода;  
 $S = 1.29$ г – масса 1л сухого воздуха.

Рассчитанный объем воздуха подается в течение всего окислительно-

го процесса. Объем подачи должен обеспечивать перемешивание всего объема, чтобы активный ил не отлагался на стенках аэротенка и чтобы предотвращался процесс анаэробного загнивания. При расходе  $A = 3 \text{ м}^3/\text{г}$  на  $1 \text{ м}^2$  поверхности существует риск плохого перемешивания. При  $A = 10 \text{ м}^3/\text{г}$  на  $1 \text{ м}^2$  поверхности идет слишком бурная аэрация. Оптимальное значение  $A = 6 \text{ м}^3/\text{г}$ .

### Температурные условия.

Температурный режим определяется температурой поступающей воды и высокой теплоемкостью воды. Температура канализационной сточной воды лежит в диапазоне  $8\text{--}25^\circ\text{C}$ . Микробиологический процесс в аэротенках осуществляется активным илом, содержащим диспергированные колонии.

Количество ила в 1 л составляет 5 г в расчете на сухое вещество. Сухое вещество – остаток при высушивании жидкого образца при  $105^\circ\text{C}$ . 1 л жидкости отфильтровывают и высушивают. Объем активного ила составляет  $10\text{--}25\%$  от объема жидкости в аэротенке. Активный ил – это активный сорбент с удельной поверхностью  $S = 1200 \text{ м}^2/\text{г}$ . Количество бактерий  $10^{12}$ .

В результате работы аэротенка происходит

- 1) резкое снижение концентрации загрязняющих веществ;
- 2) сорбция органического вещества на поверхности активного ила;
- 3) повышение содержания органического вещества в результате ферментативного разложения;
- 4) понижение содержания аммонийных солей и образование нитритов и нитратов, т. е. происходит минерализация органического вещества.

БПК в аэротенке снижается, и через 2–3 часа достигает  $21 \text{ мг/л}$ . Сорбция и ферментативная десорбция происходит в аэротенках минерализации в условиях второго отстойника.

### Очистка сточных вод на биофильтрах.

Биофильтры содержат материал грубой загрузки: щебень, шлак, гравий высотой  $1\text{--}3 \text{ м}$ . Грубая загрузка является активным сорбентом, что способствует образованию пленки, заселенной микроорганизмами. Данная структура получила название биофильтра. Биофильтры аэрируются в воздухе. Сами поры биофильтра содержат кислород. Наряду с вентилируемыми полостями биофильтра имеются и такие, которые зарастают. В этих случаях работа протекает по анаэробному механизму. Возможно заражение пленки биофильтра патогенными бактериями. По этой причине биофильтры подвергаются дезинфекции. Изготовление биофильтра высотой  $2\text{--}3 \text{ м}$  преследует цель избежать прорыв биопленки. В том случае, когда это наблюдается, вода из фильтра выходит недоочищенная. Таким образом, три процесса определяют работу биофильтра: сорбция, диффузия загрязняющего вещества в порах биофильтра и действия фермента бактерий по переработыванию загрязнений сточных вод (функционирование

биоциноза).

Сорбция  $A' = A_0(t_1 \cdot x)$  зависит от ряда параметров и описывается уравнением сорбции

$$A' = \beta C^{1/n} \quad (2)$$

где  $C$  – равновесная концентрация загрязняющих веществ;

$\beta, n$  – константы, зависящие от времени  $t$ ,

$x$  – высота загрузки,

$A_0$  – величина, характеризующая диффузию вещества в поры.

Диффузия описывается уравнением Фика (см. лекцию №6)

$$\frac{\partial A_0}{\partial t} = D \frac{\partial^2 A_0}{\partial x^2} \quad (3)$$

решением которого является интеграл вероятности

$$A_0 = erf \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \quad (4)$$

$D$  – коэффициент диффузии.

Введем критерий Фурье

$$F_0 = \frac{Dt}{x^2} \quad (5)$$

Тогда решение может быть выражено в виде

$$a \frac{A_0}{A'_0} = erf \frac{1}{2\sqrt{F_0}} \quad (6)$$

Количество вещества  $A_0$ , разлагающееся ферментом био пленки, будет определять константу равновесия процесса сорбции  $K$

$$K = \frac{A_0}{C} \quad (7)$$

Концентрация фермента будет определяться выражением

$$\Phi_0 = M \frac{A_0/C}{1 + A_0/C} = \frac{MA_0}{C + A_0} \quad (8)$$

Биофильтры по сравнению с аэротенками более производительны. В аэротенках процесс заканчивается за 4–10 часов, а на биофильтрах за 1–2 часа. Фильтры, через которые продувается воздух, называют аэрофильтрами. Биофильтры нуждаются в чистке от патогенных бактерий; с этой целью их хлорируют.

Ë â ê ö è ü <sup>1</sup> 18**Сооружения по очистке сточных вод с помощью микроорганизмов (часть 2)****Ï èàí :**

1. Òèîî àèü ì÷èòèè òò ÷í ùò âî ä â äòòòòòòò ì ùò âî äî äî.
2. Èíî ì èüçí ààí èà ì÷èòí ùò ì òòòò.
3. Èíî ì èüçí ààí èà ì ì èàé òèèüòòòèè.
4. Èòèòòèè àüàí òà òèì à ì÷èòí ùò òí ì òòèàí èè.

Методом микробиологической очистки используются также для очистки естественных водоемов. В качестве сорбирующего материала выступает слой почвы, омываемый водой, аэрируемый воздухом атмосферы и заселенный различными микроорганизмами. Активная толщина слоя почвы – 20–25см, адсорбирующая поверхность – огромна. Условие аэрации создаются кислородом воздуха.

Температурный режим определяется климатическими условиями. Они благоприятны в летнее и ухудшаются в зимнее время. Поэтому данные методы очистки эффективны в условиях мягкого климата.

**Очистные пруды.**

В данном методе поверхность очистного пруда разбивается на участки так, чтобы сточная вода разбавлялась чистой в соотношении 1:5. Эти пруды заселяют зеркальным карпом. Сообщество микроорганизмов в прудах формируется мезосапробными формами. Донный ил способствует развитию растительности. Основным обитателем донного ила является обыкновенный мотыль, который роется в иле и перерабатывает его за сутки в количестве 6–7 единиц собственной массы. Планктон донного ила (осуществляющий фотосинтез) помогает очищать ил не только в водоемах с сильно загрязненной пресной водой, но и с соленой водой. Бактериальный планктон и множество живых растительных форм способствуют биохимическому распаду. Внешне очистные пруды выглядят как естественные водоемы без заметного запаха. Вода, очищаемая в прудах, богата планктоном.

Результаты микробиологических процессов в прудах сводятся к следующим явлениям:

- 1) в прудах протекает почти полная минерализация органических веществ и БПК понижается до 10–15 мг/л;
- 2) резко понижается содержание азота, который превращается в форму нитритов и нитратов –  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ;
- 3) происходит значительное понижение числа патогенных бактерий.

**Поля фильтрации.**

Очистка сточных вод на полях фильтрации сопровождается процессами аэробного и анаэробного характера. Микрофлора полей фильтрации

складывается из микрофлоры сточных водных и почвы. **Состав микрофлоры.** На глубине ила 30 см содержится приблизительно 2 тысячи бактерий, на глубине 50 см – 1 тысяча. При диаметре бактерии, 0.002 мм поверхность, которую занимают бактерии, огромна. Микрофлора на полях фильтрации покрывает площадь 24 тыс. м<sup>2</sup>. 1 мл сточных вод содержит  $9 \cdot 10^8$  бактерий и, т. о., перерабатывает  $5 \cdot 10^{16}$  бактерий в сутки.

В результате, борьбы за существование выживают только те бактерии, которые приспосабливаются к жизнедеятельности в данном водоеме. Бактерии на полях фильтрации сорбируются почвой, обеспечивая видовое разнообразие биоценоза.

Применяют 3 типа очистных сооружений: септик-тенки, двухъярусные отстойники и метантенки. За одни сутки сточная жидкость отделяется от взвешенных частиц, жидкость сливается, а частицы в баке остаются. В процессе хранения осадок уплотняется и содержит 80–85% влаги. Протекают явления загнивания, начинается брожение, интенсивное газовыделение поднимает на поверхность биопленку, которая служит средой для роста грибов. Такой процесс приводит к сохранению тепла в системе, увеличению скорости распада органических веществ. В иловой массе накапливаются жирные кислоты с *pH* 5.0–5.5.

Микробы расщепляют белки, пептиды, гидролизуют жиры, разрушают углеводы, сбраживающие кислоты жирного ряда. Брожение заканчивается выделением газа. Выделение сероводорода приводит к зловонию. По этой причине септик-тенки не получили широкого распространения.

Двухъярусные отстойники представляют из себя лотки для седиментации дисперсных систем. Осадок в двухъярусных отстойниках не расслаивается. В нем активно действуют микрофлора пленки. Иловая жидкость обладает буферными свойствами с *pH* 6.6–7.5. Выделение  $H_2S$  не происходит.

Метантенки – устройства типа бродильных камер, где создаются оптимальные условия для брожения путем поддержания температурных условий за счет подогрева воды. Осуществляется загрузка свежего осадка.

Эффективность биологических методов очистки и относительная скорость распада веществ может быть оценена из данных таблицы

Примесь	Начальное содержание вещества, г	Конечное содержание вещества, г	Время распада, ч
белки	65,6	30,4	30,2
жиры	62,8	14,4	48,4
целлюлоза	55,5	3,0	52,5



Ë â ê ö è ÿ 1 19

### Проблема оптимизации подбора технологических схем очистки воды на станциях Западно-Сибирской железной дороги

Ë èàí :

1. Æèàðí àáí èí àè-àíèáÿ òàðàèòàðèíòèèèà àí àí ì àí àáííàéí à.
2. Ì ñí ì àí ùà ÿèàí àí òù ì-èíòí ì àí èàíèààà àí àà ñèààæèí Ù – ì ì òðààèòàèù.
3. Ì àðíí àèòèàù èíí ì èùçí àáí èÿ òèçèèí -òèì è-àíèèò çí àí èé àèÿ ì ì òèì èçàòèè òòàí ì-èíòèè àí àù.

#### Гидрогеологическая характеристика региона Западной Сибири.

Западно-Сибирский артезианский бассейн, занимая большую территорию, характеризуется разнообразиями условий залегания подземных вод, различием состава вод, минерализации, температуры и т. д.. В ряде случаев эти воды отвечают стандарту, в ряде – имеют высокое содержание солей, железа, щелочи и других компонентов. Выбор схемы очистки определяется гидрогеологической характеристикой местности, а также инженерными решениями, обеспечивающими долговечность и надежность систем очистки.

Очистка вод первой группы (станция Барабинск и др.) осуществляется на каскаде, состоящем из нескольких основных технологических элементов; схема которого дана на рисунке 10.

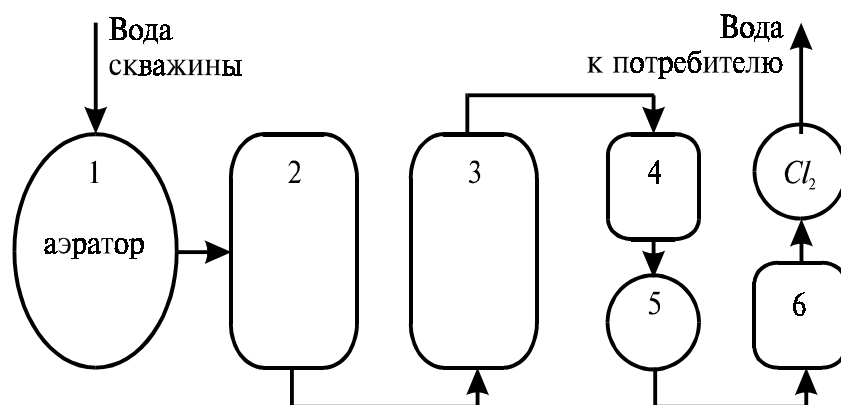


Рис. 10. Принципиальная схема каскада очистки воды.

1. Устройство получения гидроксида железа.
2. Фильтр обезжелезивания с песчаной загрузкой, обеспечивающий доведение обезжелезивания до нормы.
3. Фильтр для умягчения воды путем удаления ионов  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $HCO_3^-$ .
4. Фильтр катионитной очистки от ионов  $Na^+$ ,  $K^+$ , доведение до стандарта питьевой воды, дегазация – удаление  $CO_2$ .
5. Фильтр анионитной очистки: удаление превышающих нормы анионов  $Cl$ ,  $SO_4^{2-}$ .
6. Фильтр для удаления остаточных органических веществ на активированном угле.

Вторая схема очистки включает в качестве звеньев: 1 – аэратор, 2 – фильтр для извлечения железа, 3 (4, 5) – электродиализатор, позволяющий разделять дисперсную и дисперсионную фазу в процессе диализа. Сокращает часть звеньев, но удорожает технологию, и может быть применен там, где невысока стоимость электроэнергии.

Вторая группа вод (Татарская, Чаны и пр.) очищается на каскаде, схема которого включает следующие элементы:

- 1) аэратор,
- 2) фильтр извлечения железа,
- 3) Н – катионитный фильтр,
- 4) дегазатор,
- 5) фильтр с активированным углем.

Третья группа вод (гидрологические условия станций Каргат, Убинское) проходит обработку посредством

- 1) аэратора,
- 2) фильтра для извлечения железа.

Подаваемая потребителю вода не отвечает требованиям ГОСТ 2874-89, нарушаются нормативы ГОСТ по минерализации и содержанию железа. Во многих источниках вода отличается высокой щелочностью, более 10–15 мг-экв/л. Все предложенные схемы по устранению этих недостатков сложны и дороги. Ионитные и электрохимические методы очень чувствительны к содержанию железа в скважине. Если от железа не избавляться, то они не эффективны. Содержание  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  доходит до 0.5–3.0 мг. экв/л. Поэтому обезжелезивание скважины – важнейшая операция. Только в том случае может быть эффективна работа по эксплуатации остальных звеньев схемы. Поэтому целесообразно источники воды – скважины заменять другими скважинами и другими источниками – перейти на очистку поверхностных вод и смешивание вод различных источников. Инженеры должны найти оптимальные и эффективные методы очистки воды от железа в самой скважине (виредокс). При решении такого рода технологических задач важно знать законы термодинамики, кинетики, механизмы массопереноса и условия конкретной аэрологии и реологии. Прогресс технический и экономический лежит на путях широкого привлечения физико-химических представлений о микро- и макроявлениях.

## *Проблемы экологии водных ресурсов по данным публикаций в литературе*

Проблемы экологии, ее задачи и пути решения экологических ситуаций в области, регионе, районе следует, прежде всего, рассматривать с позиций последствий, которые несет прогресс, т. е. как результат регресса, его доли в данной ситуации, а затем уже как явления порядка человеческой, хозяйственной, технологической безответственности. В противном случае нет возможности понять и устранить экологические бедствия строго научным путем, и тогда последствия таких бедствий становятся знаменем демонстраций, голосований и просто нерегулируемых человеческих эмоций.

### **1. Мировой океан.**

Средиземное море остается загрязненным. Купающиеся в нем часто рискуют подхватить всевозможные болезни – от инфекционного гепатита до кожных заболеваний и воспалений полости рта. В популярной книге “Раненое море”, опубликованной во Франции, океанограф Ж.-И.Кусто с болью говорит об уничтожении некогда очаровательных средиземноморских бухт. Одна из них – Кортиус, которая обезображена “пятнами машинного масла, гниющими овощами,дохлыми крысами”. “Стойкий затхлый запах витает над грязной водой – запах смерти”, – пишет Кусто.

Между тем на горизонте маячит уже новая опасность. Речь идет о бурном цветении водорослей – феномене, известном как “красные приливы” (хотя они бывают желтыми, зелеными, бурными и другими).

“Красные приливы” несут смерть многим морским обитателям. Считается, что некоторые виды фитопланктона выпускают токсины при соприкосновении с жабрами рыб. Прошлой осенью трупы более десятка горбатых китов море выбросило на берег у Кейп-Кода в штате Массачусетс. Ученые исследовали макрель, найденную в желудках китов. Печень рыб оказалась насыщенной токсинами.

Долгое время ученые не признавали, что “красные приливы” – побочный продукт деятельности человека. Однако теперь преобладает мнение, что цветение водорослей связано с загрязнением моря, в частности с увеличением содержания в воде нитратов и фосфатов. Эти питательные вещества, по-видимому, стимулируют размножение фитопланктона поразительными темпами. У берегов Скандинавии “ковер” водорослей достигал одно время 30 миль в ширину, 6 миль в длину 15 ярдов в толщину.

– Мы поняли, что должны вести борьбу против химикатов, и доказали, что можем контролировать утечку пестицидов и городских отходов, – говорит Гуннар Кулленберг, океанограф, работающий в ЮНЕСКО в Париже. – Однако, борются против загрязнения искусственными удобрениями.

ниями мы пока не научились.

## 2. Зона экологического бедствия – Арал.

Высохшее дно Арала стало крупным очагом соленакопления и рождения солепылевых бурь. Безудержное внесение в почву минеральных удобрений привело к тому, что орошаемые земли стали отравленными и сами превратились в источник отравления окружающего. В воде Амударьи и Сырдарьи обнаружены ядохимикаты, высокие концентрации вредных компонентов тяжелых металлов, канцерогенных веществ, вредных бактерий. Из-за отсутствия других источников большая часть населения Каракалпакской АР, Кызыл-ординской, Чимкентской областей продолжает пользоваться непригодной водой. Но и такой воды не хватает! Потребления ее в регионе в 5–6 раз ниже нормы.

Арал смертельно болен. Больны люди, которым приходится пить отравленную воду. За последние 29 лет общая смертность населения в этих местах увеличилась вдвое, уровень детской смертности возрос с 44.7 на тысячу родившихся в 1965 году до 71.5 – в 1986 году, а в отдельных регионах до 80–90. По Кызыл-ординской области индекс материнской смертности составляет 1.3, что выше показателя СНГ в 4.3 раза. Каракалпакская АР, занимавшая долгое время первое место в стране по рождаемости, лидирует ныне по смертности. В регионе более 80% женщин детородного возраста страдают анемией (при среднем показателе по СНГ 27.3%). У 87% женщин различные хронические заболевания. Почти у 90% детей в 1–2 месячном возрасте, поступающих в районные больницы, в моче обнаруживается резко повышенное содержание солей.

Только за последние 15 лет в Кызыл-ординской области Казахстана зафиксировано 36 крупных вспышек инфекционных эпидемий, имеющих водное происхождение. По всему Приуралью в 30 раз увеличилась заболеваемость брюшным тифом, в 7 раз – вирусных гепатитом, значительно вырос процент туберкулезных, онкологических больных (в 15 раз выше всесоюзного!).

## 3. Западно-Сибирский регион. (Новосибирская область).

Регулярные наблюдения за загрязнением поверхностных вод производятся в 29 пунктах области (на 16 реках и 6 озерах). Кроме того, по мере поступления информации от жителей, контролирующих служб, об аварийных сбросах (выбросах) мы проводим анализы практически по всем рекам области.

Отметим, что наибольшее загрязнение воздуха в области наблюдается в Новосибирске, Искитиме, Бердске и р. п. Линево на стационарных, маршрутных пунктах и на целом ряде промышленных предприятий.

А где особенно загрязняются почвы ядохимикатами? В 14 хозяйствах области на площади 1340 гектаров. Пик загрязнений с мая по октябрь, когда на полях применяются ядохимикаты.

Большую тревогу вызывают уровни загрязнения малых рек городов. В них концентрация нефтепродуктов, азотосодержащих загрязнителей, фе-

нолов в апреле превышала санитарные нормы в 12–28 раз, в реке Иня – в 8–13 раз, в реке Омь (ниже города Куйбышева) – в 3–8 раз, в реке Каргат у Здвинска – в 3–4 раза, в реке Чулым у с. Ярки – в 6–13.5 раза. В озере Урюм фенолы превышали концентрации более чем в 40 раз. Азот аммонийный – в 3–4 раза, в реке Бердь – в 5–30 раз. В озере Малые Чаны содержание нефтепродуктов превышало ПДК в 11 раз, азота нитритного – в 21 раз, азота аммонийного – в 4 раза, в озере Яркуль (фенолы) – в 21 раз. В озере Большие Чаны по нефтепродуктам превышение было в 8–17 ПДК, по азоту нитритному – в 13 ПДК, по азоту аммонийному – в три ПДК.

В новосибирском водохранилище содержание фенолов превышало норму в 7–10 раз, меди – 6 ПДК, нефтепродуктов – до четырех. По остальным веществам – менее предельно допустимых концентраций.

В Оби у Новосибирска фенолы превышали санитарные нормы в 29 раз, по остальным загрязняющим веществам – в пределах нормы. Кислородный режим водохранилища и Оби хороший – содержание кислорода не ниже 8.5 мг/л.

Таяние снега способствовало смыву вредных веществ в реки и озера и повышению их концентраций, но главным источником загрязнения остаются предприятия и их сточные воды, особенно животноводческие комплексы, размещенные в поймах рек, склады (необорудованные) для хранения ядохимикатов и минеральных удобрений, сброс бытовых вод. Все это определяет содержание фенолов и азотосодержащих веществ (нитратов, нитритов).

#### **4. Комплексный подход к решению экологических задач.**

Меры и подходы к решению экологических задач являются комплексными. Они должны исходить не из эмоциональных настроений и переживаний, когда экологические неприятности оказались фактом, а из планомерного учета того факта, что регресс есть результат прогресса. И развитие прогресса в экономическом плане должно компенсировать возможные экономические сбои таким образом, чтобы не происходило нарушение закона сохранения эволюционного развития экосистемы. Все постановления, карающие меры, меры пресечения есть вторичный и скорее всего не рациональный путь решения экологических проблем и в лучшем случае может несколько ослабить бесхозяйственность, но не решить экологические задачи в целом.



