

**И. П. СЕМЁНОВ, И. В. СКОРОБОГАТАЯ**

**СООРУЖЕНИЯ ПО ОЧИСТКЕ  
ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ  
ВОД И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИХ РАБОТЫ**

Минск БГМУ 2017

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ГИГИЕНЫ ТРУДА

**И. П. СЕМЁНОВ, И. В. СКОРОБОГАТАЯ**

**СООРУЖЕНИЯ ПО ОЧИСТКЕ  
ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ  
ВОД И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИХ РАБОТЫ**

Методические рекомендации



Минск БГМУ 2017

УДК 614.7(075.8)  
ББК 51.21я73  
С30

Рекомендовано Научно-методическим советом университета в качестве  
методических рекомендаций 15.06.2016 г., протокол № 10

Рецензенты: канд. мед. наук, доц. Н. Л. Бацукова; канд. мед. наук, доц.  
Т. С. Борисова

**Семёнов, И. П.**

С30 Сооружения по очистке хозяйственно-бытовых сточных вод и оценка эффективности их работы : метод. рекомендации / И. П. Семёнов, И. В. Скоробогатая. – Минск : БГМУ, 2017. – 28 с.

ISBN 978-985-567-712-4.

Содержат основные аспекты проблемы санитарной охраны водных объектов от загрязнения городскими сточными водами.

Предназначены для студентов 3–6-го курсов медико-профилактического факультета.

УДК 614.7(075.8)  
ББК 51.21я73

---

Учебное издание

**Семёнов Игорь Павлович**  
**Скоробогатая Инна Владимировна**

## **СООРУЖЕНИЯ ПО ОЧИСТКЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ**

Методические рекомендации

Ответственный за выпуск И. П. Семёнов  
Корректор А. В. Царь  
Компьютерная верстка С. Г. Михейчик

Подписано в печать 06.04.17. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Снегурочка».  
Ризография. Гарнитура «Times».  
Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 80 экз. Заказ 309.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный медицинский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/187 от 18.02.2014.  
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.

ISBN 978-985-567-712-4

© Семёнов И. П., Скоробогатая И. В., 2017  
© УО «Белорусский государственный  
медицинский университет», 2017

## МОТИВАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕМЫ

Успешное решение проблемы санитарной охраны водных объектов в значительной степени обеспечивается организацией эффективной очистки сточных вод. Оценка эффективности очистки сточных вод в порядке текущего санитарного надзора осуществляется по данным лабораторных исследований проб сточных вод по этапам очистки, перед спуском в водоем, и проб воды водного объекта.

**Цель занятия:** изучить мероприятия по санитарной охране водных объектов от загрязнения, освоить методику оценки гигиенической и технической эффективности очистки сточных вод.

### **Задачи:**

1. Усвоить условия формирования, количественный и качественный состав загрязнений, поступающих в систему канализации городских хозяйственно-бытовых сточных вод.

2. Освоить методы и сооружения, применяемые для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод: сооружения механической и биохимической очистки.

3. Научиться проводить техническую и гигиеническую оценку эффективности работы на различных этапах очистки очистных сооружений.

4. Сформировать умение давать экспертную оценку гигиенической эффективности работы очистных сооружений.

**Требования к исходному уровню знаний.** Для полного освоения темы студенту необходимо повторить:

- *из биологической химии:* окисление жиров, белков, углеводов;
- *из общей гигиены:* вода и ее гигиеническое значение.

### **Контрольные вопросы из смежных дисциплин:**

1. Физиологическое и гигиеническое значение воды.
2. Микроорганизмы воды.
3. Самоочищение воды (сапробность водоемов).
4. Микроорганизмы почвы. Самоочищение почвы.

### **Контрольные вопросы по теме занятия:**

1. Хозяйственно-бытовые сточные воды: состав, количество, свойства.
2. Система водоотведения населенных пунктов.
3. Механическая (предварительная) очистка хозяйственно-бытовых стоков.
4. Биологическая очистка сточных вод в водной среде.
5. Сооружения по очистке стоков в почве.
6. Малая канализация.
7. Аммонификация и нитрификация как этапы окисления органических веществ сточной жидкости.

### **Задания для самостоятельной работы:**

1. Изучить СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения».
2. Зарисовать в рабочей тетради схему «Методы очистки и обезвреживания сточных вод» (рис. 1).
3. Зарисовать в рабочей тетради схемы систем канализования населенных мест.
4. Перечислить сооружения механической очистки сточных вод.
5. Перечислить сооружения биологической очистки сточных вод.
6. Записать в рабочей тетради этапы распада и минерализации органических веществ в почвенной и водной среде.
7. Записать в рабочей тетради методику действий по оценке эффективности очистки сточных вод.
8. Решить предложенные ситуационные задачи и оформить в рабочей тетради гигиеническое заключение.

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД**

Под системой канализации понимают совместное или отдельное отведение бытовых, производственных или ливневых вод. При **общесплавной** системе все три категории сточных вод сплавляются по одной сети за пределы городской территории на очистные сооружения. **Полная раздельная** система предусматривает строительство трех отдельных сетей:

- 1) для дождевых вод и промышленных стоков, не соприкасавшихся по ходу технологического процесса с сырьем и продуктами производства (воды охлаждающих установок);
- 2) для бытовых вод и промышленных вод, допускаемых к спуску в бытовую канализацию;
- 3) для промышленных вод, не допускаемых к совместному отведению с бытовыми водами.

При **неполной раздельной** системе между сетями ливневой и хозяйственно-фекальной канализацией устраиваются соединительные камеры. В этих случаях атмосферные осадки, смывающие загрязнения с поверхности жилой территории, поступают совместно с бытовыми на очистные сооружения. При больших метеосадках основная масса ливневых вод не попадает в хозяйственно-фекальную сеть, а сбрасывается через ливнеспуски в поверхностные водоемы без очистки.

**Полураздельная система** состоит из двух сетей, объединенных общим главным коллектором, подключение к которому дождевых вод производится через разделительные камеры. Таким образом, атмосферные воды, смывающие загрязнения с поверхности городских территорий, по-

ступают совместно с хозяйственно-бытовыми сточными водами на очистные сооружения. При интенсивных атмосферных осадках основная масса ливневых вод не попадает в хозяйственно-фекальную сеть, а сбрасывается через ливнеспуски в поверхностные водоемы без очистки.

Общесплавная система канализации обеспечивает наиболее полное удаление всех сточных вод с территории канализуемого населенного пункта, целесообразна при малом количестве осадков.

Удаление сточных вод за пределы населенных мест и промышленных предприятий производится по трубам и каналам, как правило, самотеком, а также по напорным коллекторам. В современных городах для удаления и обезвреживания сточных вод устраивают системы централизованной канализации, состоящие из канализационных сетей, насосных станций, очистных сооружений и выпусков. Система инженерных сооружений для удаления бытовых сточных вод состоит:

- из внутренней канализации;
- внутриквартальной или дворовой канализационной сети;
- наружных канализационных сетей;
- насосных станций;
- очистных сооружений;
- выпусков.

При общесплавной системе все сточные воды отводятся по одной подземной сети на очистные сооружения для совместной очистки. Общесплавная канализация города принимает не только хозяйственно-бытовые сточные воды, но и сточные воды больниц, прачечных, предприятий химчистки, производственных предприятий, находящихся в черте города. Поэтому городские сточные воды представляют собой смесь хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод.

Городские сточные воды имеют чрезвычайно высокую микробную загрязненность (в т. ч. патогенные формы микроорганизмов, простейших, яиц гельминтов и т. д.). Они содержат минеральные примеси (песок, глина, растворенные минеральные соли, кислоты, щелочи), органические вещества растительного и животного происхождения, представляющие собой азотсодержащие, углеродсодержащие и жиросодержащие соединения, способные к загниванию.

Состав городских сточных вод довольно постоянный, различия определяются лишь концентрацией компонентов, которая зависит от нормы водоотведения. При проектировании систем канализации населенных пунктов расчетное удельное среднесуточное водоотведение бытовых сточных вод от жилых зданий принимается равным расчетному удельному суточному водопотреблению.

Качественный состав хозяйственно-бытовых сточных вод, отводимых с территории города, представлен в основном двумя видами загрязне-

ний: неорганическое (песок) и органическое, состоящее из азотсодержащих, углеродсодержащих и жиросодержащих соединений, способных к загниванию. Кроме того, сточные воды содержат колоссальное количество микроорганизмов, в т. ч. и патогенных, простейших, яиц гельминтов и т. д.

Задачи, стоящие при очистке городских сточных вод, сводятся к следующему:

- 1) освобождение сточной жидкости от взвешенных минеральных и органических веществ (механическая очистка);
- 2) освобождение от растворенных и коллоидных органических веществ (биологическая очистка);
- 3) освобождение от патогенной микрофлоры (обеззараживание);
- 4) обезвреживание и утилизация осадка.

Для выполнения этих задач применяются очистные сооружения двух видов:

- 1) сооружения механической очистки;
- 2) сооружения биологической очистки.

Сооружения механической очистки осуществляют очистку хозяйственно-бытовых стоков путем задержания крупных механических примесей и осаждения взвешенных веществ.

Сооружения механической очистки хозяйственно-бытовых стоков:

- решетки;
- песколовки;
- первичные отстойники;
- вторичные отстойники;
- двухъярусные отстойники;
- септики.

В сооружениях биологической очистки происходит разложение (минерализация) органических веществ, содержащихся в сточной жидкости, с помощью микроорганизмов.

Сооружения биологической очистки сточных вод:

1. В почвенных условиях:
  - биологический фильтр;
  - поля фильтрации;
  - поля подземной фильтрации;
  - поля подземного орошения;
  - поля орошения;
  - песчано-гравийный фильтр;
  - фильтрующая траншея;
  - фильтрующий колодец.
2. В водной среде:
  - аэротенк;
  - биологические пруды.

Методы очистки и обезвреживания хозяйственно-фекальных сточных вод представлены на рис 1.



Рис. 1. Методы очистки и обезвреживания хозяйственно-фекальных сточных вод



## СООРУЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

**Решетки** предназначены для удаления крупных предметов из сточной воды и устанавливаются с зазорами не более 16 мм со стержнями прямоугольной формы (решетки-дробилки). Отбросы с решеток допускается собирать в контейнеры и вывозить в места обработки твердых бытовых отходов.

Дробленые отбросы рекомендуется обрабатывать совместно с осадками очистных сооружений.

**Песколовки** предназначены для удаления из сточной воды неорганического загрязнителя — песка (их необходимо предусматривать при производительности очистных сооружений более  $100 \text{ м}^3/\text{сут}$ ). Следует применять не менее 2 песколовок.

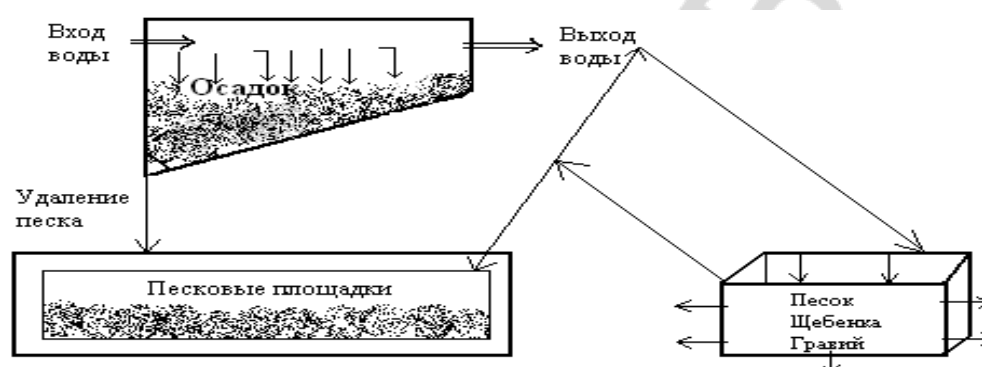


Рис. 2. Использование песколовки в очистке сточных вод

Удаление задержанного песка из песколовки осуществляется вручную при объеме емкости до  $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ , механическим или гидромеханическим способом — при объеме его более  $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$  на песковые площадки.

**Отстойники первичные** предназначены для удаления из сточной воды мелких неорганических загрязнений и органических загрязнений путем отстаивания. Осадок первичных отстойников характеризуется колоссальным бактериальным обсеменением яйцами гельминтов, интенсивным загрязнением органическими веществами: способен загнить, привлекает мух — эпидемически опасен.

**Отстойники вторичные** устраиваются после аэротенков и предназначены для удаления из сточной воды активного ила, образующегося в аэротенке, и продуктов окисления белков, жиров и углеводов (органическое загрязнение). Осадок вторичных отстойников характеризуется масштабным загрязнением сапрофитной и патогенной микрофлорой, яйцами гельминтов, грибами, плесенью, простейшими и пр.

Осадок, образующийся в процессе очистки сточных вод (осадок первичных и вторичных отстойников, избыточный активный ил и др.) должен подвергаться обработке, обеспечивающей возможность его утилизации или складирования. Выбор методов стабилизации, обезвожива-

ния и обезвреживания осадка определяется местными условиями (климатическими, гидрогеологическими, градостроительными, агротехническими и пр.), его физико-химическими и теплофизическими характеристиками, способностью к водоотдаче. Уплотнители и сгустители осадка применяют для повышения концентрации активного ила перед обезвоживанием или сбраживанием.

Метантенки применяют для анаэробного сбраживания осадков городских сточных вод с целью стабилизации и получения метансодержащего газа брожения. Для сбраживания осадков в метантенках допускается принимать мезофильный (33 °С) либо термофильный (53 °С) режим. Выбор режима сбраживания следует производить с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков, а также санитарных требований. Газ, получаемый в результате сбраживания осадков в метантенках, надлежит использовать в теплоэнергетическом хозяйстве очистной станции и близрасположенных объектов.

На аэробную стабилизацию направляют уплотненный или уплотненный в течение не более 5 часов активный ил, а также смесь его с сырым осадком. Для аэробной стабилизации используют сооружения типа коридорных аэротенков. Продолжительность аэрации при температуре 20 °С составляет 2–12 суток в зависимости от вида ила. Аэробная стабилизация осадка может осуществляться в диапазоне температур 8–35 °С. Сооружения для механического обезвоживания осадка — илоуплотнители, вакуум-фильтры, фильтр-прессы, центрифуги, иловые площадки.

Обеззараживание предварительно уплотненного (в уплотнителях и сгустителях) осадка первичных и вторичных отстойников, избыточного активного ила осуществляется путем сбраживания в метантенках, аэробных стабилизаторах с последующим центрифугированием (обезвоживанием) и подсушиванием на иловых площадках с последующей утилизацией (рис. 3).

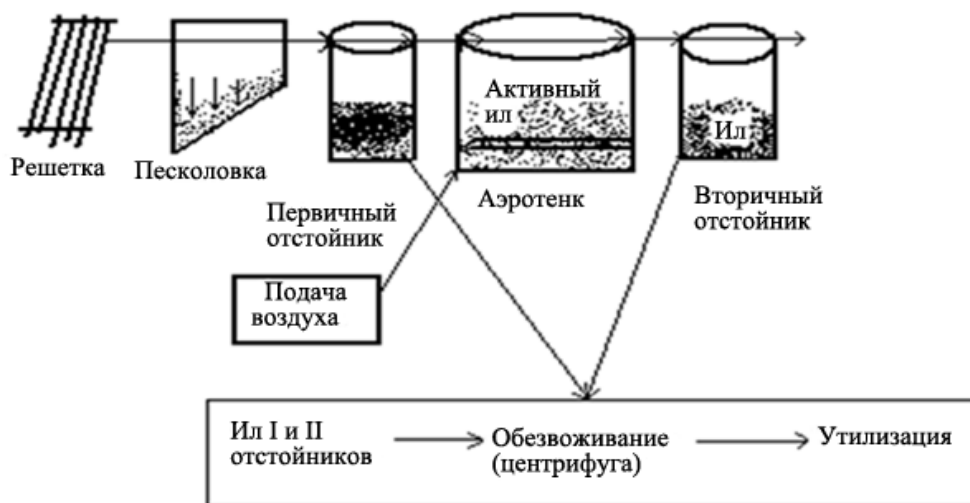


Рис. 3. Обезвреживание осадков очистных сооружений

## СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

**Аэротенк** — чаще всего резервуар прямоугольного сечения, по которому протекает смешанная с активным илом сточная вода и в котором происходит биологическая очистка сточной воды. Воздух, вводимый с помощью пневматических или механических аэраторов — аэрационной системы, перемешивает обрабатываемую сточную воду с активным илом и насыщает ее кислородом, необходимым для жизнедеятельности бактерий. Большая насыщенность сточной воды активным илом и непрерывное поступление кислорода обеспечивают интенсивное биохимическое окисление органических веществ, поэтому аэротенки являются одним из наиболее совершенных сооружений для биохимической очистки. В зависимости от требуемой степени снижения органического загрязнения сточных вод аэротенки проектируются на полную биологическую очистку и неполную очистку.

Биологическая очистка сточных вод в аэротенках происходит в результате жизнедеятельности микроорганизмов активного ила. Сточная вода непрерывно перемешивается и насыщается кислородом воздуха. Активный ил представляет собой суспензию микроорганизмов, способную к флокуляции.

При биологической очистке сточных вод протекают два процесса — сорбция загрязнений активным илом и их внутриклеточное окисление микроорганизмами. Скорость сорбции значительно превышает скорость биоокисления, поэтому после окончания процесса сорбции и достижения требуемого эффекта очистки по биологической потребности в кислороде (БПК) отделившийся в отстойнике ил направляют в регенератор (секцию аэротенка) с целью биоокисления остаточных загрязнений сточных вод.

**Биологический фильтр** — резервуар, в котором стоки фильтруются через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, которая состоит из колоний микроорганизмов.

Микрофлора, обитающая в биопленке, разлагает органические вещества, применяя их как источник питания и получения энергии. Омертвевшая биологическая пленка отслаивается, смывается протекающей сточной водой и выносится из биофильтра. В качестве загрузки используются материалы с высокой пористостью, малой плотностью, высокой удельной поверхностью (щебень, гравий, шлак, керамзит, металлические и пластиковые сетки, скрученные в рулоны).

Биопленка в биофильтрах выполняет те же функции, что и активный ил, она адсорбирует и перерабатывает биологические вещества, находящиеся в сточных водах.

Окислительная мощность биофильтров ниже, чем у аэротенков.

В состав биофильтра входят следующие составные части:

а) фильтрующая загрузка (тело фильтра) состоит из щебня, шлака, керамзита, гравия, пластика, асбестоцемента и помещена обычно в резервуаре с водопроницаемыми или водонепроницаемыми стенками;

б) водораспределительное устройство обеспечивает равномерное орошение сточными водами поверхности загрузки биологического фильтра;

в) дренажное устройство для удаления профильтровавшейся воды;

г) воздухораспределительное устройство, с помощью которого поступает кислород, необходимый для окислительного процесса.

Принцип работы биофильтра: сточные воды, пройдя первичную механическую очистку в отстойнике, где были удалены крупные тяжелые фракции загрязняющих веществ, поступают на биологическую очистку. Очистка в биофильтре осуществляется следующим образом: загрязненная вода, проходя через фильтрующую загрузку, оставляет в ней нерастворенные примеси, которые не ушли в осадок в первичном отстойнике, а также коллоидные и растворенные органические вещества, сорбируемые биологической пленкой. Колонии микроорганизмов, питаясь веществами органического происхождения, получают энергию для своей жизнедеятельности. Часть органических веществ микроорганизмы используют как материал для увеличения своей численности. Таким образом, происходит одновременно и очищение сточных вод и рост колонии. Необходимый для биохимического процесса кислород воздуха поступает в толщу загрузки путем естественной и искусственной вентиляции фильтра.

На эффективность очистки сточных вод в биофильтрах влияют:

- БПК очищаемой сточной воды;
- природа загрязнения веществ;
- скорость окисления;
- интенсивность дыхания микроорганизмов;
- толщина биопленки;
- состав обитающих в биопленке микроорганизмов;
- температура сточных вод в биофильтре.

Биофильтры классифицируют:

1. На биофильтры с капельной фильтрацией. Они имеют низкую производительность, но обеспечивают полную очистку. Их используют для очистки воды до  $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , при БПК не более  $200 \text{ мг/л}$ . Данный вид биофильтров характеризуется тем, что сточная вода подается в виде капель или струй. Для обеспечения вентиляции воздуха предусмотрены открытая крыша фильтра для очистки сточных вод и дренаж. Такой вид биофильтров характеризуется низкой нагрузкой по воде.

2. Двухступенчатые биофильтры (высоконагружаемые биофильтры, аэрофильтры). Они применяются для достижения высокой степени

очистки, когда нельзя увеличить высоту биофильтра. Главное отличие данного вида биофильтров от капельных состоит в повышенной окислительной мощности. Она в первую очередь обусловлена лучшим обменом воздуха и неспособностью загрузки заиливаться. Это достигается с помощью использования специального загрузочного материала с показателем крупности, равным 40–70 мм, а также увеличением высоты работы нагрузки и ее гидравлики.

**Биологические пруды** применяют для очистки и глубокой очистки городских, производственных и поверхностных сточных вод, содержащих органические вещества. Биологические пруды проектируют как с естественной, так и с искусственной аэрацией. При очистке в биологических прудах сточные воды не должны иметь БПК<sub>полн</sub> свыше 200 мг/л для прудов с естественной аэрацией и свыше 500 мг/л для прудов с искусственной аэрацией. При БПК<sub>полн</sub> свыше 500 мг/л необходима предварительная очистка сточных вод. Для глубокой очистки в пруды допускается направлять сточную воду после биологической или физико-химической очистки с БПК<sub>полн</sub> не более 25 мг/л для прудов с естественной аэрацией и не более 50 мг/л для прудов с искусственной аэрацией. Биопруды устраивают на нефилтрующих или слабофилтрующих грунтах. При неблагоприятных в фильтрационном отношении грунтах следует осуществлять противофильтрационные мероприятия.

Биологические пруды располагают по отношению к жилой застройке с подветренной стороны с учетом господствующего направления ветра в теплое время года. Направление движения воды в пруде должно быть перпендикулярным этому направлению ветра. Отношение длины к ширине пруда с естественной аэрацией должно быть не менее 20. В прудах с искусственной аэрацией отношение сторон секций может быть любым, при этом аэрирующие устройства должны обеспечивать движение воды в любой точке пруда со скоростью не менее 0,05 м/с.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Эффективность очистки городских сточных вод оценивается путем определения:

- 1) технической эффективности;
- 2) гигиенической эффективности.

Под технической эффективностью работы очистных сооружений понимают выраженное в процентах снижение того или иного показателя после определенного очистного сооружения или целого этапа очистки (механической, биологической, обеззараживания). Для оценки техниче-

ской эффективности необходимо располагать анализами сточных вод, поступающих на очистные сооружения и выходящих из них.

Эффект очистки рассчитывают в первую очередь по показателям, специфическим для данного сооружения. Так, техническую эффективность механической очистки сточных вод оценивают по показателям, характерным для этого этапа: окраска, плавающие примеси, взвешенные вещества, запах, осадок в процентах к объему сточных вод.

Техническую эффективность (Р) рассчитывают по формуле:

$$P = \frac{C_{\text{пост}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{пост}}} \times 100,$$

где  $C_{\text{пост}}$  — концентрация загрязнений бытовых сточных вод, поступающих на очистку, мг/л;  $C_{\text{вых}}$  — концентрация загрязнений в очищенной (выходящей) сточной жидкости, мг/л.

Суждение о технической эффективности очистки необходимо формировать на основе табл. 1.

Таблица 1

**Эффективность очистки бытовых сточных вод на различных сооружениях и этапах очистки**

Тип сооружения	Эффективность очистки, % снижения					Характеристика сточной жидкости, прошедшей очистку		
	Взвешенные вещества	БПК <sub>5</sub>	Окисляемость	Количество бактерий	Количество яиц гельминтов	Растворенный кислород, мг/дм <sup>3</sup>	Остаточный хлор, мг/дм <sup>3</sup>	Физические свойства воды
Сита, решетки, песколовки	5–10	5–10	—	5–15	—	—	—	Свободна от крупных плавающих и взвешенных веществ и песка
Септик (после двухсуточного отстаивания)	70–98	30	35	6–15	10–100	0	—	Слегка опалесцирует, с отдельными белыми хлопьями
Двухъярусный отстойник	50–70	25–30	—	—	70–90	0	—	То же
Отстойник горизонтальный, вертикальный	50–70	25–30	—	25–50	70–90	—	—	То же

Тип сооружения	Эффективность очистки, % снижения					Характеристика сточной жидкости, прошедшей очистку		
	Взвешенные вещества	БПК <sub>5</sub>	Окисляемость	Количество бактерий	Количество яиц гельминтов	Растворенный кислород, мг/дм <sup>3</sup>	Остаточный хлор, мг/дм <sup>3</sup>	Физические свойства воды
Отстойник с преаэрацией	65	35	—	30	—	—	—	То же
Отстойник с биокоагуляцией	75	50	—	40	—	—	—	То же
Биологические фильтры	70–92	70–90	70–65	80–95	—	> 4	—	Бесцветная (прозрачность 15–20 см)
Аэротенк	70–92	80–90	70–75	90–95	—	> 4	—	Бесцветная
Вторичный отстойник	80–95	85–95	—	90–98	—	> 4	—	Бесцветная
Поля орошения или поля фильтрации	90–98	95–99	80–90	95–98	100	> 4	—	Бесцветная (прозрачность более 30 см)
Хлорирование после отстаивания	—	15	—	90–95	—	—	3–5	То же
Хлорирование после биологической очистки	—	—	—	98–99,5	—	—	1–2	То же
Качество воды после искусственной биологической очистки	30	5–20	—	—	—	> 4	—	Бесцветная, без неприятного запаха, не загнивает при стоянии (прозрачность более 20 см)

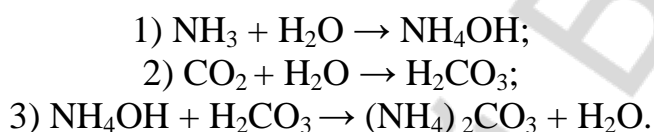
Следующим этапом оценки технической эффективности работы очистных сооружений является оценка биологической очистки сточных вод по показателям: БПК<sub>5</sub>, азот аммиака, азот нитратов, азот нитритов,

стабильность. Выбор показателей, характеризующих этап биологической очистки, обусловлен процессами минерализации органических веществ, происходящими на этом этапе.

При оценке эффективности биологической очистки необходимо учесть, что процесс окисления органических веществ идет во времени и имеет две фазы: аммонификации и нитрификации.

Первая фаза окисления (**аммонификация**) характеризуется окислением органических соединений (белок-, жиро- и углеродсодержащих соединений) до конечных продуктов их распада: аммиака ( $\text{NH}_3$ ), углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Процесс является экзотермическим, сопровождается выделением тепла. В результате реакций этих веществ в сточной воде образуется углекислый аммоний  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , дающий название этой фазе.

Химизм этих процессов выглядит следующим образом:



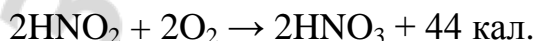
Азотосодержащие органические вещества поступают в сточную воду не только в виде белка, но и в виде продуктов обмена (мочевины и др.), которые в дальнейшем подвергаются биохимическому окислению при помощи бактерий с образованием углекислого аммония.

В дальнейшем углекислый аммоний подвергается **нитрификации**. Этот процесс осуществляется в две фазы.

В первой фазе биохимического окисления аммонийные соли превращаются в азотистые соединения (нитриты) кокковыми бактериями из рода *Nitrosomonas*:



Во второй фазе бактериями рода *Nitrobacter* нитриты окисляются до нитратов:



Таким образом, азотная кислота в виде минеральных солей — нитратов является конечным продуктом окисления белковых соединений и продуктов их обмена в животном и растительном мире. В связи с этим по увеличению количества нитратов судят об успешности и полноте процессов окисления.

В целом процесс биологического окисления органических соединений происходит на фоне снижения величины БПК,  $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ . Происходит расход  $\text{O}_2$  на биохимическое окисление органических соединений (фаза аммонификации), накопление нитритов и рост азота нитратов на фоне общего снижения азота аммонийного.



Процесс нитрификации связан с выделением тепла, поэтому играет немаловажную роль при эксплуатации сооружений биохимической очистки сточной воды в зимний период.

Кроме того, при нитрификации накапливается запас кислорода, который может быть использован для биохимического окисления органических веществ, когда полностью уже израсходован весь свободный кислород. Под действием денитрифицирующих бактерий кислород отщепляется от нитратов и нитритов и вторично используется для окисления органического вещества. Этот процесс носит название **денитрификации**.

Под денитрификацией понимается восстановление бактериями солей азотной кислоты (нитратов) независимо от того, образуются ли при этом соли азотной кислоты (нитриты), низшие окислы азота, аммиак или свободный азот.

Описанные выше процессы распада и минерализации органических веществ в водной и почвенной среде представлены на рис. 4.

Таким образом, основной задачей биохимической очистки является максимальное освобождение сточных вод от органического вещества. Другими словами, необходимо достигнуть высокого уровня относительной стойкости (стабильности) сточной жидкости, при которой ослабляется или вовсе теряется способность ее к загниванию.

**Относительная стабильность** обозначается в процентах и представляет собой отношение количества кислорода, содержащегося в сточной воде в растворенном и связанном состоянии (нитритный, нитратный), к количеству его, необходимому для биохимического окисления ( $\text{БПК}_{\text{полн}}$ ) всех находящихся в этой жидкости органических веществ:

$$S = \frac{O_2 \times 100}{\text{БПК}_{\text{полн}}}.$$

Установлено, что при стабильности, равной 50 %, и температуре в 20 °С загнивание начинается на третий день; при стойкости в 80 % — на седьмой день, при стойкости 99 % — на двадцатый, а при стойкости 100 % вода не загнивает.

Чем больше стабильность сточных вод, тем меньше вреда она может нанести при выпуске в водоем.

После полной биологической очистки стабильность должна повыситься не менее чем на 99 %. В отдельных случаях в зависимости от местных условий (санитарных, гидрологических, климатических, др.) допускается выпуск сточных вод в водоем с относительной стабильностью, равной 80 % (техническая эффективность).

После полной биологической очистки сточные воды могут быть сброшены в водоем с обязательным предварительным их обеззараживанием (хлорированием).

# РАСПАД И МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОЙ И ПОЧВЕННОЙ СРЕДЕ

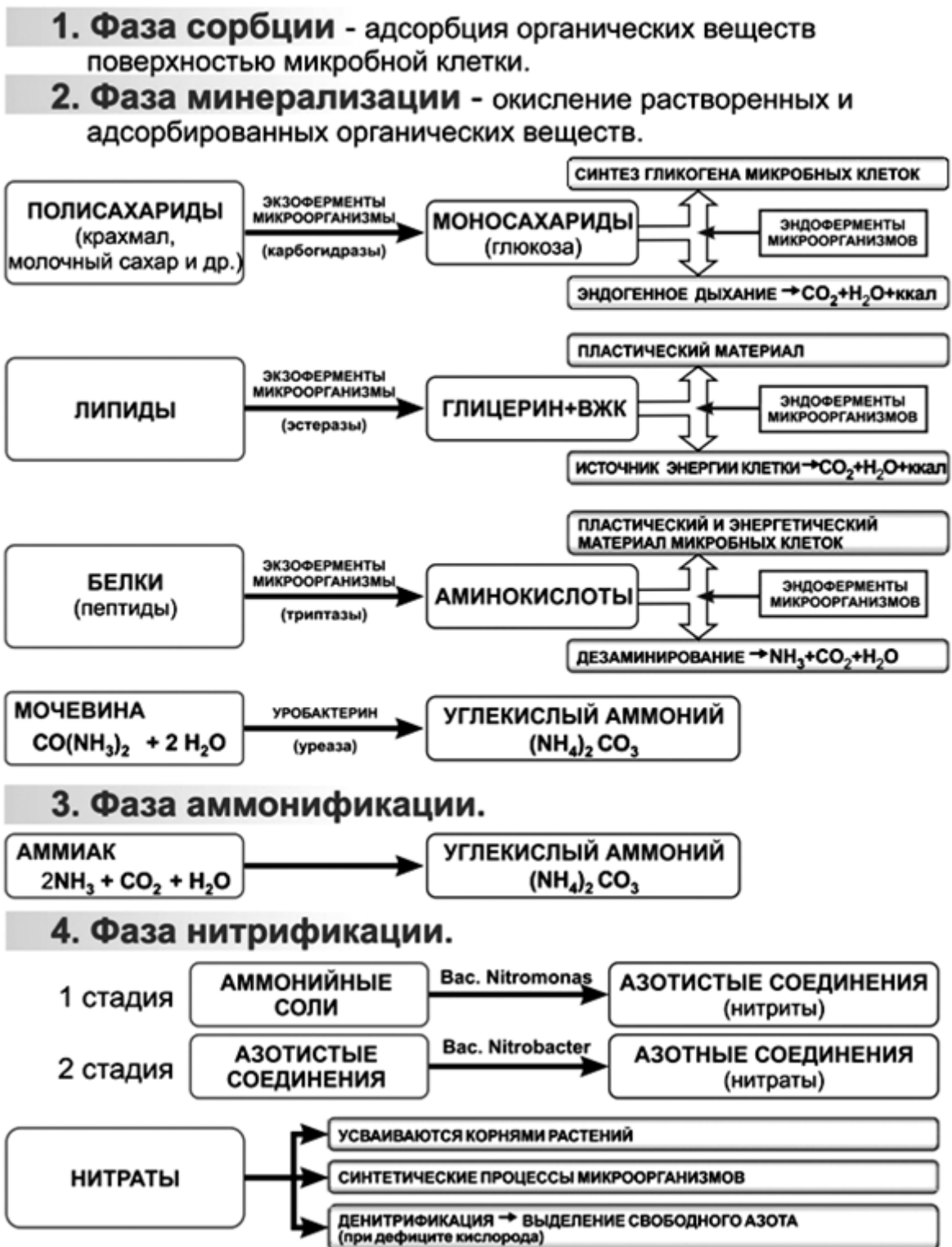


Рис. 4. Распад и минерализация органических веществ в водной и почвенной среде

Другим критерием, по которому осуществляется оценка эффективности работы очистных сооружений, является гигиеническая эффективность.

Гигиеническая эффективность очистки сточных вод оценивается по качеству воды водоема, куда осуществлен сброс (впуск) очищенных стоков. Для оценки гигиенической эффективности пробы воды водоема отбираются в створе на 1 км выше ближайшего пункта водопользования. Анализ проб воды проводится по показателям, указанным в приложении 1 СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения» (табл. 2).

Гигиеническая эффективность считается достигнутой, если качество воды водоема в указанном створе соответствует приведенным выше нормативам.

В исключительных случаях, когда спуск очищенных сточных вод осуществляется в черте населенного пункта, для оценки гигиенической эффективности отбираются пробы сточных вод перед спуском их в водоем. В этом случае гигиеническая эффективность считается достигнутой, если качество сточных вод перед спуском их в водоем соответствует приведенным выше нормативам по второй категории водопользования.

Таблица 2

**Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования**

Определяемые показатели	Категории водопользования	
	Для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	Для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
Взвешенные вещества <sup>1</sup>	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на 0,25 мг/дм <sup>3</sup>	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на 0,75 мг/дм <sup>3</sup>
	Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/дм <sup>3</sup> природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5 %. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	

Определяемые показатели	Категории водопользования	
	Для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	Для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей	
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике 20 см	Не должна обнаруживаться в столбике 10 см
Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые непосредственно или при последующем хлорировании или других способах обработки	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые непосредственно
Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
Водородный показатель (рН)	Не должен выходить за пределы 6,5–8,5	
Минерализация воды	Не более 1000 мг/дм <sup>3</sup> , в т. ч.: хлоридов — 350 мг/дм <sup>3</sup> ; сульфатов — 500 мг/дм <sup>3</sup>	
Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/дм <sup>3</sup> в любой период года в пробе, отобранной до 12 часов дня	
Биохимическое потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> )	Не должно превышать 2 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Не должно превышать 4 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Химическое потребление кислорода (хроматная окисляемость, ХПК)	Не должно превышать 15 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Не должно превышать 30 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ	
Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций	
Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, власоглавы, токсокар, фасциол), онкосферы тениид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших	Не должны содержаться в 25 дм <sup>3</sup> воды	

Определяемые показатели	Категории водопользования	
	Для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	Для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
Термотолерантные колиформные бактерии <sup>2</sup>	Не более 100 КОЕ/100 см <sup>3</sup>	
Общие колиформные бактерии <sup>2</sup>	Не более 1000 КОЕ/100 см <sup>3</sup>	Не более 500 КОЕ/100 см <sup>3</sup>
Колифаги <sup>2</sup>	Не более 10 БОЕ/100 см <sup>3</sup>	
Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии <sup>3</sup>	$\Sigma (A_i / YB_i) \leq 1$ , где $A_i$ — удельная активность $i$ -го радионуклида в воде; $YB_i$ — соответствующий уровень вмешательства для $i$ -го радионуклида	

*Примечания.* 1. Содержание в воде взвешенных веществ неприродного происхождения (хлопья гидроксидов металлов, образующихся при обработке сточных вод, частички асбеста, стекловолокна, базальта, капрона, лавсана и т. д.) не допускается.

2. Для централизованного водоснабжения; при нецентрализованном питьевом водоснабжении вода подлежит обеззараживанию.

3. В случае превышения указанных уровней радиоактивного загрязнения контролируемой воды проводится дополнительный контроль радионуклидного загрязнения в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности.

## МЕТОДИКА ДЕЙСТВИЙ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Методика действий по оценке эффективности очистки сточных вод состоит в следующем:

1. Выяснить условия формирования городских сточных вод, поступающих на станцию аэрации:

1) количество хозяйственно-бытовых сточных вод;

2) количество производственных сточных вод;

3) содержание вредных химических веществ в производственных стоках.

2. Уточнить места отбора проб сточных вод и воды водоема.

3. Провести лабораторное исследование проб сточных вод. Программа лабораторного исследования сточных вод зависит от схемы очистки сточных вод. В зависимости от объекта исследования определяют специфические показатели оценки эффективности работы различных видов очистных сооружений.

4. Провести лабораторное исследование проб воды водоема по показателям в соответствии с приложением 1 СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения».

5. Оценить техническую эффективность механической очистки сточных вод по показателям: окраска, плавающие примеси, взвешенные вещества, запах, осадок в процентах к объему сточных вод, для чего:

- а) сравнить данные анализов до и после механической очистки;
- б) определить степень снижения загрязнения по каждому из указанных показателей в процентах.

6. Оценить техническую эффективность биологической очистки сточных вод по показателям: БПК<sub>5</sub>, стабильность, азот аммиака, азот нитритов, азот нитратов, для чего:

- а) сравнить данные анализов до и после биологической очистки;
- б) определить степень снижения загрязнения по каждому из указанных показателей в процентах.

7. Оценить эффективность обеззараживания по показателям: колиформные бактерии, остаточный хлор.

8. Оценить гигиеническую эффективность очистки сточных вод при спуске их ниже города по течению реки, для чего:

- 1) уточнить характер водопользования и категорию водоема;
- 2) сравнить показатели анализа воды водоема с показателями приложения 1 СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения» для конкретной категории водоема.

9. Оценить гигиеническую эффективность очистки сточных вод при спуске их в черте города, для чего показатели (БПК, рН, окраска, запах, колиформные бактерии) анализа проб сточных вод, взятых перед спуском их в водоем, сравнивают с показателями приложения 1 СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения» для водоемов второй категории.

10. Дать заключение об эффективности очистки сточных вод.

11. Предложить мероприятия, направленные на повышение эффективности очистки и улучшение санитарного состояния водоема.

## **ОБРАЗЕЦ РЕШЕНИЯ СИТУАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ**

Оцените эффективность очистки сточных вод на станции аэрации. Спуск сточных вод осуществляется в реку ниже населенного пункта. Результаты исследования сточных вод по этапам очистки приведены в протоколе № 1 (табл. 3), качество воды водоема в створе на 1 км выше ближайшего пункта водопользования, использующего воду из реки для централизованного водоснабжения, приведено в протоколе № 2 (табл. 4).

Таблица 3

**Протокол № 1. Результаты исследования сточных вод по этапам очистки**

Показатели анализа	Сточные воды			
	поступающие	после радиальных отстойников	после аэротенков	после хлорирования
Температура, °С	22,5	22	19,6	20
Прозрачность, см	2	9	12	19
Осадок по объему, %	2,2	1,1	0,9	0,2
Взвешенные вещества, мг/л	110	55	92	16
рН	7,6	7,6	7,7	7,7
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	86	72	8	6
Относительная стабильность, %	11	37	99	99
Хлориды, мг/л	55	55	50	50
Азот аммиака, мг/л	18,2	18	10,2	9,8
Азот нитритов, мг/л	0	0	0,1	0,14
Азот нитратов, мг/л	0	0	9,6	9

Таблица 4

**Протокол № 2**

Показатели анализа	Вода водоема	
	до спуска сточных вод	в створе на 1 км выше города
Взвешенные вещества, мг/л	15	15,25
Плавающие примеси	Не обнаружены	Не обнаружены
Запах в баллах	2	2
Окраска	Отсутствует в столбике 20 см	Отсутствует в столбике 20 см
Водородный показатель (рН)	7,2	7
Минеральный состав, мг/л	750	800
Растворенный кислород, мг/л	8	7
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	1,2	2,5
Возбудители кишечных инфекций	Не обнаружены	Не обнаружены
Ядовитые вещества, мг/л	Не обнаружены	Не обнаружены
Термотолерантные колиформные бактерии, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	80	95
Общие колиформные бактерии, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	630	710
Колифаги, БОЕ/100 см <sup>3</sup>	7	10

**Решение.** Оценка технической эффективности:

1. Этап механической очистки. Для оценки технической эффективности механической очистки из анализа сточных вод выделяем показатели, характерные для этого вида очистки: взвешенные вещества, осадок по

объему, прозрачность. Определяем (в процентах) снижение концентрации взвешенных веществ ( $P_{в.в.}$ ) и осадка ( $P_{ос}$ ) после механической очистки по сравнению с поступающей на очистку сточной водой. Этап механической очистки заканчивается на радиальных отстойниках. Таким образом,

$$P_{в.в.} = \frac{(110 - 55) \times 100}{110} = 50 \%;$$

$$P_{ос} = \frac{(2,2 - 1,1) \times 100}{2,2} = 50 \%.$$

Следовательно, техническая эффективность механической очистки составляет 50 %. Из анализа видно, что наряду с уменьшением взвешенных веществ увеличивается прозрачность сточных вод с 2 см до 9 см (табл. 3). Оценивая техническую эффективность очистки, ориентируемся на табл. 1, где указана проектная эффективность сооружений очистки. Для радиальных отстойников, которые являются горизонтальными, проектная эффективность составляет 50–70 %.

2. Этап биологической очистки (аэротенки). Для оценки технической эффективности биологической очистки необходимо ориентироваться на показатели анализа сточных вод — БПК<sub>полн</sub>, стабильность (S) и соединения группы азота (азот аммиака, азот нитритов, азот нитратов):

$$P_{БПК} = \frac{(72 - 8) \times 100}{72} = 89 \%.$$

Техническая эффективность по БПК<sub>полн</sub> ( $P_{БПК}$ ) составляет 89 % (соответствует проектной эффективности аэротенков 80–90 % (табл. 1)). Стабильность сточных вод составляет 99 %, что является положительным фактом. Из анализа следует, что процесс окисления органических веществ идет глубоко, о чем свидетельствуют: 1) снижение концентрации азота аммиака с 18 мг/л до 10,2 мг/л; 2) появление азота нитритов и нитратов (0,1 и 9,6 мг/л соответственно).

**Вывод:** техническая эффективность очистки достигнута.

Оценка гигиенической эффективности: спуск сточных вод осуществляется в реку ниже населенного пункта, ближайший пункт водопользования использует речную воду для централизованного водоснабжения. Следовательно, необходимо сравнить качество воды водотока выше пункта водопользования (табл. 4) с требованиями приложения 1 СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения» для первой категории водоема (для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий) (табл. 2).

**Вывод:** гигиеническая эффективность достигнута.

**Заключение:** техническая и гигиеническая эффективность очистки сточных вод достигнута.



## СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

### Задача 1

Оцените эффективность очистки сточных вод на станции аэрации по приведенному протоколу (табл. 5). Спуск сточных вод осуществляется в реку в пределах городской черты.

Таблица 5

Протокол исследования вод по этапам очистки к задаче 1

Показатели анализа	Сточные воды			
	поступающие	после радиальных отстойников	после аэротенков	после хлорирования
Температура, °С	22,5	21,8	19,4	20
Прозрачность, см	2	9	12	19
Осадок по объему, %	2,2	1,1	0,9	0,2
Взвешенные вещества, мг/л	120	55	92	16
рН	7,6	7,6	7,7	7,7
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	83	73	8	7
Относительная стабильность, %	11	37	99	99
Хлориды, мг/л	55	55	50	50
Азот аммиака, мг/л	18,2	18	10,2	9,8
Азот нитритов, мг/л	0	0	0,1	0,14
Азот нитратов, мг/л	0	0	9,6	9

### Задача 2

Оцените гигиеническую эффективность и составьте заключение об эффективности очистки городских сточных вод (табл. 6). Очистка сточных вод осуществляется на станции аэрации. Выпуск сточных вод производится в реку ниже города. Ближайший пункт водопользования использует воду реки для целей централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

## Протокол к задаче 2

Показатели анализа	Вода водоема	
	до спуска сточных вод	в створе на 1 км выше города
Взвешенные вещества, мг/л	18	18,25
Плавающие примеси	Не обнаружены	Не обнаружены
Запах в баллах	2	5
Окраска	Отсутствует в столбике 20 см	Отсутствует в столбике 20 см
Водородный показатель (рН)	7,4	7,3
Минеральный состав, мг/л	450	750
Растворенный кислород, мг/л	8	7,5
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	1,4	2,5
Возбудители кишечных инфекций	Не обнаружены	Не обнаружены
Термотолерантные колиформные бактерии, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	77	150
Общие колиформные бактерии, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	670	990
Колифаги, БОЕ/100 см <sup>3</sup>	5	14
Фенол, мг/л	Отсутствует	8

## ЗАДАЧА 3

Оцените гигиеническую эффективность и составьте заключение об эффективности очистки городских сточных вод (табл. 7). Очистка сточных вод осуществляется на станции аэрации. Выпуск сточных вод производится в реку ниже города. Ближайший пункт водопользования использует воду реки для рекреационных целей.

## Протокол к задаче 3

Показатели анализа	Вода водоема	
	до спуска сточных вод	в створе на 1 км выше города
Взвешенные вещества, мг/л	18	19
Плавающие примеси	Не обнаружены	Не обнаружены
Запах в баллах	2	5
Окраска	Отсутствует в столбике 10 см	Отсутствует в столбике 10 см

Показатели анализа	Вода водоема	
	до спуска сточных вод	в створе на 1 км выше города
Водородный показатель (рН)	8	8,3
Минеральный состав, мг/л	560	830
Растворенный кислород, мг/л	8	3,2
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	1,5	4,5
Возбудители кишечных инфекций	Не обнаружены	Не обнаружены
Термотолерантные колиформные бактерии, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	58	110
Общие колиформные бактерии, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	370	590
Колифаги, БОЕ/100 см <sup>3</sup>	4	12

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. *Коммунальная гигиена* / под ред. В. Т. Мазаева. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2005. 304 с.

### *Дополнительная*

2. *СанПиН 2.1.2.12-33-2005*. Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения : Санитарные правила и нормы : утв. постановлением гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь от 28 ноября 2005 г. № 198. Режим доступа : [minzdrav.gov.by](http://minzdrav.gov.by). Дата доступа : 01.03.2016.

РЕПОЗИТОРИЙ БГМУ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Мотивационная характеристика темы .....	4
Формирование сточных вод .....	5
Сооружения механической очистки сточных вод .....	9
Сооружения биологической очистки сточных вод .....	11
Оценка эффективности работы очистных сооружений .....	13
Методика действий по оценке эффективности очистки сточных вод...	21
Образец решения ситуационной задачи.....	22
Ситуационные задачи .....	25
Список литературы.....	28