

Тема 5а

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

План лекции

Цель очистки

Классификация сточных вод. Категорирование водоемов

Общие показатели загрязненности сточных вод

Общие принципы очистки сточных вод

Краткая характеристика методов обработки сточных вод

Типичная схема очистки сточных вод со стадией биологической очистки и краткая характеристика отдельных этапов очистки

Методы биологической очистки

Сооружения естественной и искусственной биологической очистки

Классификация систем аэробной очистки

Классификация систем анаэробной очистки

Сравнение различных систем биологической очистки



Вопросы в экзаменационных билетах

1. Основные требования к очистке сточных вод и к качеству воды. Основные показатели загрязненности сточных вод и оценки качества воды. ХПК и БПК как интегральные показатели очистки.
2. Организация очистных сооружений в промышленном районе. Основные этапы обработки производственных сточных вод.
3. Принципиальная схема очистных сооружений. Характеристика отдельных стадий очистки.
4. Наиболее распространенные методы очистки сточных вод. Сооружения механической очистки, первичные и вторичные отстойники, другие сооружения для извлечения примесей.
5. Методы биологической очистки сточных вод. Классификация и основные особенности.
6. Сооружения аэробной биоочистки. Их классификация.
7. Сооружения анаэробной биоочистки. Их классификация.

Кн. 2, т.1, с. 13-52, 54-56, 76-78

Цель и нормативы очистки сточных вод

Целью очистки сточных вод является удаление из них взвешенных и растворимых органических и неорганических соединений до концентраций, которые не превышают регламентированные (ПДК).

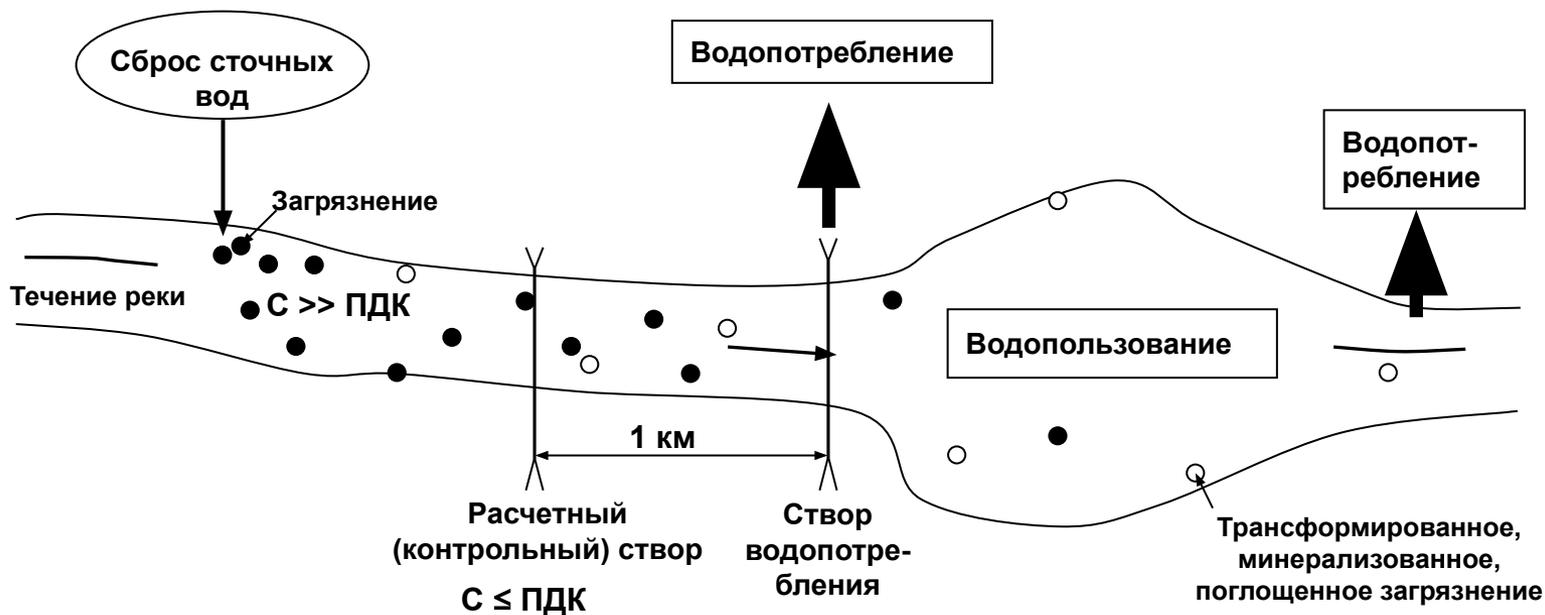
Чем ниже содержание загрязнений в очищенной сточной воде – тем выше ее качество.

Сточные воды подразделяются на **атмосферные** (дождевые, талые), **бытовые** (городские, хозяйственно-фекальные, хозяйственно-бытовые) и **производственные** (промышленные).

Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами нормируются показатели качества воды в ближайшем к месту выпуска **створе** реки, используемым в качестве источника водоснабжения или для культурно-бытовых целей. Их выполнение обязательно как для промышленных объектов, так и хозяйствующих субъектов.

Нормативы качества и объемы сбрасываемой воды (предельно допустимые сбросы, ПДС) назначаются с учетом **соотношения объемов** сбрасываемых сточных вод и воды водоприемного природного водоема, **процессов самоочищения** в водоеме, **категории водоема, содержания фоновых загрязнений**, а также характера **водопользования** и **водопотребления**.

В случае использования речной воды для культурно-бытовых или хозяйственно-питьевых целей регламентируются показатели качества воды в **контрольном створе**.



Регламентирование показателей качества воды

При **водопользовании** воду используют без изъятия из мест локализации.

При **водопотреблении** воду изымают из мест локализации и перемещают.

Водоемы для питьевого водоснабжения (1-ая категория)

Водоемы для культурно-бытовых целей (2-ая категория)

3 категории рыбохозяйственных водоемов:

- **высшая категория** – для разведения особо ценных и ценных видов рыб, других водных животных и растений, места расположения нерестилищ;
- **первая категория** – для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, высокочувствительных к содержанию кислорода;
- **вторая категория** – для других рыбохозяйственных целей.

Основные показатели загрязненности сточных вод

Органолептические показатели: цвет, вид, запах, мутность, прозрачность.

Физико-химические показатели: pH, температура, окислительно-восстановительный потенциал, суммарная минерализация, электропроводность, цветность.

Содержание нерастворимых и растворимых примесей: взвешенных веществ, растворенное органическое вещество (РОВ), взвешенное органическое вещество (ВОВ), общий органический углерод (ООУ), потери при прокаливании (мг/л), зольность твердых примесей (% от исходной массы твердого образца), содержание летучих и нелетучих примесей, плотный остаток, сухой остаток.

Жесткость (мг-экв/л).

$$[\text{Ca}^{2+}]/20,04 + [\text{Mg}^{2+}]/12,16$$

мягкая вода -	<4 мг-экв/л,
вода средней жесткости -	4–8 мг-экв/л,
жесткая -	8–12 мг-экв/л,
очень жесткая -	>12 мг-экв/л.

Содержание железа и марганца.

Воду в качестве питьевой можно использовать, если общее содержание железа не превышает 0,3 мг/л, марганца – 0,1 мг/л.

В городских сточных водах допускается содержание Fe до 5–8 мг/л, Mn до 1 мг/л.

Содержание сульфатов, хлоридов, силикатов.

Содержание соединений азота и фосфора.

При использовании процессов биологической очистки сточных вод в аэробных условиях БПК_п : N : P = 100 : 5 : 1.

Щелочность (мг-экв/л) – количество веществ, вступающих в реакцию с сильными кислотами.

В зависимости от характера анионов, формирующих щелочность, различают гидратную щелочность (обусловленную присутствием ионов OH⁻), **бикарбонатную** (HCO₃⁻), **карбонатную** (CO₃²⁻), силикатную (HSiO₃⁻), фосфатную (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻), гуматную и т. д. Природные воды с pH 7–9 обычно имеют суммарную карбонатную и бикарбонатную щелочность 3–4 мг-экв/л.

Суммарный показатель гидратной, карбонатной и бикарбонатной щелочности используется в оценке качества иловой воды метантенка. В этом случае при pH воды <4,0–4,3 щелочность равна 0. При определении щелочности иловой воды метантенка при внесении HCl оттитровываются гидроксиды, карбонаты, гидрокарбонаты и низшие жирные кислоты. Щелочность включает содержание первых трех компонентов. Содержание жирных кислот определяется по разнице оттитровывания двух проб с разными индикаторами. Жирные кислоты оттитровывают последними.

Содержание синтетических ПАВ.

На биоочистку допускается поступление сточных вод с содержанием синтетических ПАВ не более 10–20 мг/л.

Суммарная концентрация вредных веществ на выходе из очистных сооружений в долях ПДК не должна превышать 1:

$$\Sigma C_i / \text{ПДК}_i < 1 ,$$

где C_i – концентрация i -го вещества-загрязнителя в воде, мг/л; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го вещества-загрязнителя в воде, мг/л

Растворенный кислород.

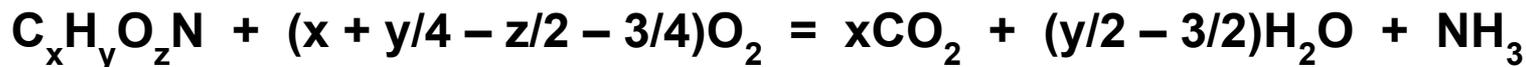
Минимальное содержание растворенного O_2 , обеспечивающее нормальное развитие рыб, составляет около 5 мг/л. Понижение его до 2 мг/л вызывает массовую гибель (замор) рыбы.

ХПК – химическое потребление кислорода – величина, определяемая по методике, при которой вещества, присутствующие в сточных водах, химически окисляются 0,25% $K_2Cr_2O_7$ при кипячении пробы в течение 2 ч в растворе H_2SO_4 с объемной долей 50%. Для полноты окисления органических веществ применяется катализатор – Ag_2SO_4 .

Большинство органических соединений в таких условиях окисляется до H_2O и CO_2 , однако ряд соединений (пиридин, бензол и его гомологи, нафталин, триметиламин) в этом режиме окисляются неполностью.

Кроме ХПК по бихроматной окисляемости (**ХПК_{Cr}**) используют также ХПК по перманганатной окисляемости (**ХПК_{Mn}**) – окисление загрязнений с помощью $KMnO_4$.

Теоретическое значение ХПК при окислении соединения $C_xH_yO_zN$:



$$\text{ХПК (г } O_2/\text{г загрязнений)} = 32(x + y/4 - z/2 - 3/4)/(12x + 1y + 16z + 14)$$

При определении ХПК азот не окисляется, и его не учитывают!

БПК – биохимическое (биологическое) потребление кислорода – количество кислорода, которое потребляется микроорганизмами ила при аэробном биологическом разложении органических веществ, содержащихся в сточных водах, при стандартных условиях инкубации ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, нейтральный pH) за определенный интервал времени.

Кислород, затрачиваемый на нитрификацию, при определении БПК не учитывается. Ил должен быть адаптирован к потреблению загрязнений сточных вод.

В зависимости от длительности биологического разложения различают БПК за 5, 20 сут. и полное окисление: **БПК₅**, **БПК₂₀**, **БПК_n**.

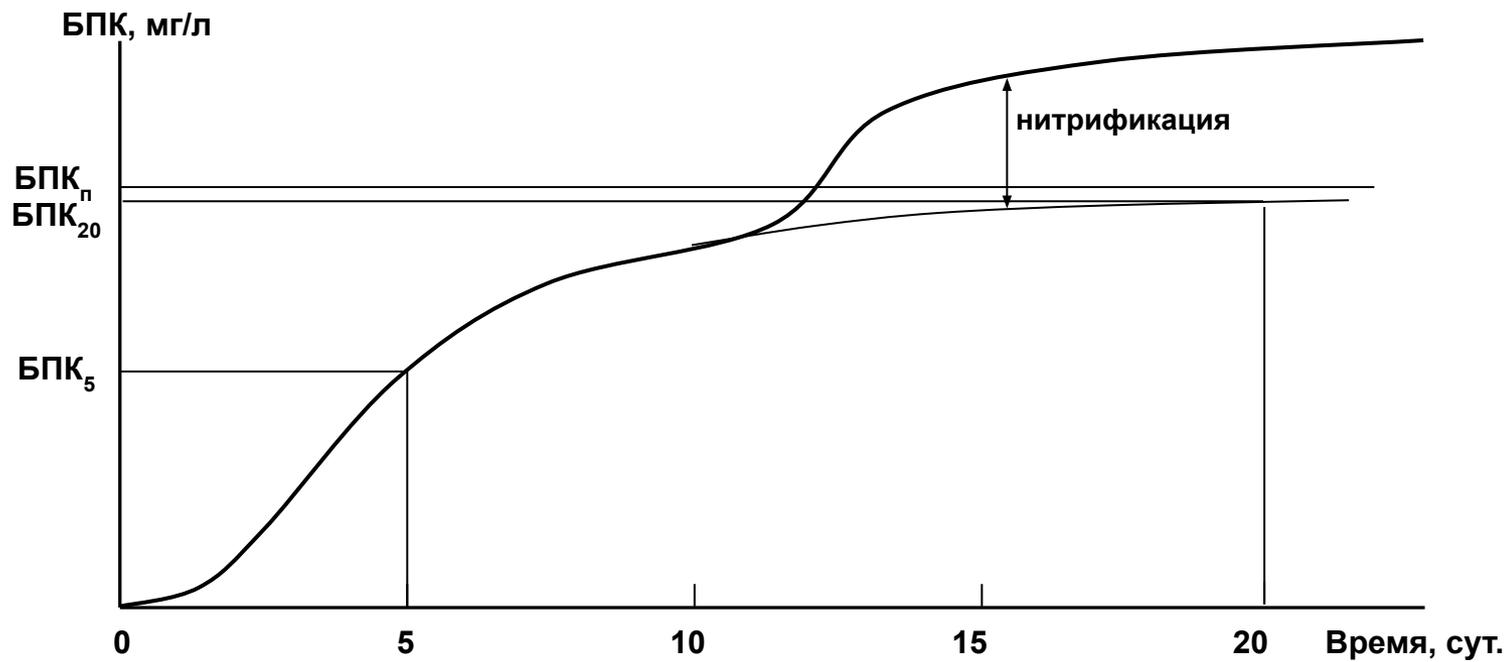
БПК₅ - для стоков, содержащих легко усвояемые загрязнения.

БПК_n - для стоков химических производств с большим спектром органических загрязнений.

Определение БПК_n может быть затруднено тем, что по мере снижения концентрации органического загрязнения начинают протекать процессы нитрификации с потреблением кислорода, поэтому БПК_n часто определяют за время 15–20 сут., до начала нитрификации.

Для предотвращения нитрификации в анализируемую воду добавляют различные ингибиторы – этилтиомочевину, метиленовую синь и др. Однако их внесение часто приводит к занижению результатов определения БПК_n.

Результаты измерений БПК трудно стандартизировать и они могут сильно варьировать для одной и той же группы сточных вод.



Кривая изменения BPK от времени

БПК_t за время t

$$\mathbf{dBPK/dt = -k(БПК_n - БПК)}$$

$$\mathbf{БПК_t = БПК_n(1 - 10^{-kt})}$$

Зная БПК_{t1} и БПК_{t2}, можно найти БПК_n.

$k \approx 0,15-0,25$ сут.⁻¹ - для городских сточных вод
 $k \approx 0,08-0,12$ сут.⁻¹ - для биологически очищенных

Ориентировочно для хозяйственно-фекальных (хозяйственно-бытовых) стоков:

$$\mathbf{БПК_{20} = (1,5-2)БПК_5}$$

$$\mathbf{БПК_{20} = 0,8ХПК_{Cr}}$$

Санитарно-бактериологическая оценка качества воды

Микробное число.

Количество бактерий, растущих на МПА (сапрофитная микрофлора), составляет лишь 0,001–0,1 от всех микроорганизмов.

Коли-индекс (число бактерий группы кишечной палочки в 1 л воды).

Коли-титр (мл воды на 1 кишечную палочку).

Почему бактерии группы *E. coli* используются в качестве санитарно-показательных микроорганизмов?

- дольше, чем патогенные микроорганизмы сохраняют жизнеспособность во внешней среде,
- более устойчивы к действию хлора, чем возбудители большинства инфекций,
- появление этих бактерий сигнализирует о попадании фекальных стоков в воду.

В особых случаях по **санитарно-эпидемиологическим показателям** прибегают к определению в воде энтерококков, энтеровирусов, сальмонелл, проводят исследование воды на патогенную микрофлору, определяют содержание яиц гельминтов, из которых около 92% общего числа яиц составляют яйца аскарид.

Общие требования к составу и свойствам сточной воды, поступающей в водоемы разной категории

Показатель	Виды водопользования и водопотребления			
	Хозяйственно-питьевое	Культурно-бытовое	Рыбохозяйственное	
			Высшая и первая категории	Вторая категория
Взвешенные вещества	Содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться более чем на			
	0,25 мг/л	0,75 мг/л	0,25 мг/л	0,75 мг/л
Плавающие примеси	На поверхности водоема не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна минеральных масел и других примесей			
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике		Вода не должна иметь окраски	
	20 см	10 см		
Запахи, привкусы	Вода не должна приобретать запахов и привкусов более 2 баллов, обнаруживаемых		Вода не должна придавать посторонних привкусов и запахов мясу рыбы	
	непосредственно или после хлорирования	непосредственно		
Температура	Летом после спуска сточных вод не должна повышаться более чем на 3 °С по сравнению со средней в самый жаркий месяц		Не должна повышаться более чем на 5 °С в местах обитания холодолюбивых рыб, и не более 8 °С в остальных случаях (по сравнению с естественной температурой водного объекта)	
pH	Не должен выходить за пределы 6,5–8,5			
Минерализация воды	Не должна превышать по плотному остатку 1000 мг/л, в том числе хлоридов – 350 мг/л, сульфатов – 500 мг/л	Нормируется по показателю «привкусы»	Нормируется согласно таксации рыбохозяйственных водоемов	
Растворенный кислород	В любой период года не ниже 4 мг/л в пробе, отобранной до 12 ч дня		В подледный период не ниже	
			6,0 мг/л	4,0 мг/л

Полное биохимическое потребление кислорода (БПК_п)	При 20 °С не должно превышать			
	3,0 мг/л	6,0 мг/л	3,0 мг/л	3,0 мг/л
Химическое потребление кислорода (ХПК_{сг})	Не более 15,0 мг/л	Не более 30,0 мг/л		
Химические вещества	Не должны содержаться в воде водотоков и водоемов в концентрациях, превышающих ПДК, установленные			
	СанПиН 4630-88		Перечнем ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов	
Азот NH₃		2 мг/л	0,05 мг/л	
Азот аммонийный N-NH₄⁺	2 мг/л		0,39 мг/л	
Азот нитритов N-NO₂⁻		0,8 мг/л	0,02 мг/л	
Азот нитратов N-NO₃⁻	10,2 мг/л	10,2 мг/л	9,1 мг/л	
Мочевина			3 мг/л	
Фосфаты, водоемы: олиготрофные мезотрофные эвтрофные		0,3 мг/л	0,04 мг/л 0,1 мг/л 0,2 мг/л	
Сульфаты	500 мг/л	500 мг/л	100 мг/л	
Нефтепродукты	0,1 мг/л	0,3 мг/л	0,05 мг/л	

Фенолы	0,001 мг/л при условии применения хлора для обеззараживания воды	0,1 мг/л	0,001 мг/л
Бензол	0,01 мг/л		0,5 мг/л
Анилин	0,1 мг/л		0,0001 мг/л
Нитробензол	0,2 мг/л		0,01 мг/л
Метанол	3 мг/л		0,1 мг/л
Формальдегид	0,05 мг/л		0,25 мг/л
Летучие кислоты (сумма концентраций муравьиной и уксусной кислот)	3,5 мг/л		1 мг/л
Синтетические ПАВ	0,5 мг/л	0,5 мг/л	0,1 мг/л
Сероводород	0,003 мг/л		наличие сероводорода и сульфидов недопустимо
Железо	0,3 мг/л		0,05 мг/л
Медь	1 мг/л		0,01 мг/л
Цинк	5 мг/л		0,01 мг/л
Хром (III)	0,5 мг/л		0,005 мг/л
Хром (VI)	0,05 мг/л		0,001 мг/л

Ртуть	0,0005 мг/л		0,0001 мг/л
Мышьяк	0,05 мг/л		0,05 мг/л
Цианиды	0,035 мг/л		0,05 мг/л
Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний, в том числе жизнеспособные яйца гельминтов и цисты патогенных кишечных простейших		
Коли-индекс	Не более		
	10⁴ в 1 л	5·10⁴ в 1 л	
Колифаги (в бляшкообразующих единицах)	Не более 100 в 1 л		
Токсичность воды			Сточная вода на выпуске в водный объект не должна оказывать острого токсического действия на тест-организмы

Химические показатели состояния водоемов (мг/л)

Степень загрязнения	Растворенный кислород		Взвешенные вещества	БПК ₅	Окисляемость	Аммонийный азот
	лето	зима				
Очень чистые	9	14–13	1–3	0,5–1,0	1	0,05
Чистые	8	13–11	4–10	1,1–1,9	2	0,1
Умеренно загрязненные	8–6	11–9	11–19	2,0–2,9	3	0,2–0,3
Загрязненные	6–4	9–4	20–50	3,0–3,9	4	0,4–1,0
Грязные	4–2	4–0,5	51–100	4,0–10,0	5–15	1,1–3,0
Очень грязные	<2	<0,5	>100	>10	>15	>3

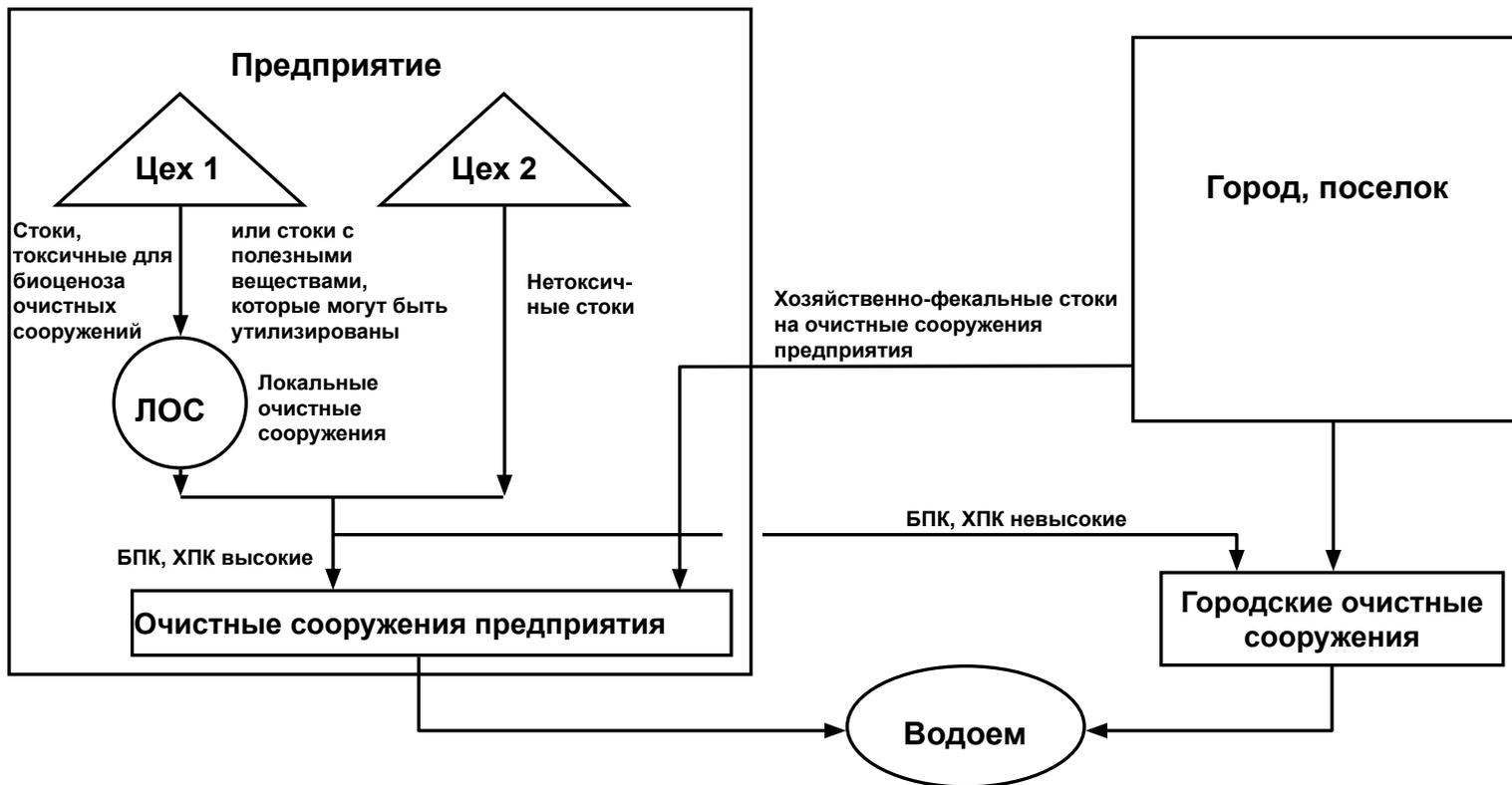
Бактериологические показатели степени загрязненности водоемов

Степень загрязненности воды	Титр кишечной палочки, мл	Микробное число	Прямой счет микроорганизмов
Очень чистые	10–100	$a \cdot 10^1$	10^5
Чистые	10–1	$a \cdot 10^2$	10^6
Умеренно загрязненные	1–0,05	$a \cdot 10^3$	10^6
Загрязненные	0,05–0,005	$a \cdot 10^4$	10^7
Грязные	0,005–0,001	$a \cdot 10^5$	10^7
Очень грязные	0,001	$a \cdot 10^6$	10^8

*а – любое число от 1 до 9

Общие принципы очистки сточных вод

Сточные воды могут поступать на городские очистные сооружения, на очистные сооружения предприятия, на локальные очистные сооружения (предприятий - ЛОС, малых хозяйств, домохозяйств).



Обобщенная схема поступления и организации очистки сточных вод

Краткая характеристика методов обработки сточных вод

Подготовительная очистка, извлечение примесей, деструктивная очистка.

Задача *подготовительной очистки* – подготовка сточных вод для обеспечения возможности их транспортирования и дальнейшей очистки.

Методы:

- усреднение сточных вод
- нейтрализация сточных вод
- охлаждение горячих вод
- удаление взрывоопасных газов и др.

Извлечение примесей - любые методы очистки, сопровождающиеся выделением загрязнений из воды в виде твердой, жидкой или газообразной фазы.

В *регенеративных методах* извлекаемые примеси возвращаются в производство как ценный продукт.

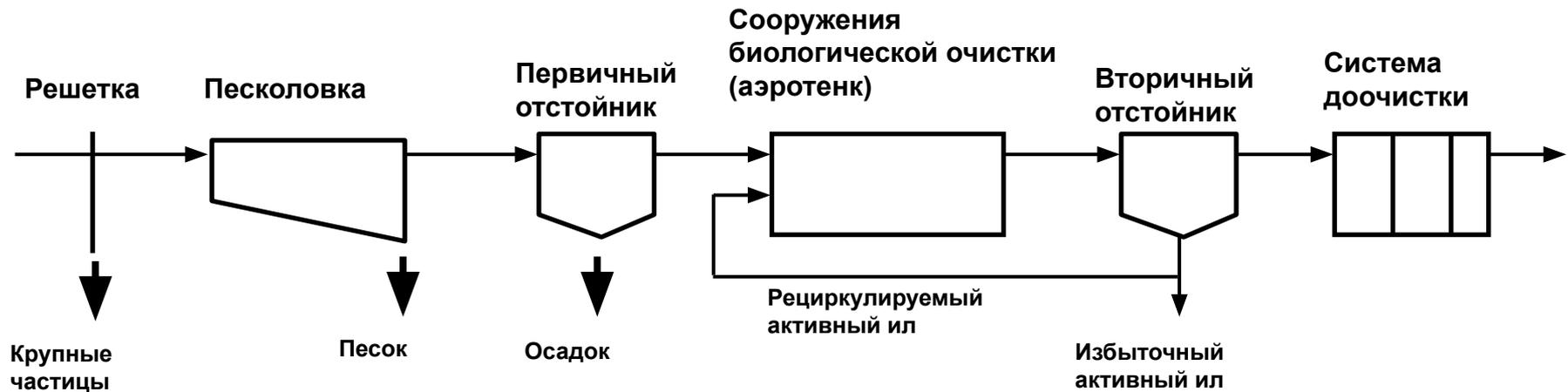
Наиболее важна **механическая очистка**.

К сооружениям механической очистки относятся: **решетки** и **сита** (для задержания крупных примесей), **песколовки** (для улавливания минеральных примесей, песка), **отстойники** и **ловушки** (для медленно оседающих и плавающих примесей) и **фильтры** (для мелких нерастворенных примесей).

Методы *деструктивной очистки* связаны с разрушением загрязнений окислением или восстановлением до безвредных веществ и удалением части продуктов реакции в виде осадков или газов.

- биологическая (биохимическая) очистка;
- химическое окисление;
- химическое восстановление водородом;
- термическая деструкция (сжигание);
- жидкофазное окисление загрязнений воздухом в нагретой сточной воде или в осадке сточных вод при температуре до 150 °С и давлении 0,5–1 МПа;
- окисление при сверхкритических параметрах при температуре 370–420 °С и давлении 20–25 МПа;
- фотокаталитическое окисление стойких поллютантов под действием ультрафиолета в присутствии TiO_2 , O_3 , H_2O_2 ;
- окисление осадков и избыточного активного ила в условиях **аэрозольного катализа**;
- адсорбционно-каталитическое окисление;
- электрохимическое окисление;
- другие способы обработки сточной воды.

Большинство технологических схем очистки сточной воды включают стадию биологической очистки, принадлежащей к деструктивным методам и являющейся наиболее распространенной среди всех методов очистки.



Типичная схема очистки сточных вод со стадией биологической очистки

Решетки - для удаления крупных частиц из потока.

Песколовки (песколовушки) - для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей, главным образом песка. В песколовках задерживается до 60–70% песка с диаметром песчинок $>0,2-0,25$ мм и другие наиболее тяжелые минеральные загрязнения. В воде остается песок фракций $0,1-0,15$ мм, который затем извлекается в отстойниках.

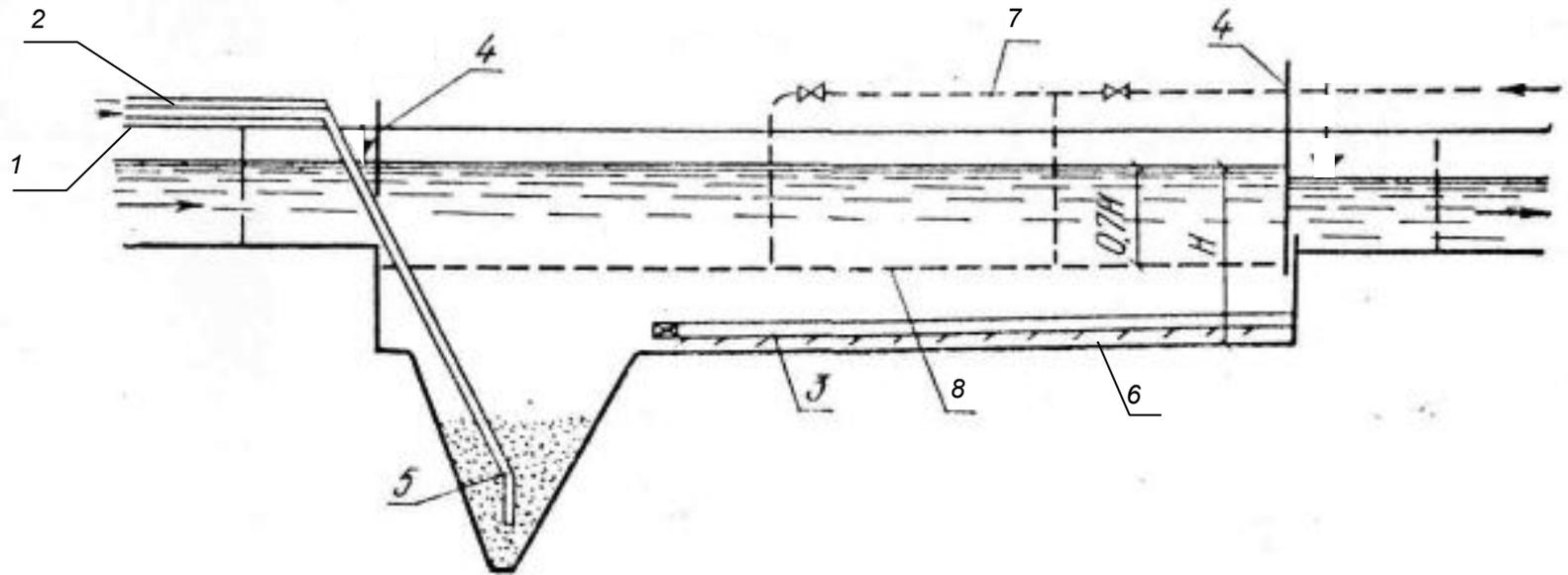


Схема аэрируемой песколовки горизонтального типа:

1 – отвод песковой пульпы; 2 – подвод воды к гидроэлеватору; 3 – смывной трубопровод со sprысками; 4 – щитовые затворы; 5 – гидроэлеваторы; 6 – песковой лоток; 7 – воздуховод; 8 – аэраторы

Оптимальная скорость потока в горизонтальной песколовке $0,15-0,3$ м/с, продолжительность пребывания жидкости 30–60 с.

В аэрируемых песколовках подаваемый воздух способствует отмывке песка, не препятствуя его оседанию. Качество осевшего песка получается выше. Время гидравлического удерживания воды в таких аэрируемых песколовках составляет около 5 мин.

Количество образующегося песка в песколовках составляет от 10 л на 1000 м^3 до 50 л на 1000 м^3 . Зольность песка – от 70 до 85%.

Так как расход сточной воды в течение суток колеблется, то песколовка должна содержать несколько автономных отделений. Осадок удаляется при помощи гидроэлеватора, реже самотеком или вручную.

Отстойники - практически во всех схемах очистных сооружений.

Тип	Назначение и применение
Проточные первичные с кратковременным хранением осадка (до 2–3 сут.)	Сточные воды из канализационной сети или после решетки; перед искусственной биологической очисткой; как самостоятельный метод очистки при наличии мощного водоема с большой способностью к самоочищению; при сбраживании осадка в метантенках.
Проточные вторичные с кратковременным хранением осадка	Осветление сточных вод после искусственной биологической очистки; после 2-х ярусных отстойников для улавливания взвешенных веществ, вынесенных с биологических сооружений и после хлорирования.
Проточные первичные с длительным хранением и сбраживанием осадка. Септики, 2-х ярусные отстойники.	Перед естественной и искусственной биологической очисткой, когда одновременно происходит и осветление стоков от осадков, и обезвреживание путем перегнивания.
Контактные (непроточные)	Хлорирование, обработка другим химическим способом (например, мыльных сточных вод известью).
Осветлители	Одновременное отстаивание и фильтрация сточных вод через слой взвешенного осадка.
Уплотнители	Уплотнение осадков сточных вод.

Первичные отстойники - для удаления взвешенных веществ и осветления стоков перед стадией биологической очистки, для обезвреживания осадков путем перегнивания (в 2-х ярусных отстойниках). Могут использоваться как самостоятельный метод очистки.

Вторичные отстойники: для осветления сточных вод после биологической очистки и для уплотнения активного ила и его рецикла на биологическую очистку (в азротенк, в анаэробный реактор) с целью повышения концентрации ила и окислительной (сбраживающей) способности биореактора.

Вертикальные, горизонтальные и радиальные отстойники.

Вертикальные отстойники используются при расходе сточной воды не более 10 тыс. м³/сут.

Горизонтальные отстойники применяют для средних и крупных станций водоочистки (с расходом сточной воды 10–100 тыс. м³/сут.).

Радиальные – при расходе сточной воды свыше 100 тыс. м³/сут. Радиальные отстойники могут иметь диаметр до 100 м, обычно 24–50 м.

Горизонтальные и радиальные отстойники рассчитываются на 1,5–2,0 ч отстаивания воды, скорость движения жидкости в отстойниках 5–7 мм/с.

Снижение концентрации взвешенных веществ в отстойниках – 40-50%.

Зольность осадков – 25-35%. Содержание органических веществ в осадках – 65-75%.

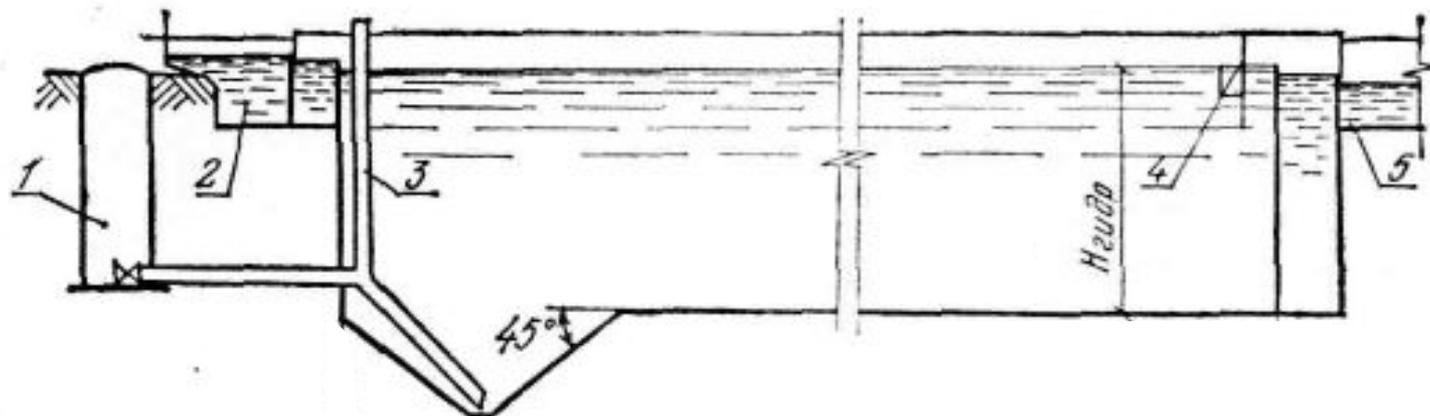


Схема горизонтального отстойника:

1 – иловый колодец; 2 – подводящий канал; 3 – иловая труба; 4 – полупогруженная доска с жиросборным лотком; 5 – отводящий канал.

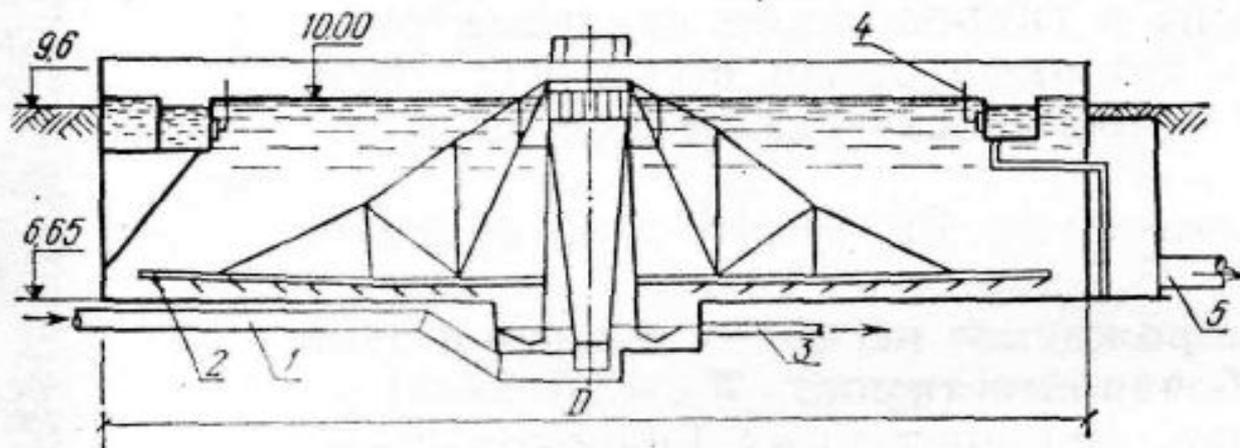


Схема первичного радиального отстойника:

1 – подводящий трубопровод; 2 – илоскреб; 3 – иловая труба; 4 – полупогруженные доски; 5 – отводящий трубопровод.



Обеззараживание воды

Эффективность удаления бактериальных загрязнений на станциях полной биологической очистки - 90–95%.

При обеззараживании сточных вод после биологической очистки - 99,5–99,99%.

Основные методы обеззараживания воды

Хлорирование жидким или газообразным хлором, а также гипохлоритом натрия, диоксидом хлора.

Доза активного хлора при обеззараживании:

- 0,7–1 мг/л – при обеззараживании воды из подземных источников;
- 3 мг/л – после полной биологической очистки;
- 10 мг/л – при обработке сточной воды, прошедшей только механическую очистку.

Бактерии кишечной группы гибнут практически на 100% в течение 30 мин при содержании хлора в воде 0,5 мг/л.

Озонирование воды имеет преимущества перед хлорированием: бактерицидное действие озона сильнее, чем у других химических реагентов; он действует быстрее хлора; способствует возвращению воде свежести, характерной для чистых природных источников; хорошо устраняет запахи и привкусы.

Необходимая доза озона при обеззараживании питьевых вод – 0,75–3 мг/л; при обеззараживании сточных вод – 6–10 мг/л. Время контакта 8–20 мин.

Бактерицидное облучение - УФ-излучение, $\lambda = 200–295$ нм.

Облучаемая вода должна удовлетворять требованиям стандарта на питьевую воду в отношении цветности, мутности, содержания солей железа и иметь коли-индекс <1000.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Методы **естественной** и **искусственной** биологической очистки.

В методах *естественной* биоочистки используются природные процессы самоочищения, протекающие в почвенных, водных, растительных экосистемах. Естественные сооружения часто служат для доочистки сточной воды перед ее попаданием в водоемы.

Поля орошения – специально подготовленные и спланированные земельные участки, предназначенные для очистки сточных вод (главная задача), содержащих нетоксичные загрязнения, с одновременным использованием этих участков для агротехнических целей.

Поля фильтрации, в отличие от полей орошения, предназначены только для очистки сточных вод.

Иловые площадки (площадки-уплотнители) - спланированные участки земли (карты) без дренажа или оборудованные дренажем. Предназначены для складирования, обезвоживания и подсушивания в естественных условиях осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод.

Поля подземной фильтрации, фильтрующие траншеи, песчано-гравийные фильтры, фильтрующие колодцы, кассеты.

Биологические пруды - для доочистки сточных вод перед сбросом в водоем или на поля орошения или накопления сточных вод в неблагоприятные периоды года, когда их нельзя использовать для орошения.

Инфильтрационные пруды, в отличие от биопрудов, часто работают с перерывами на 1–2 недели. На этот период они опорожняются, что способствует аэробному разложению верхнего слоя органического вещества, скопившемуся на дне пруда.

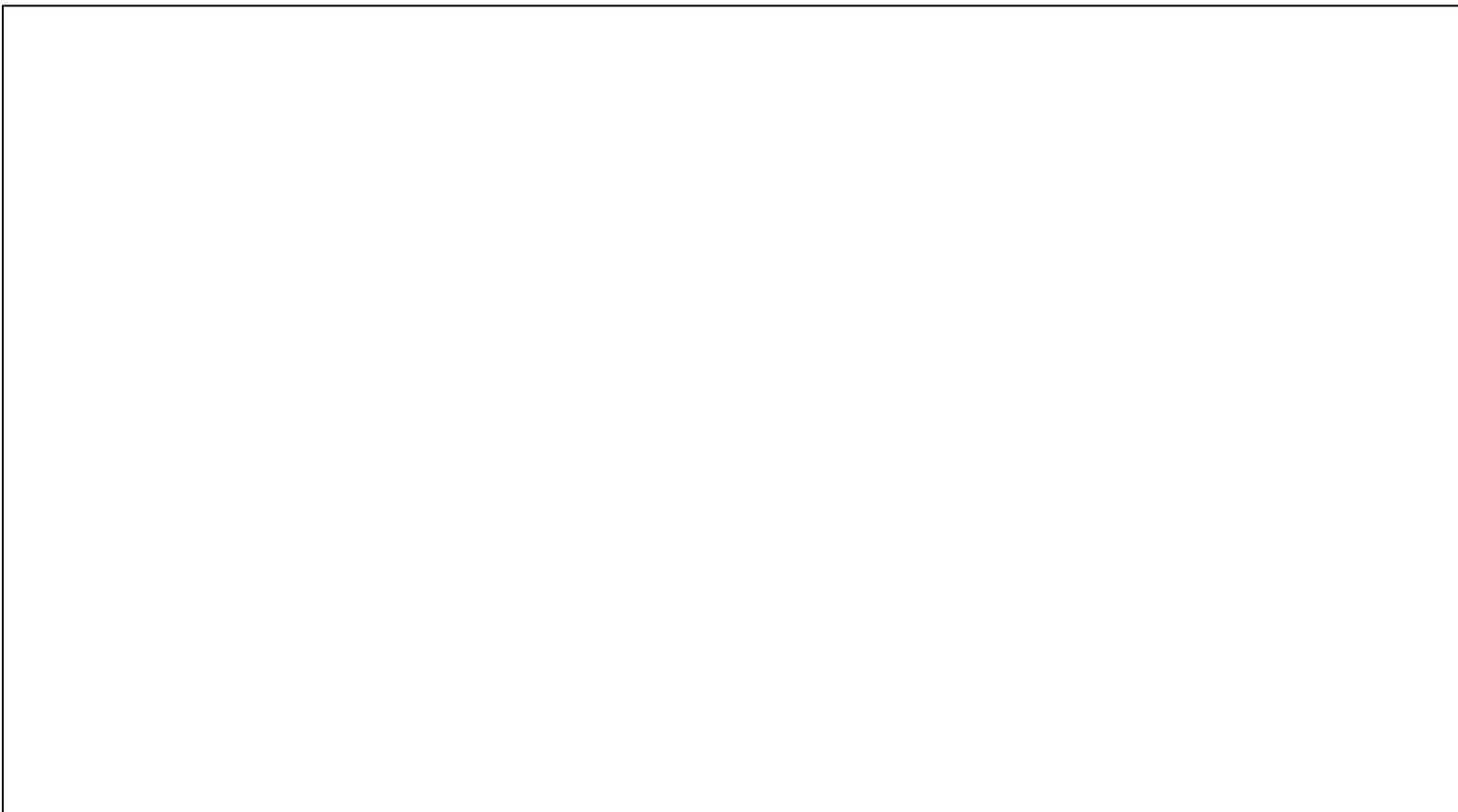
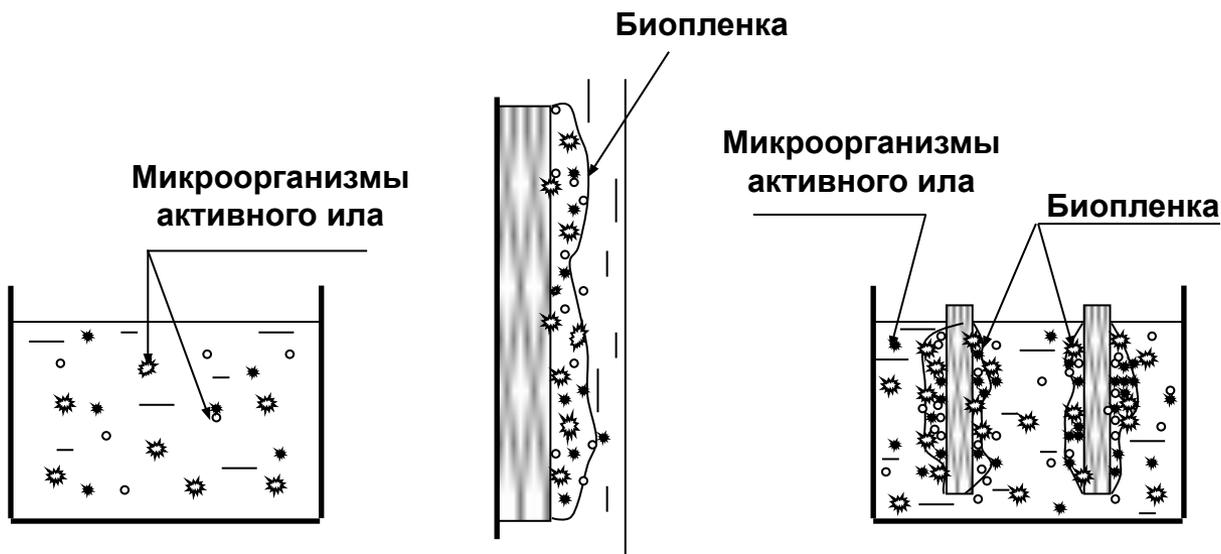


Схема фильтрующей траншеи:

1 – перфорированная дренажная труба с уклоном; 2 – перфорированная оросительная труба; 3 – вентиляция; 4 – гравийная засыпка

Сооружения *искусственной* биологической очистки:

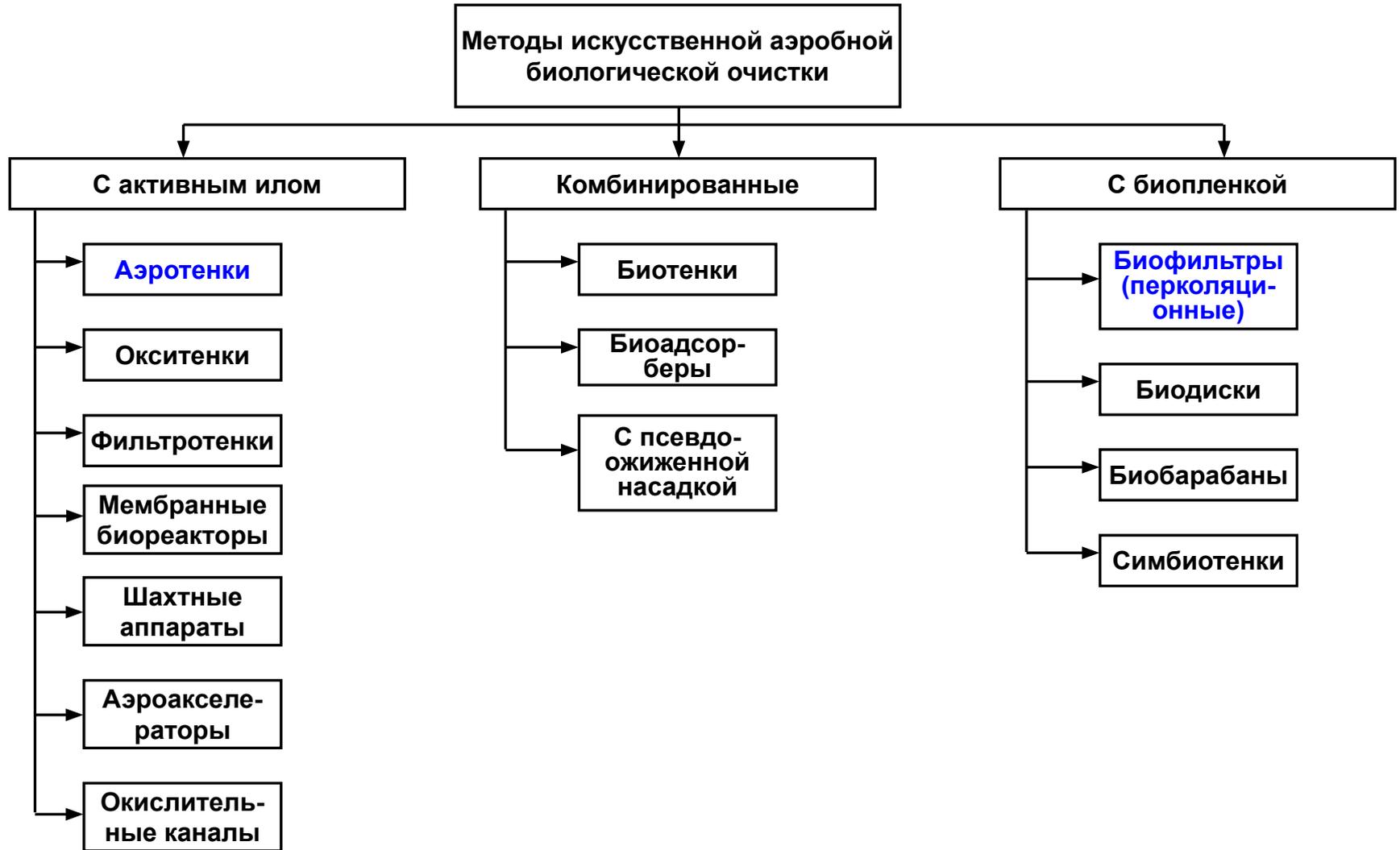
- аэробные, и анаэробные,
- с активным илом, с биопленкой, комбинированные



Принципы функционирования аэробных методов очистки:

- а – с активным илом (аэротенки);
- б – с биопленкой (биофильтры),
- в – с активным илом и биопленкой (биотенки)

Сооружения аэробной очистки



Классификация сооружений искусственной аэробной очистки

Сооружения с активным илом

Аэротенк – открытое сооружение, глубиной 4–6 м, через которое пропускается сточная вода, содержащая органические загрязнения, подается воздух и возвратный (рециркулируемый) активный ил.

Окситенк – аэротенк закрытого типа с подачей на аэрацию воздуха, обогащенного кислородом, или чистого кислорода. Это позволяет интенсифицировать биологическую очистку.

Фильтротенк – аэротенк с фильтром. Через фильтр откачивается сточная вода, в аэротенке остаются клетки активного ила.

Сооружения с биопленкой

В реакторах с биопленкой очистка производится на поверхности загрузочных материалов или на поверхности носителей, покрытых биопленкой из микроорганизмов и внеклеточных продуктов их жизнедеятельности.

Биофильтры – емкости в сечении круглой или прямоугольной формы, загруженные фильтрующим материалом, через который протекает обычно сверху вниз сточная вода, очищающаяся в процессе фильтрации.

Модификация биофильтра – **биодиски** (дисковые вращающиеся фильтры) и **биобарабаны** (вращающиеся барабаны, заполненные загрузочным материалом). Диски и барабаны примерно наполовину погружены в сточную воду, протекающую по реактору.

Промежуточное положение между сооружениями с активным илом и с биопленкой занимают **биотенки, биосорберы, реакторы со взвешенным** (псевдооживленным) слоем, сочетающие преимущества и аэротенков, и биофильтров. В биотенках с аэрацией жидкости, с активным илом и загрузкой из различных материалов жидкость с илом циркулирует и аэрируется в зазорах между загрузкой.

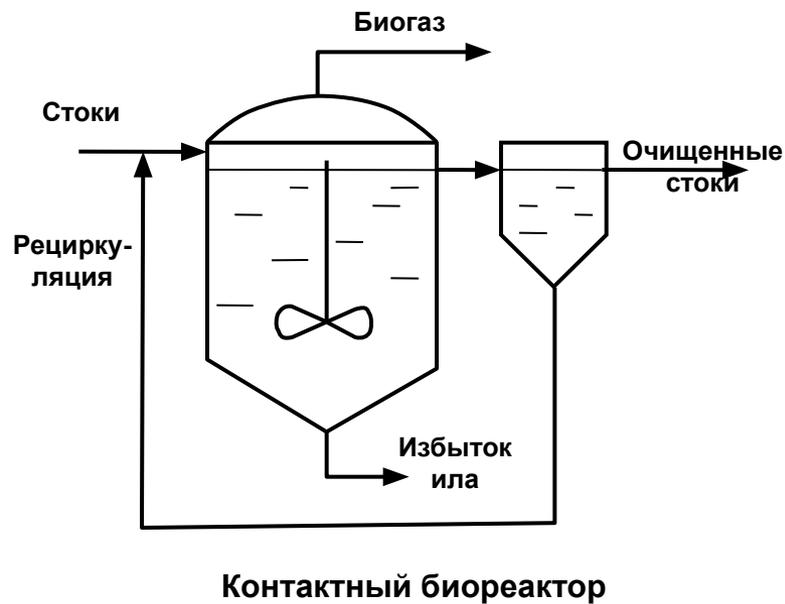
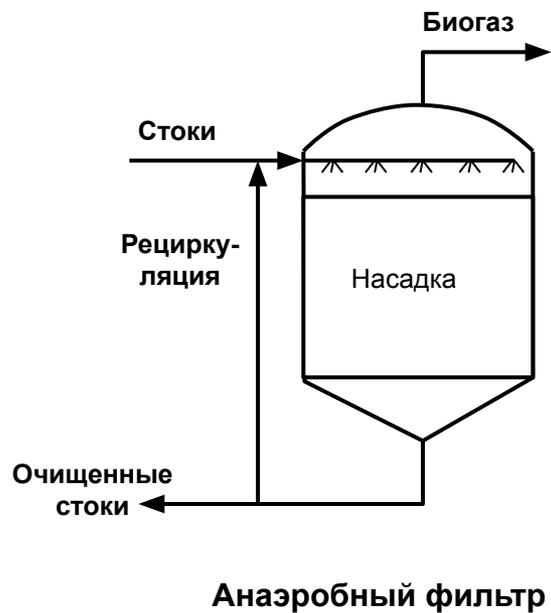
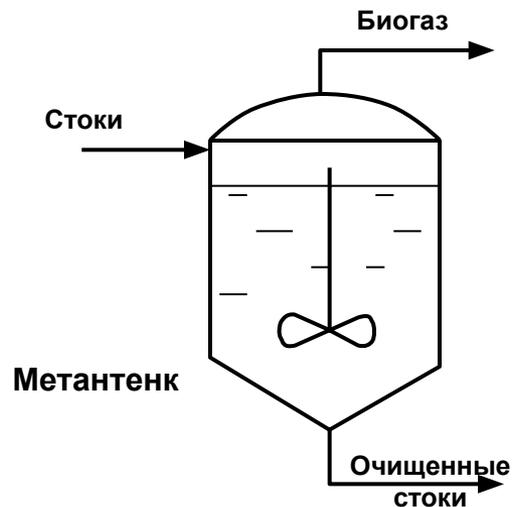
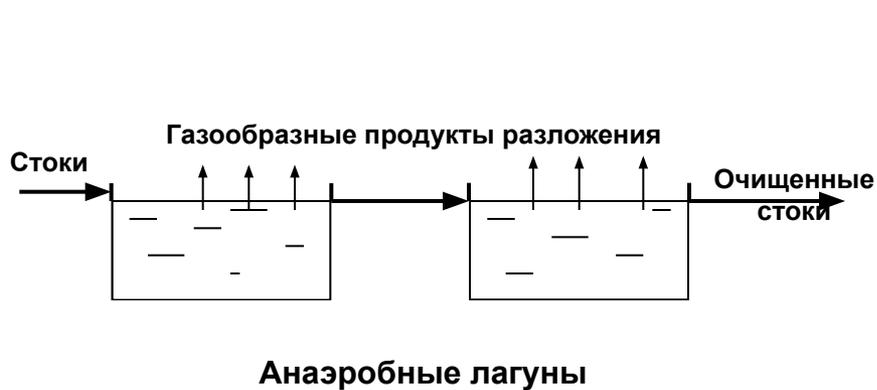
Аэротенк (*слева* – строительство, *справа* – в действии) попеременной нитрификации-денитрификации с аэрируемыми и неаэрируемыми зонами

Сооружения анаэробной очистки

Используются для сбраживания высококонцентрированных стоков, осадков, илов, в том числе активного ила очистных сооружений.



Классификация сооружений анаэробной биологической очистки



Принцип работы анаэробных реакторов традиционных конструкций

В анаэробных лагунах, представляющих собой один отстойник или систему отстойников, стоки пребывают от нескольких недель до 2 мес., образующиеся газы свободно выделяются в атмосферу

Септитенки – горизонтальные отстойники закрытого типа, в которых образовавшийся на дне осадок твердых частиц перегнивает и разлагается анаэробными микроорганизмами. Осадок задерживается в септике от 4 до 6 мес. и в результате разложения органических веществ и уплотнения уменьшается в объеме до 50%.

В метантенках, в отличие от септитенков, осуществляются перемешивание, обогрев, контроль основных параметров (температуры, состава сырья, интенсивности загрузки аппарата и др.). Процесс очистки протекает более интенсивно, чем в септитенках. Выделяющийся биогаз собирают и используют.

В контактных аппаратах очистка происходит в реакторе с перемешиванием с использованием вторичного отстойника для отделения ила, возвращаемого в биореактор. По принципу действия эти системы аналогичны аэротенкам с вторичными отстойниками с осуществлением процесса очистки в анаэробных условиях.

Сравнение методов биологической очистки с другими методами

Преимущества биологической очистки по сравнению с другими методами:

- меньшие эксплуатационные затраты,
- простота в эксплуатации,
- универсальность,
- относительно небольшое образование малотоксичных и нетоксичных вторичных отходов (III, IV класса опасности),
- позволяет очищать большие количества сточных вод различного состава.

Недостатки биологической очистки:

- высокие капитальные затраты на сооружение очистных систем,
- чувствительность и небольшой диапазон допустимых изменений параметров окружающей среды (t° , pH, концентрация токсичных примесей),
- необходимость строгого соблюдения технологического режима очистки,
- биостойкость некоторых органических веществ и их токсичность для биоценоза активного ила,
- необходимость предварительного разбавления высококонцентрированных токсичных стоков, что приводит к увеличению потока сточной воды,
- относительно низкие скорости разложения загрязнений в биологических реакциях по сравнению с процессами, протекающими при использовании физических, физико-химических и химических методов,
- потребность в больших площадях под очистные сооружения.

Сравнение методов естественной и искусственной биологической очистки

Методы естественной биологической очистки (экстенсивные методы).

Преимущества:

- более простые,
- в большинстве случаев обеспечивают высокое качество очищенной воды.

Недостатки:

- очистка протекает медленно (от 2–3 сут. до 2,5–3 мес.),
- эффективность очистки зависит от условий окружающей среды, сезонов года,
- требуется отчуждение больших территорий под очистные системы.

Методы искусственной биологической очистки (интенсивные методы).

Преимущества:

- протекает намного интенсивнее,
- намного компактнее.

Недостатки:

- требуют больших капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

Тип сооружения	Количество потребляемого кислорода, г БПК на 1 м ² (для полей) или 1 м ³ в час	Площадь, га при расходе 10000 м ³ /сут, в пересчете на ХПК _{вх.} = 1000 мг/л
Сооружения естественной биологической очистки:		
-поля орошения	0,2–0,5	80–250
-поля фильтрации	0,5–10	5–100
-окислительные пруды	0,5–10	5–100
Сооружения искусственной биологической очистки:		
-биофильтры	2–50	0,2–5,0
-аэротенки	5–300	0,05–2
-окситенки	500–1000	0,01–0,05
-шахтные аппараты	200–500	0,005–0,01

Типичные показатели окислительной мощности естественных и искусственных методов аэробной биологической очистки сточных вод

Сравнение аэробных и анаэробных систем биологической очистки

Аэробные системы.

Преимущества:

- Более **интенсивны** и поэтому более **компактны**.
- Обеспечивают **более полное снижение содержания БПК (ХПК) в сточной воде** (не считая активного ила) – вплоть до требований ПДК.
- Обеспечивают **удаление биогенных элементов** (при особых условиях очистки).
- Более **устойчивы к резким перегрузкам** загрязнениями и к соединениям, ингибирующим биологическую активность биоценоза очистных сооружений.
- **Менее требовательны к правилам техники безопасности** (пожароопасности).

Недостатки:

- Необходим **принудительный подвод воздуха (кислорода) и дополнительный питательных веществ** – источников азота и фосфора. Поэтому эксплуатация аэробных сооружений требует больших затрат, особенно на аэрацию (до 80% общих эксплуатационных затрат на энергию, расходуемую при очистке сточных вод; до 35% стоимости очистки сточных вод).
- При работе сооружений, особенно с активным илом, образуется **много избыточной биомассы** – до 0,5 кг сухого вещества аэробного ила на 1 кг удаленного БПК₅. Избыточный ил необходимо обезвоживать, утилизировать, складировать вблизи очистных сооружений или вывозить и захоранивать на иловых площадках, что требует больших затрат (на обезвоживание, транспортных и других) и ведет к **дополнительному загрязнению окружающей среды**, поступающему с иловых площадок.
- **Сложно очищать сточные воды с высоким содержанием загрязнений** – требуется разбавлять их для обеспечения стабильной работы очистных сооружений и достижения нормативов содержания остаточных загрязнений. Это ведет к увеличению объемов перерабатываемых стоков и очистных сооружений, потребляемой технологической воды, энергозатрат на прокачивание сточной воды.
- При содержании загрязнений БПК_{вх}. > 500–1000 мг/л необходима **доочистка сточных вод** после стадии биологической очистки.

Анаэробные системы.

Преимущества:

- Образуется **намного меньше ила** (не более 0,05–0,15 кг/кг потребленной БПК) по сравнению с аэробным процессом (до 0,4–0,5 кг/кг потребленной БПК).
- При сбраживании в метантенках и других биореакторах закрытого типа выделяющийся **биогаз**, состоящий, в основном, из метана и CO₂, можно собирать и использовать.
- **Меньшая энергоемкость**, минимальные затраты на перемешивание (часто без перемешивания).
- **Небольшие потребности в биогенных элементах** (азоте, фосфоре); обычно внесения дополнительных количеств минерального питания не требуется, так как необходимые количества соответствующих элементов уже содержатся в сточной воде.
- **Возможна переработка концентрированных стоков**, различных твердофазных отходов (куриного помета, навоза, мусора с влажностью около 40%).
- **Более высокая скорость отмирания** патогенной микрофлоры.
- **Более высокое качество осадка**, который хорошо уплотняется и фильтруется, дольше хранится и более подходит для использования в сельском хозяйстве как органическое удобрение.

Недостатки:

- **Низкая скорость переработки** в анаэробных реакторах традиционных конструкций.
- При использовании реакторов традиционных конструкций **необходимы довольно высокие величины ХПК** в сточной воде **на входе в реактор** ($X_{ПК_{вх}} > 5000–20000$ мг/л) для обеспечения их стабильной работы.
- **Невозможность полной очистки стоков** до требуемых природоохранных норм для всех типов анаэробных реакторов (ХПК на выходе – 200–1000 мг/л).
- **Повышенный расход тепла на обогрев** анаэробного реактора, особенно в холодной климатической зоне.
- **Пожаро- и взрывоопасность** из-за выделения биогаза (метана).
- **Бóльшая чувствительность к токсичным веществам**, особенно к избытку тяжелых металлов;
- **Невозможность удаления биогенных элементов, обогащение стоков аммонийным азотом.**