

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра экологии

**М. М. Бражников, И. И. Кирвель, А. С. Калинович**

## **ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Методическое пособие  
для практических занятий по дисциплине  
«Основы экологии и энергосбережения»

Минск БГУИР 2009

УДК 502.51(0.75)8  
ББК 20.18я73  
Б87

Рецензент :  
зав. кафедрой высокомолекулярных соединений БГУ,  
д-р хим. наук, проф. Л. П. Круль

**Бражников, М. М.**

Б87      Оценка загрязненности водных ресурсов : метод. пособие для практ. занятий по дисц. «Основы экологии и энергосбережения» / М. М. Бражников, И. И. Кирвель, А. С. Калинович. – Минск : БГУИР, 2009. – 24 с.  
ISBN 978-985-488-412-7

Методическое пособие содержит сведения об основных загрязнителях гидросферы, а также нормах и показателях, которые должны соблюдаться при сбросе сточных вод в водоемы. Рассмотрены способы очистки сточных вод, а также очистка питьевой воды. Изложена методика расчета нормативов, которые должны контролироваться при сбросе сточных вод. Пособие предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР.

**УДК 502.51(0.75)8**  
**ББК 20.18я73**

**ISBN 978-985-488-412-7**

© Бражников М. М., Кирвель И. И.,  
Калинович А. С., 2009  
© УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники», 2009

## ВВЕДЕНИЕ

Водная среда так же, как и воздушная, загрязняются человеком. Это загрязнение нельзя объяснить только деятельностью промышленных предприятий, которые направляют свои выбросы в реки и океаны. Не менее интенсивно загрязняет природу и современное сельское хозяйство с его массовым содержанием скота, интенсивным внесением удобрений в почву и использованием средств защиты растений от вредителей; эти удобрения и химические соединения попадают в грунтовые и поверхностные воды. Наконец, в общее загрязнение вод также вносят свою лепту бытовые отходы и воздушные поллютанты.

### 1. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОД

Основным показателем для определения мощности очистных сооружений служит потребление воды на душу населения (суточная норма потребления) с учетом количества органических веществ, ежедневно сбрасываемых в сточные воды. Последняя величина составляет приблизительно 180 г на одного человека. Определить суммарное загрязнение вод органическими веществами можно по расходу кислорода на разрушение этих веществ микроорганизмами. Для количества органики массой 180 г требуется около 60 г кислорода при 20 °С в течение 5 сут. Указанное количество кислорода, израсходованное микроорганизмами, играет важную роль для выработки единой шкалы оценки чистоты сточных вод. Эта характеристика определяется как пятисуточное биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>) и выражается в миллиграммах кислорода на 1 л сточных вод. Значения БПК<sub>5</sub>, к примеру, для некоторых видов сточных вод согласно их происхождению составляют: нефтеочистка – 97–280 мг/л, пищевая промышленность более 5 000, скотоводческие фермы – 15 300, навоз – 13 600, силосная жижа – 80 000 мг/л.

Аналогично установлены нормативы в животноводстве для крупного рогатого скота в расчете на животное массой 500 кг, и соответственно для него предусмотрено в 13 раз больше кислорода, чем для человека. Для других домашних животных можно сделать пересчет. Например, для овцы коэффициент пересчета составит 0,1, для свиньи – 0,2, а для курицы-несушки – 0,004. Органические отходы, соответствующие этим нормативам, требуют для аэробного микробиологического разрушения при 20 °С 800 г кислорода.

Реально определение БПК<sub>5</sub> требует больших затрат времени и осуществляется либо при помощи кислородного электрода, либо с помощью цветной реакции, а также по изменению объема воздуха над пробами воды (предварительно воздух очищают от CO<sub>2</sub> с помощью раствора щелочи). Оценка уровня загрязненности по показателю БПК<sub>5</sub> не является полной, так как при анализе учитывается только биологически быстро разрушающиеся вещества, но не учитываются вещества, разрушающиеся с трудом, равным образом, как и неорганические соединения, также входящие в состав загрязненных вод. Быстрое заключение о количестве окисляющихся веществ можно сделать, определяя химиче-

ское потребление кислорода (ХПК) для пробы сточных вод. Полное окисление осуществляют бихроматом калия в сильноокислой среде. Недостатком этого метода является то, что одновременно окисляются и неорганические вещества и значения ХПК нельзя приравнять к БПК. Согласно грубой количественной оценке БПК<sub>5</sub> составляет половину значения ХПК. Другим очень важным параметром при оценке загрязненности вод является «общий органический углерод» (ООУ). Эта величина представляет особый интерес в тех случаях, когда загрязнение связано с веществами, которые с трудом разлагаются микробиологическим путем (лигнин, гуминовые кислоты и др.). При токсикологической оценке особое внимание следует уделять галогенорганическим соединениям. При характеристике этих соединений используют величину АОГ (адсорбируемые органические связанные галогены).

Таблица 1

Краткая характеристика различных вод

Критерий	Классификация вод по степени загрязненности (по сапробности) *			
	Низкая загрязненность (олигосапробы)	Средняя загрязненность		Высокая загрязненность (полисапробы)
		(β-мезосапробы)	(α-мезосапробы)	
Содержание O <sub>2</sub>	8 мг/л	6 мг/л	2 мг/л	< 2 мг/л
БПК <sub>5</sub>	1 мг/л	2 – 6 мг/л	7 – 13 мг/л	15 мг/л
Количество планктона	Малое	Большое	Среднее	Малое
Количество рыбы	Малое	Большое	Среднее	Отсутствует
Видовой состав	Аэробные бактерии	Нитевидные бактерии	Анаэробные бактерии	Отсутствует
	Водоросли	Водоросли	Сине-зеленые водоросли	Сине-зеленые водоросли
	Коловратки	Креветки	Простейшие	Простейшие
	Планарии	Улитки	Пиявки	Ресничные инфузории, грибы
	Икра, лосось	Многообразие разных видов рыб	Мало видов рыб	Отсутствуют рыбы

\*Сапробность – физиолого-биохимические свойства организма (сапробионта), обуславливающие его способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ. Олиго-, мезо- и полисапробы – соответственно организмы, обитающие в водах малой, средней и высокой загрязненности.

Предельная концентрация их не должна превышать в водной среде 100 мкг/л. Наряду с органическими веществами, содержащимися в воде, интерес представляют также соединения ионного характера. Поэтому для различных вод, в том числе и сточных, электропроводность является важнейшим по-

казателем. При оценке качества поверхностных вод, являющихся средой обитания многих животных и растений, используется их классификация по качеству. Все воды разбивают по степени загрязненности на 4 класса (табл. 1) [1].

Качество воды и по сей день оценивают по состоянию ее обитателей. Но поскольку это не может дать исчерпывающей картины загрязненности воды, всегда в заключение приходится прибегать к химическому анализу. Заканчивая краткий обзор различных методов оценки загрязненности вод, следует рассмотреть наиболее характерные факторы, приводящие к их загрязненности.

## 2. ОРГАНИЧЕСКИЕ ОСТАТКИ

Органические соединения природного происхождения за некоторыми исключениями (например лигнин) быстро разрушаются микроорганизмами. Однако для разрушения многочисленных синтетических органических соединений микроорганизмам не хватает многих специфических ферментов. Поэтому для устранения некоторых органических соединений необходим дифференцированный подход.

### 2.1. Вещества, разрушаемые микроорганизмами, и изменение состояния воды

Процесс биологической очистки воды связан с содержанием в ней кислорода. При достаточном количестве кислорода проявляется активность аэробных микроорганизмов, которые питаются органическими веществами. При этом образуется  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а также нитраты, фосфаты, сульфаты и кислородсодержащие соединения других элементов, которые содержались в исходных веществах. Нитраты и фосфаты играют особую роль в изменении состояния воды. В естественных водоемах они содержатся в столь малых количествах, что ограничивают рост растений и планктона. Выделенные же нитраты и фосфаты стимулируют рост водорослей и высших растений, что способствует усиленному росту зоопланктона и размножению высшей фауны, которая употребляет кислород. С ростом числа живых организмов в воде увеличивается и количество отмирающих, для аэробного разрушения органических остатков которых также необходим кислород. Если органические остатки не будут вскоре переработаны, вода на длительное время останется без кислорода, что приводит к гибели аэробных микроорганизмов и массовому размножению анаэробных, которые разрушают всю биомассу путем брожения. Этот переход от аэробного к анаэробному состоянию воды называют опрокидыванием. После анаэробного распада в результате процессов брожения образуются  $\text{CH}_4$  (метан),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Распавшиеся при этом органические вещества так изменяют состояние воды, что делают невозможным в обозримое время её возвращение к аэробному состоянию из-за выделяющихся постоянно  $\text{NH}_3$  (аммиака) и  $\text{H}_2\text{S}$  (сероводорода). Особую форму органических загрязнений представляют собой фекалии, так как они содержат патогенные микробы, присущие организмам человека и животных. Поэтому пробы воды при определении ее гигиенического состояния

должны проверяться на содержание кишечных палочек. При сильном загрязнении воды мочой и навозной жижей в ней оказывается большое количество мочевины, которая перерабатывается бактериями под действием ферментов в аммиак. Литр навозной жижи дает около 4,5 г аммиака. Благоприятные условия для образования  $\text{NH}_3$  создаются в летнее время в стоячих водах прудов. Если вода загрязнена мочой животных, например при выпасе скота, аммиак выделяется в такой концентрации, что вода может оказаться токсичной для многих живых организмов. При вдыхании аммиака, а также при питье его раствора в воде он быстро усваивается организмом, растворяет белки, нанося при этом организму непоправимый вред. Попадание аммиака в пруды вызывает массовую гибель живых организмов, а затем под действием нитрифицирующих бактерий в течение длительного времени аммиак преобразуется в нитриты и далее в нитраты.

Технический прогресс привел к получению и изготовлению ряда материалов, которые плохо поддаются разложению. Они могут накапливаться в гидросфере в опасных концентрациях, оказывая вредное воздействие на её обитателей. К этой категории относится нефть и нефтепродукты, фенолы, лигнин. Нефть может попадать в природную среду различными путями, например, при бурении скважин на нефтяных месторождениях, при авариях танкеров или течи в нефтепроводах, при транспортировке, при переработке сырой нефти, а также при очистке танкеров, железнодорожных и автоцистерн от сырой нефти и нефтепродуктов. Особо сильные загрязнения в результате утечки нефти происходят при бурении морских скважин и авариях танкеров. Внутренние водоемы также подвержены сильным загрязнениям нефтепродуктами из-за утечек их на АЗС и на авторемонтных станциях, а также за счет городских стоков и сточных вод с автомоечных пунктов. Гидрофобная нефть образует тонкую пленку на поверхности воды; вода становится непригодной для использования при попадании 1 л нефти на  $1 \times 10^6$  л воды. На открытых водных поверхностях с течением времени образуется эмульсионный слой нефть–вода, который частично препятствует газообмену между водой и воздухом. Этот эффект приводит к тому, что все живые организмы, находящиеся под этой пленкой, постепенно задыхаются. При этом прежде всего при дыхании в клетках накапливается  $\text{CO}_2$ , что ведет к ацидозу, т.е. подкислению клеточной жидкости. Растворимые в воде окисленные компоненты нефти могут обладать токсическим действием.

В отличие от загрязнений природы нефтью загрязнение фенолами происходит в значительно меньших размерах. Скорость распада фенолов в воде зависит как от их химического строения, так и от окружающих условий. Особую роль при этом играют УФ-излучение, микроорганизмы и концентрация  $\text{O}_2$  в воде. Простые фенолы в аэробных условиях под действием соответствующих бактерий полностью распадаются в течение 7 дней на 96 – 97 % от исходного количества. В анаэробных условиях распад идет медленнее. Концентрации фенолов в воде 0,25 мкг/л, не являющиеся токсичными, сильно влияют на вкус воды и рыбы. В сильно хлорированной воде образуются хлорфенолы, которые ухудшают вкус воды ещё в большей степени, чем негалогенизированные фено-

лы. Нормативы, принятые для питьевой воды, устанавливают предельно допустимую концентрацию фенолов на уровне 0,5 мкг/л. Фенолы используют для дезинфекции, а также изготовления клеев и фенолформальдегидных пластмасс. Кроме того, они входят в состав выхлопных газов бензиновых и дизельных двигателей, образуются при сгорании и коксовании древесины и угля.

К долгоживущим вредным примесям в воде относится и так называемая лигнинсульфоновая кислота (ЛСК), которая образуется при обработке древесины и отделении целлюлозы от лигнина. При получении 1 т целлюлозы примерно такое же количество других составных частей древесины идет в отходы, остающиеся в растворе (ЛСК, гемицеллюлоза, сахара). В то время как гемицеллюлоза и сахара сравнительно быстро разрушаются микробиологическим путем, ЛСК разрушается очень медленно под воздействием грибов. ЛСК увеличивает вязкость воды, а также влияет на её запах, цвет и вкус. Рыба также приобретает при этом неприятный вкус.

К большой группе органических соединений, связанных с загрязнением вод, относят поверхностно-активные вещества (ПАВ). Это моющие средства, токсичность которых приводит к массовой гибели рыб. Незначительной концентрации ПАВ 0,05-0,1 мг/л в речной воде достаточно, чтобы активизировать токсичные вещества, адсорбированные на донных осадках. Кроме того, просачивание в поверхностный слой почвы вод, содержащих ПАВ, составляет угрозу для грунтовых вод.

## 2.2. Неорганические остатки

Отходы неорганического происхождения вносят весомый вклад в загрязнение гидросферы. В первую очередь это обнаруживается при загрязнении воды хлоридами, минеральными удобрениями, соединениями тяжелых металлов, кислотами. Обычно пресная вода содержит 2–10 мг хлоридов на литр. Морская вода содержит значительно больше солей. Некоторые реки, а также водоемы в настоящее время так загрязнены солями, что это вызывает глубокие экологические изменения. К главным источникам загрязнений в этом случае относятся сточные воды, а также потоки соленой воды, содержащие ионы, поступающие с удобрениями и солями, используемыми для снеготаяния при уборке снега и льда на улицах и автострадах в зимнее время. Содержание хлоридов в воде определяет её пригодность для питья. Для питьевой воды предельное значение составляет 200 мг/л. В зависимости от вида растений предельная концентрация хлоридов составляет 50 – 300 мг/л. При средней концентрации солей свыше 10 000 мг/л гибнут рыбы.

Совсем иначе, чем хлориды, на воду действуют удобрения. Обычно хорошо растворимые в воде удобрения вымываются обильными дождями, попадая в грунтовые воды и водоемы. В наиболее распространенных удобрениях ионы  $K^+$  и  $Ca^{2+}$  можно считать безвредными, так как их концентрации в природной воде (грунтовых водах и водах водоемов) не опасны для живых организмов и не наносят ущерба природной среде. Напротив, ионы  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$

$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  способствуют зарастанию водоемов растительностью. Уже 10 мг фосфатов на 1 м<sup>3</sup> воды приводят к заметному росту растительности, вызывая разрастание планктона. Наряду с удобрениями источником фосфатов служат и моющие средства. Нитраты и фосфаты попадают в воду также в результате микробиологического разрушения органических отходов. При высоких значениях *pH* фосфаты выпадают в виде солей кальция и железа, что снижает эффект зарастания водоемов. При создании в воде анаэробной среды и росте восстановителей в результате процессов брожения выпавший в осадок фосфат железа (III)  $\text{FePO}_4$  восстанавливается до фосфата железа (II)  $\text{FeHPO}_4$  или  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , после чего зарастание водоемов вновь усиливается. Для оценки степени загрязнения гидросферы нередко используют методы биоиндикации, т.е. реакции живых организмов: животных, растений, бактерий, вирусов.

Для определения загрязненности различных водоемов в качестве растительных индикаторов используют различные растения семейства рясковых. Рясковые плавают на поверхности воды или слегка погружены в воду и обладают высокой чувствительностью к загрязнению водной среды. Именно поверхностный слой воды оказывается самым загрязненным в результате выбросов промышленных и сельскохозяйственных предприятий, смыва удобрений и ядохимикатов с полей. Состояние даже малых водоемов, контролируемое с помощью биоиндикаторов, может отражать степень загрязненности всей территории [2]. Растворимые соединения азота не только способствуют зарастанию водоемов; попадая в питьевую воду, они могут оказывать токсическое действие на людей. Проникая вместе с пищей в слюну и тонкие кишки, нитраты восстанавливаются в нитриты, которые затем окисляют железо  $\text{Fe}^{2+}$  (II) в гемоглобине до железа  $\text{Fe}^{3+}$  (III), что препятствует связыванию кислорода гемоглобином. В результате возникают симптомы кислородной недостаточности. При переходе 60 – 80 % железа  $\text{Fe}^{2+}$  (II) гемоглобина в железо  $\text{Fe}^{3+}$  (III) наступает летальный исход. Особенно чувствительны к подобным процессам грудные младенцы в первые недели своей жизни. У взрослых этот процесс идет активнее и в результате организм не так остро реагирует на присутствие нитратов и нитритов. Тем не менее и взрослые должны избегать чрезмерных количеств нитратов и нитритов. Нитриты расширяют сосуды и образуют в кислой среде желудка азотистую кислоту и нитрозамины, обладающие мутагенными действиями.

### 2.3. Тяжелые металлы

К числу важнейших факторов, обуславливающих загрязнение воды, относятся тяжелые металлы (ТМ): свинец, ртуть, кобальт, кадмий, селен, олово, таллий, теллур и др. Попадание в воду ТМ связано с деятельностью целого ряда отраслей промышленности. Поскольку ТМ содержатся также в бытовых отходах, существует опасность, что они могут попадать из свалок в грунтовые воды и водоемы. Особенно опасно использование соединений, содержащих ТМ, применяющихся для защиты растений и лесов. Попавшие в воду соединения

ТМ сравнительно быстро распространяются по большому объему. Частично они выпадают в осадок, а частично адсорбируются на минеральных или органических осадках. Поэтому содержание ТМ в отложениях постоянно растет. Многочисленные наблюдения подтверждают, что содержание ТМ в донных осадках рек и морей превышает норму их содержания в воде в 1000 и более раз. Исследования показывают также, что содержание ТМ в донных осадках неуклонно растет с ростом их производства. Особенно напряженная ситуация может возникать при этом, если исчерпана адсорбционная емкость (способность к насыщению) осадков к ТМ. Но еще задолго до наступления насыщения ТМ из отложений могут переходить в воду, оказывая вредоносное воздействие на окружающую среду. Частично этот процесс наблюдается в половодье, когда бурные потоки воды уносят донные отложения. При  $pH < 7$  осажденные ТМ могут переходить в воду. Значение  $pH$  уменьшается при попадании кислот в реки и в сильно заросшие водоемы, когда в результате активной деятельности растущих микроорганизмов выделяется обильно  $CO_2$ . Наряду с этими давно известными путями попадания в воду ТМ обнаружены реакции, в результате которых ТМ становятся растворимыми в воде либо в липидах (маслах и жирах), проникая затем в организм и включаясь в цикл питания. Было обнаружено, что ртуть, олово, а также свинец, кадмий, селен, таллий, теллур в морских анаэробных условиях, т.е. в отложениях отмерших водорослей, присоединяя водород, переходят в летучие соединения (гидриды). Такого рода гидрирование может осуществляться и с другими ТМ. Эти примеры показывают, что на отдельных участках моря покров из водорослей не только угрожает морским обитателям, но и повышает «активность» ТМ, переводя их в форму летучих гидридов, в которой они покидают воду.

Для некоторых ТМ установлена возможность микробиологического алкирирования, т.е. таким образом они могут включаться в цикл питания. Метилирование характерно для мышьяка и ртути [3]. В случае олова при участии микробов возможно метилирование соединений олова с образованием хлорпроизводных. Еще не установлено, связано ли появление алкилсвинцовых соединений в организмах с микробиологическими процессами; его причиной может быть и тетраэтилсвинец, содержащийся в автомобильном топливе.

Совсем другим путем в общую цепь питания внедряется кадмий и некоторые другие ТМ. Кадмий замещает цинк в цинксодержащих ферментах (гидроксилазах). Из-за кадмия этот фермент становится неактивным, а организмы, в которые попал кадмий, могут служить пищей для других организмов, и таким образом кадмий внедряется в общую цепь питания. Экологическое значение ТМ или других устойчивых токсинов в цепи питания можно продемонстрировать на примере ртути – первого металла, для которого было обнаружено биоаккумуляция. В 1953 г. в Японии у 121 жителя побережья в бухте Минамата было обнаружено заболевание, сопровождавшееся ломотой в суставах, нарушением слуха и зрения. Это заболевание, вошедшее в литературу под названием «болезнь Минамата», закончилось смертью для почти трети больных. Интенсивное расследование позволило установить, что на ацетиленовом произ-

водстве ртутные отходы сбрасывались в реку, впадающую в бухту Минамата. Ртуть, о чем первоначально и не подозревали, микробиологическим путем превращалась в метилртуть, которая через планктон, моллюсков и рыб в конце концов попадала на стол и в пищу. В этом цикле ртуть постепенно концентрировалась и в конце цепи, дойдя до человека, достигала токсичной концентрации. Такого рода кумуляция возможна только тогда, когда токсин поступает в организм быстрее, чем выводится из организма. Вообще подобные вещества представляют особую опасность для организма вследствие их устойчивости и липофильности (взаимодействию с жирами), обуславливающими большой период полувыведения, т.е. время, в течение которого выделяется или разрушается половина усвоенного организмом вещества. Биологический период полувыведения ртути велик, он составляет для большинства тканей организма человека 70 – 80 дн. Для кадмия период полувыведения составляет более 10 лет, поэтому даже следам кадмия, если они систематически попадают в организм, надо уделять самое серьезное внимание. Воздействие кадмия на организм выражается в болезненном скручивании костей, анемии и почечной недостаточности. Токсичность ТМ связана с образованием хелатов и сульфидов с биологически активными веществами, особенно с ферментами.

У растений устойчивость к действию ТМ выше, чем у людей и животных. В растениях ТМ могут отлагаться в клеточных стенках (целлюлоза) или в клеточных вакуолях с образованием хелатов. В этих случаях ТМ становятся физиологически неактивными. Поэтому необходимо обращать особое внимание на содержание ТМ в растениях, употребляемых в пищу. Растения могут нормально развиваться благодаря их специфическому механизму обеззараживания и даже при таких концентрациях ТМ, которые для человека являются токсичными.

#### **2.4. Кислотные дожди и гибель рыб**

Внутренние водные пути и водоемы Европы, а также некоторые районы Северного моря и Атлантики в течение многих лет испытывают действие антропогенных кислотных выбросов. Важным компонентом этих загрязнений являются так называемые «слабые» кислоты, под которыми подразумевают очень разбавленные кислоты. Сброс разбавленных кислот приводит к кислотному отравлению рыб и планктона и к возможности попадания токсинов в цепи питания. Для внутренних водоемов наибольшую опасность представляют кислотные дожди. К тому же известную роль могут сыграть кислоты почв, особенно если в водоемы попадают воды из почв, содержащих сырой гумус. Заметные изменения  $pH$  отмечаются в водах, поступающих от основных (магматических) пород кислотного характера. Образование кислотных осадков идет главным образом за счет выбросов  $SO_2$ , азотистой и азотной кислот, которые образуются при выбросах ( $NO_x$ ) с выхлопными и дымовыми газами. В реках и озерах Южной Норвегии уже в 1970-х гг. была отмечена массовая гибель пресноводных рыб, так как значение  $pH$  в водоемах снизилось с 6 до 4,7 [4]. Критическое по-

ложение создавалось в весенний период, когда с талыми водами в реки и озера хлынули после накопления и концентрирования кислых выбросов потоки кислых вод. На закисленные воды болезненно реагируют раковинные моллюски. Если значение  $pH$  падает ниже 5,2, то им грозит гибель. При этих значениях  $pH$  раковины медленно разрушаются. Водоросли и другие представители планктона гибнут при тех же значениях  $pH$ , что и рыбы. У рыб и планктона, как и раковинных, при низких значениях  $pH$  в первую очередь нарушается  $Ca^{2+}$ -обмен. Это отражается как на росте костей животных, так и на свойствах икры.

### 3. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

Поддержание вод в чистом состоянии заключается в предотвращении их последующего загрязнения. Это должно быть предметом постоянного внимания. Задача заключается в очистке загрязненных вод и доведения их до состояния, позволяющего служить жизненным пространством для водных обитателей, источником питьевой воды и воды для полива сельскохозяйственных культур.

#### 3.1. Биологические методы очистки вод

Для понимания биологических методов очистки вод полезно сделать их исторический обзор. Уже в древности фекальные воды вносились на поля. Мелко размельченные частицы в фекальных водах просачивались в почву, где под действием микроорганизмов шел аэробный процесс разрушения органических соединений. Оставшиеся при этом минеральные включения служили удобрением для сельскохозяйственных культур. Эта форма очистки сточных вод кое-где сохранилась и до нашего времени. Недостатки метода заключаются в распространении неприятного запаха и накоплении в почве плохо разрушаемых остатков, что отрицательно сказывается на ее воздухопроницаемости. Кроме того, с фекалиями могут распространяться различные возбудители болезней и паразиты, откладывающие яйца. Поэтому в настоящее время обработка полей фекалиями должна производиться для злаков не позже чем за неделю до жатвы, для картофеля – до начала цветения, для овощей – до начала вегетационного периода. Для ускорения биологического распада органических соединений используют дождевание, но при этом сохраняются недостатки метода – неприятный запах и опасность распространения возбудителей болезней. Как полив фекальными водами, так и дождевание не должны применяться в настоящее время в тех местах, где имеются водоемы с чистой водой, так как в этом случае существует опасность заражения грунтовых вод.

К очистке сточных вод, особенно в городах, приступили только в середине XIX в., используя в качестве отстойников пруды или озера с большой поверхностью. Органические вещества при этом перерабатываются микроорганизмами при участии растворенного в воде кислорода. Микроорганизмы размножаются чрезвычайно быстро, способствуя коагуляции с образованием больших хлопьев, которые оседают в стоячей воде, захватывая и другие составные части фекальных вод. Собравшийся на дне ил подвергается медленному

процессу гниения (анаэробное разложение), при этом выделяются ядовитые газы; в конце XIX в. на основании этих процессов были сконструированы так называемые отстойные установки Эмшера. Они представляют собой два цилиндра с коническими днищами, оседающий ил переходит из внутреннего цилиндра во внешний и собирается на дне, а сопутствующие газы улавливаются и могут быть использованы в качестве топлива [5]. С ростом объемов сточных вод выявилась недостаточность скорости разложения нечистот, с которой этот процесс осуществлялся в существовавших очистительных установках. В установках Эмшера сточные воды находились в течении многих дней, а ил – даже в течении двух месяцев, пока не завершалась очистка. Выявилась необходимость усовершенствования метода за счет увеличения скорости очищаемых вод. Подобные биологические очистительные установки почти повсеместно распространены в наше время, для них характерно интенсивное пропускание воздуха через очищаемые сточные воды. В биологических очистительных установках сначала проводят предварительную механическую очистку. Для этого сточные воды пропускают через сито, где отделяют грубые составные части. Затем воды с малой скоростью пропускают через одну или несколько ловушек, в которых оседает увлеченный водой песок. Бензин и масла отделяют в бензо- и маслоочистителях.

Последняя стадия очистки – биологическая. Через воду интенсивно пропускают воздух, сама вода смешивается с биологически активным илом, богатым микроорганизмами, чтобы возможно быстрее достичь биологического разложения органических составных частей. Достаточного обеспечения воды кислородом можно добиться различными методами. При всех методах вода должна находиться в непрерывном движении, чтобы было оптимальное распределение микроорганизмов между добавленным илом и обогащенной кислородом водой. Этим достигается равномерное разложение органической части отходов.

Наиболее распространенный метод продувания воздуха основан на том, что последний подается под давлением и барботируется через воду. Метод погруженных барабанов состоит в том, что большие барабаны, загруженные внутри колониями бактерий (микробиологической массой), примерно на половину погружают в воду и вращают со скоростью 0,5 – 0,8 об./мин при одновременной подаче воздуха. После насыщения воздухом и продуктами микробиологического разложения органической части воду оставляют в отстойнике. Здесь оседают хлопья, образованные труднораспадающимися веществами и колониями бактерий. Такие образования могут плавать на поверхности, если они содержат пузырьки газа. Как осевший, так и плавающий ил постоянно убирают. Ил частично переходит к новым порциям сточных вод, остальной ил обрабатывают таким образом, чтобы уничтожить патогенные бактерии и яйца паразитов и предотвратить дальнейшее гниение. После биологической очистки показатель БПК сточных вод уменьшается по крайней мере на 90 %, в крайнем случае величина БПК может составлять 25 мг кислорода на 1 л воды. Качество воды должно соответствовать принятым нормам (по крайней мере  $\alpha$ -мезосапробности, но лучше  $\beta$ -мезосапробности) (см. табл. 1). Если этого не удалось достичь при однократном

пропускании через очистительную установку, то воду пропускают второй раз до понижения БПК<sub>5</sub> на 90 %. Биологически очищенные воды поступают в отстойники, в которых происходит дальнейшая очистка, заключающаяся прежде всего в том, что растения усваивают выделенные минеральные вещества и в спокойной воде на дно оседают отмершие микроорганизмы. В покрытой ряской воде допускается интенсивное рыбоводство, если отсутствуют токсичные вещества. Использование ила очистных сооружений может привести к заражению как почвы, так и воды. Ил после предварительного высушивания рекомендуется сжигать, хотя метод сжигания нельзя считать лучшим решением вопроса.

Другая возможность дальнейшего использования ила заключается в сбраживании таких медленно разлагающихся органических соединений, как целлюлоза, гемицеллюлоза и других веществ, содержащих макромолекулы в специальных башнях без доступа воздуха. Получающийся при гниении биогаз содержит около 60 – 70 % метана, который после удаления аммиака и сероводорода может быть использован для отопления и выработки электроэнергии. Сбраживающие микроорганизмы чувствительны к действию ТМ, поэтому в данном методе следует применять ил только с небольшим содержанием последних. Вода, прошедшая биологическую очистку, содержит наряду с остатками органических веществ нитраты и фосфаты, которые частично выделяются при биологическом распаде органических соединений. Эти продукты необходимо удалять, так как они активизируют разрастание растительности в очистных сооружениях.

### 3.2. Специальные методы очистки сточных вод

Нитраты можно перевести в свободный азот под действием денитрифицирующих бактерий. В установках с применением биологической очистки часть азота, первоначально находившегося в органических соединениях, отделяется в виде  $\text{NH}_4^+$ , таким образом, вода на выходе из очистителя должна быть хорошо насыщена воздухом, чтобы с помощью нитрифицирующих бактерий перевести  $\text{NH}_4^+$  в  $\text{NO}_3^-$  (нитраты). В заключение должны быть созданы строго анаэробные условия для превращения с помощью денитрифицирующих бактерий нитратов в азот ( $\text{N}_2$ ). Для небольших очистных установок предложен экономичный метод, при котором очистные емкости располагают таким образом, что аэробная зона чередуется с анаэробной. Это позволяет чередовать нитрификацию и денитрификацию. При удалении фосфатов нужно учитывать как полифосфаты из моющих средств, так и ортофосфаты, которые выделяются из органических соединений при микробиологической очистке. Длительный метод очистки, но дающий очень чистый фосфат осуществляется с помощью бактерий: при строго аэробных условиях потребляют избыток фосфата, который накапливается в клетках в неорганической форме. Микроорганизмы затем отделяют центрифугированием и переносят в анаэробные условия, где фосфаты вновь осаждаются в очень чистой форме.

Весьма практичными оказались методы осаждения с использованием  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ , и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . При установлении  $pH > 5$  с помощью известкового

молока при избытке солей железа образуется гелеобразный осадок гидроксида  $Fe^{3+}$ , который адсорбирует фосфаты и полифосфаты. Фосфаты, а также трудно-растворимые гидрооксиды могут выпадать и при  $pH > 7$ . Целый ряд вредных веществ сточных вод до сих пор не удается удалить полностью. Но даже если не достигнута полная детоксикация, извлечение как можно большего количества высокотоксичных веществ остается насущной задачей. Чаще для извлечения токсичных веществ из воды применяют адсорбционные методы. В качестве универсального адсорбента прежде всего используют активированный уголь и синтетические ионообменники. При отсутствии подходящих поглотителей сточную воду можно фильтровать через слой глины. В качестве адсорбента используют и торф, но при этом в воду переходят гуминовые кислоты, которые придают ей неприятный запах, цвет и могут реагировать с растворенным в воде хлором (например добавляемым для дезинфекции).

В системах очистки сточных вод биологический (биохимический) метод является завершающим, и после его применения сточные воды можно использовать в оборотном водоснабжении либо сбрасывать в поверхностные водоемы.

Очень сложна утилизация животноводческих стоков, губительно действующих на водные экосистемы. В настоящее время наиболее экономичной признана технология, при которой вредные стоки разделяют с помощью центрифугирования на твердую и жидкую фракции [6]. При этом твердая часть превращается в компост и ее вывозят на поля. Жидкая часть (навозная жижа) концентрацией до 18 % проходит через реактор (см. рисунок) и превращается в гумус. При разложении органики выделяется метан, диоксид углерода и сероводород. Энергию этого биогаза используют для производства тепла и энергии.

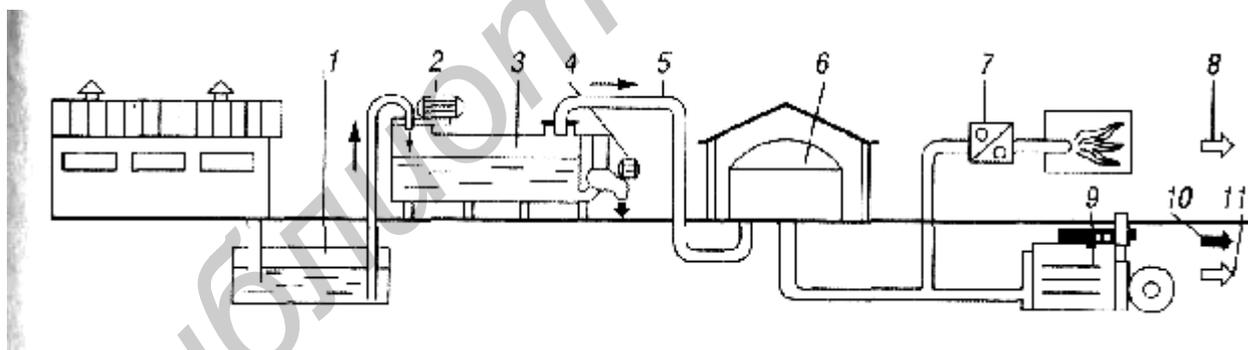


Рис. Схема утилизации компонентов, содержащихся в стоках животноводческого комплекса:

- 1 – колодец для навозной жижи; 2 – насос; 3 – биогазовый реактор;
- 4 – отработанный осадок; 5 – биогаз; 6 – хранилище биогаза;
- 7 – газовая горелка; 8 – тепловая энергия; 9 – электроустановка;
- 10 – электроэнергия; 11 – тепловая энергия

### 3.3. Очистка питьевой воды

При хлорировании питьевой воды всегда надо учитывать возможность образования токсичных хлорпроизводных. Пока отсутствуют данные для выработки действующих норм, определяющих допустимые концентрации таких продуктов галогенирования. Если при получении питьевой воды используют фильтрование, то фильтры должны быть изготовлены из активированного угля, чтобы полностью отделить все остатки пестицидов, фенолов и тяжелых металлов. При оценке качества питьевой воды в соответствии с принятыми правилами (табл. 2) предусмотрено снижение содержание нитратов в различных источниках ее добычи.

Таблица 2

Нормы качества питьевой воды согласно законодательству многих стран Европы [1] и СНГ [7]

Параметр	Реальные данные, мг/л, стр. Европы	ПДК, мг/л, стр. Европы	ПДК, СБ мг/л, СНГ	ПДК, р/х мг/л, СНГ
Хлориды Cl <sup>-</sup>	25		350	
Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	25	250	500	
Кальций Ca <sup>++</sup>	100		61	61
Магний Mg <sup>++</sup>	30	50	20	50
Натрий Na <sup>+</sup>	20	175	200	
Калий K <sup>+</sup>	10	12	8,0	20
Алюминий Al <sup>3+</sup>	0,05	0,2	-	-
Нитраты NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,1	10	9,0
Аммоний NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,05	0,5	0,5	0,5
Бор (B)	1		0,5	0,1
Железо (Fe)	0,05	0,2	0,3	0,05
Марганец (Mn)	0,02	0,05	0,1	0,01
Медь (Cu)	0,1		1,0	0,005
Цинк (Zn)		0,1	1,0	0,08
Свинец			0,03	0,01
pH	6,8–8,5		7,6	7,0
Хром			0,1	0,1
Кадмий			0,001	0,001

При сильной загрязненности питьевой воды нитратами самым простым выходом было бы разбавление ее до допустимых концентраций более чистой водой, т.е. с малым содержанием нитратов, но это одновременно ухудшило бы качество более чистой воды. Нитраты можно извлекать, используя ионный обмен на синтетических смолах. На заключительной стадии воду для очистки пропускают обычно через песчаные фильтры.

Одна из полностью решенных проблем при заготовке питьевой воды состоит в гигиенизации, т.е. в устранении любых патогенных для человека микроорганизмов. С этой целью питьевую воду подвергают хлорированию или озонированию, а в некоторых случаях – фторированию.

При **хлорировании** очищаемую питьевую воду насыщают газообразным хлором или обрабатывают веществами, выделяющими свободный хлор, как, например, гипохлорит, хлорная известь или диоксид хлора. Перед хлорированием органические вещества, как уже упоминалось, следует по возможности удалить, а хлорирование проводить непосредственно перед поступлением воды в водопроводную сеть (даже если ранее хлор уже добавляли) для ее очистки. Самое надежное дезинфицирующее действие достигается в том случае, если вода сначала подвергается действию больших количеств хлора, а затем это количество понижается, так как слишком большие количества хлора в питьевой воде могут представлять известную опасность для человека. С другой стороны, некоторое количество хлора должно оставаться в воде, чтобы воспрепятствовать появлению микроорганизмов в трубах водопровода.

**Озонирование воды** проводится с той же целью, что и хлорирование, – для обеззараживания от болезнетворных микроорганизмов, но оно имеет некоторое преимущество: при озонировании гибнут вирусы. Кроме того, озон не придает неприятного вкуса воде. Под влиянием сильного окислительного воздействия в воде разрушаются многие органические соединения, и, таким образом, озонирование включается в общий процесс очистки воды. Продукты разрушения органических веществ озонированием могут быть удалены фильтрацией перед поступлением воды в городскую водопроводную систему. Для полного обеззараживания воды приходится использовать столь большие количества озона, что его избыток под конец приходится удалять активированным углем. Нежелательные побочные эффекты озонирования воды заключаются, в частности, в том, что азотсодержащие органические соединения при озонировании высвобождают нитраты, и в том, что могут образовываться токсичные продукты окисления.

В тех случаях, когда гигиенические качества сырой воды позволяют использовать ее как питьевую, возможно отказаться как от хлорирования, так и от озонирования. К сожалению, такие возможности стали крайне редки. Применение хлорирования или озонирования к небезупречной в гигиеническом отношении воде представляется меньшим злом, чем использование этой воды в качестве питьевой, так как последняя может стать источником массовых заболеваний.

**Фторирование воды** – искусственное добавление фторсодержащих соединений в водопроводную воду для повышения содержания фтора до гигиенических норм. Проводится при низком содержании фтора в питьевой воде. Недостаточное поступление фтора с питьевой водой в организм человека приводит к повышенной заболеваемости населения кариесом зубов и некоторым другим нарушениям. Фторирование воды позволяет снизить заболеваемость населения кариесом зубов на 20 – 40 %. Однако значительное повышение содержания фтора в

питьевой воде может привести к ряду болезненных нарушений у человека, в т. ч. к *флюорозу* (хроническое заболевания костной ткани). В связи с этим фторирование воды проводится по определенным показаниям и под строгим санитарным контролем. Содержание фтора при фторировании воды доводят в питьевой воде обычно до 1 мг/л, а в жаркие дни в связи с увеличением потребления воды – до 0,6 мг/л. В качестве фторсодержащих реагентов чаще всего применяются фтористый и кремнефтористый натрий в сухом виде и в виде раствора (точность дозировки в пределах  $\pm 0,5 \%$ ). Санитарно-гигиенический контроль за фторированием воды должен проводиться систематически путем лабораторных исследований проб воды (определение концентрации фтора во фторированной воде) и путем ежедневного сопоставления расхода фторсодержащего реагента с количеством фторированной воды на водопроводных сооружениях.

#### 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Интенсификация использования водных ресурсов, рост объема сточных вод ведут к ухудшению качества воды. Более половины сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водоемы, не проходят даже предварительной очистки, нанося значительный ущерб экологическим системам.

В этом случае применяют «правило» многократного разбавления токсичных веществ, содержащихся в сливных водах, до ПДК, установленных санитарными нормами.

Для определения степени разбавления  $n$  сточных вод, сбрасываемых в непроточные водоемы, согласно [8], используется уравнение

$$n = (C_0 - C_B) / (C - C_B), \quad (1)$$

где  $C_0$  – концентрация загрязняющего вещества в выпускаемых сточных водах;

$C_B$  и  $(C = \text{ПДК})$  – концентрация загрязняющих веществ в водоеме до и после выпуска соответственно.

Качество воды в водоемах определяется предельно допустимыми концентрациями загрязняющих веществ (табл. 2), устанавливаемыми для двух видов водопользования – рыбохозяйственного (р/х) и хозяйственно-бытового (х/б) (в том числе питьевого назначения). Следует отметить при этом, что нормативы качества воды водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях, более «строгие», чем для водоемов санитарно-бытового и даже хозяйственно-питьевого водопользования. Особое внимание следует уделять температурному режиму водоемов р/х назначения, так как с повышением температуры восприимчивость организмов к токсичным веществам увеличивается, что приводит нередко к гибели рыбы. Для этой категории водоемов температура воды при спуске сточных вод не должна повышаться в летний период более чем на  $3^{\circ} \text{C}$ , а в зимний период – более чем

на  $5^{\circ}\text{C}$ . Для водоемов х/б назначения этот показатель не должен повышаться летом более чем на  $3^{\circ}\text{C}$  по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.

#### 4.1. Методика расчета нормативов предельно допустимых сбросов (ПДС) и предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в водотоки

Исходя из нормативов допустимых концентраций, нормы предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ определяются по формуле [9]

$$\text{ПДС} = q \cdot \text{ДК} , \quad \text{г/ч, т/год} , \quad (2)$$

где  $q$  – расход сбрасываемых сточных вод,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\text{ДК}$  – расчетная допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах,  $\text{мг} / \text{дм}^3$  или  $\text{мг} / \text{л}$ , рассчитывается по формуле

$$\text{ДК} = a \frac{Q}{q} (\text{ПДК} - C_{\text{ф}}) - \text{ПДК} , \quad (3)$$

где  $\text{ПДК}$  – предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воде водотока,  $\text{мг} / \text{дм}^3$ ;

$C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация того же загрязняющего вещества в воде водотока выше створа выпуска сточных вод,  $\text{мг} / \text{дм}^3$ ;

$Q$  и  $q$  – расходы воды в водотоке и сбрасываемых сточных водах соответственно,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;

$a$  – коэффициент смешения сточных вод с водой водотока. Коэффициент  $a$  рассчитывается по формуле [9]

$$a = \frac{1 - 2,72^{-7,94 \cdot \alpha}}{1 + (Q/q) \cdot 2,72^{-7,94 \cdot \alpha}} , \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий гидравлические факторы смешения сточных вод с водой водотока, который определяется по формуле [10]

$$a = j \cdot x \sqrt[3]{\frac{E}{q}} , \quad (5)$$

где  $\varphi$  – коэффициент извилистости водотока, равный отношению расстояний между выпуском и контрольным створом по фарватеру и по прямой;

$\xi$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от типа выпуска ( $\xi = 1$  при береговом и  $\xi = 1,5$  при русловом выпуске);

$E$  – коэффициент турбулентной диффузии, который определяется по формуле Потапова [10]:

$$E = V_{CP} \cdot H_{CP} / 200 , \quad (6)$$

где  $V_{CP}$  и  $H_{CP}$  – соответственно средняя скорость течения воды и средняя глубина водотока на участке между выпуском сточных вод и контрольным створом, м / с, м.

Расчетная допустимая концентрация загрязняющих веществ, для которых установлена величина приращения к фоновому состоянию, определяется по формуле

$$DK \leq C_{\phi} + C_{дон} \cdot \left( 1 + a \frac{Q}{q} \right) , \quad (7)$$

где  $C_{дон}$  – допустимое увеличение содержания загрязняющих веществ в воде водотока после сброса сточных вод, мг / дм<sup>3</sup> ;

$C_{\phi}$  – фоновая концентрация вещества в воде водотока, мг / дм<sup>3</sup>.

Величины допустимого значения БПК<sub>5</sub> в сточных водах на выпуске в водоток определяют по формуле [9]

$$DK = \left\{ a \cdot Q \left( ПДК - БПК_{\phi} \cdot 10^{-k_{\phi} t} \right) / \left( q \cdot 10^{-k_c t} \right) \right\} + ПДК / 10^{-k_c t} , \quad (8)$$

где ПДК – предельно допустимые концентрации по БПК<sub>5</sub> для водных объектов, используемых для рыбохозяйственных, питьевых и хозяйственно-бытовых целей, мг / дм<sup>3</sup>;

БПК<sub>φ</sub> – биохимическое фоновое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>) в проточном водоеме;

$k_{\phi}$  и  $k_c$  – константы скорости потребления кислорода органическими веществами воды водотока и сточной воды соответственно. Принято считать, что  $k_{\phi} = k_c$ .

Константы скорости  $k$  потребления кислорода (для смеси бытовых и природных вод) зависят от температуры, и их значения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Температура воды, °С	0	5	10	15	20	25	30
$k_c, \text{сут}^{-1}$	0,04	0,05	0,063	0,08	0,10	0,126	0,158

$t$  – время достижения сточных вод от места выпуска до контрольного створа, сутки, равно

$$t = \frac{L}{V_{\text{cp}}}, \quad (9)$$

где  $L$  – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до контрольного створа, 500 м;

$V_{\text{cp}}$  – средняя скорость течения воды водотока, м / с.

Расчетная концентрация по БПК<sub>5</sub> в очищенных сточных водах при условии сохранения допустимого содержания растворенного кислорода в контрольном створе рассчитывается по формуле

$$L_c = \frac{a}{0,4} \cdot \frac{Q}{q} \cdot (O_{\text{ф}} - 0,4 \cdot \text{БПК}_{\text{ф}} - O_{\text{доп}}) - O_{\text{доп}} / 0,4, \quad (10)$$

где  $O_{\text{ф}}$  – фоновое содержание растворенного кислорода в воде створа водотока, мг / дм<sup>3</sup>;

$O_{\text{доп}}$  – предельно допустимая концентрация растворенного кислорода в контрольном створе после сброса сточных вод, мг / дм<sup>3</sup> (для водотоков, используемых для питьевых и хозяйственно-бытовых целей – не менее 4 мг / дм<sup>3</sup>; для водотоков, используемых для рыбохозяйственных целей, – не менее 6 мг / дм<sup>3</sup>);

0,4 – коэффициент для пересчета полного потребления кислорода в двухсуточное;

$\text{БПК}_{\text{ф}}$  – значение БПК<sub>5</sub> воды в фоновом створе водотока, мг / дм<sup>3</sup>.

Температура сбрасываемых в водный объект сточных вод должна удовлетворять условию

$$T \leq \left( a \cdot \frac{Q}{q} + 1 \right) \cdot T_{\text{доп}} + T_{\text{в}}, \quad (11)$$

где  $T$  – температура сбрасываемых сточных вод;

$T_{\text{доп}}$  – допустимое повышение температуры воды водного объекта, °С;

$T_{\text{в}}$  – температура воды водного объекта в фоновом створе, °С.

## 4.2. Контрольные задания

**Задание 1.** Рассчитать степень разбавления сточных вод, сбрасываемых в непроточные водоемы, для достижения ПДК для рыбохозяйственного (р/х) пользования (вариант 1) и хозяйственно-бытового (х/б) пользования (вариант 2), используя данные табл. 2. Концентрации (содержание) солей или загрязняющих веществ в выпускаемых сточных водах, а также фоновое содержание в водоеме до выпуска задаются преподавателем.

**Задание 2.** Рассчитать нормативы предельно допустимых сбросов (ПДС) и предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в сточных

водах, сбрасываемых в водотоки рыбохозяйственного использования. Выпуск сточных вод береговой. Исходные данные приведены в табл. 4, 5. Фоновые концентрации принимаются в размере 70 % от ПДК.

**Задание 3.** Рассчитать допустимые температуры сточных вод при спуске их в водоем р/х пользования в летний и зимний периоды, а также в водоем х/б назначения. Температурные режимы для водоемов задаются преподавателем.

Таблица 4

Исходные данные (сточные воды)

Наименование показателей, мг / дм <sup>3</sup>	Варианты							
	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> / с (q)							
	0,005	0,006	0,006	0,007	0,008	0,007	0,002	0,004
	Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, мг / дм <sup>3</sup>							
Взвешенные вещества	7,1	7,0	8,0	8,3	8,1	7,9	7,8	6,9
Сухой остаток	330	-	311	-	430	-	390	-
БПК <sub>5</sub>	4,7	4,3	4,9	4,35	4,63	4,1	3,9	4,0
ХПК	-	-	-	12,0	-	11,5	-	11,1
Азот аммонийный	0,26	-	0,31	-	0,32	-	0,29	-
Азот нитритный	0,06	-	-	0,07	-	-	-	-
Азот нитратный	-	7,8	-	-	-	8,1	-	8,0
Фосфаты	-	-	-	0,85	-	-	-	-
Фосфор общий	-	-	0,2	-	-	-	0,17	-
Хлориды	145	-	-	-	250	-	-	-
Сульфаты	-	91,0	-	-	-	87,0	-	65
Нефтепродукты	-	-	-	0,05	-	-	-	-
СПАВ	-	-	-	-	0,35	-	-	-
Железо	0,35	-	1	-	-	0,15	-	-
Медь	-	0,01	-	-	-	-	0,012	-
Цинк	-	-	-	-	0,012	-	-	0,011
Свинец	-	-	0,06	-	-	-	-	-
Хром	-	-	-	-	-	0,11	-	-

Таблица 5

Исходные гидрологические данные

№ варианта	Расход воды в русле реки, м <sup>3</sup> /с (Q)	Средняя глубина Н, м	V <sub>ср</sub> , м/с	Коэффициент извилистости (φ)
1	1,05	0,85	0,45	1,06
2	1,10	1,15	0,42	1,07
3	1,12	0,96	0,30	1,10
4	1,3	1,20	0,41	1,12
5	1,45	1,10	0,52	1,05
6	1,35	1,25	0,37	1,08
7	0,95	0,97	0,41	1,07

### 4.3. Контрольные вопросы

1. Основные загрязнители водных ресурсов.
2. Классификация вод по степени загрязнения.
3. Основные показатели и нормативы, контролируемые при сбросе сточных вод в водоемы.
4. Биоиндикаторы загрязняющих веществ.
5. Кислотные дожди как причина гибели рыб и живых организмов в водоемах.
6. Биологические методы очистки воды.
7. Специальные методы очистки сточных вод.
8. Очистка питьевой воды.
9. Утилизация компонентов, входящих в сточные воды.
10. Вещества, разрушаемые микроорганизмами, и изменение состояния воды.

### Литература

1. Фелленберг, Г. Загрязнение природной среды / Г. Фелленберг. – М. : Мир, 1997.
2. Поворова, О. В. Практикум по экологии / О. В. Поворова, Г. Н. Тихончук. – Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2007.
3. Кумачев, А. И. Глобальная экология и химия / А. И. Кумачев, Н. М. Кузьменок. – Минск : Университетское, 1991.
4. Безопасность жизнедеятельности / под ред. Л. А. Михайлова. – 2-е изд. – М. – СПб. : Питер, 2008.
5. Калыгин, В. Г. Промышленная экология / В. Г. Калыгин. – М. : АCADEMIA, 2004.
6. Передельский, Л. В. Экология / Л. В. Передельский, В. И. Коробкин, О. Е. Приходченко. – М. : Проспект, 2008.
7. Водное хозяйство : справочник / под ред. И. И. Бородавченко. – М. : ВО Агропромиздат, 1988.
8. Очистка производственных сточных вод / С. В. Яковлев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1979.
9. Инструкция по нормированию сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты. Постановление Минприроды Республики Беларусь №2. – Минск, 2006.
10. Асаенок, И. С. Основы экологии и экономика природопользования : учеб. пособие к практич. занятиям для студ. экон. спец. БГУИР всех форм обуч. / И. С. Асаенок, Т. Ф. Михнюк. – Минск : БГУИР, 2005.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Оценка загрязненности вод.....	3
2. Органические остатки .....	5
2.1. Вещества, разрушаемые микроорганизмами, и изменение состояния воды .....	5
2.2. Неорганические остатки.....	7
2.3. Тяжелые металлы .....	8
2.4. Кислотные дожди и гибель рыб.....	10
3. Методы очистки.....	11
3.1. Биологические методы очистки вод.....	11
3.2. Специальные методы очистки сточных вод.....	13
3.3. Очистка питьевой воды.....	14
4. Практическая часть .....	17
4.1. Методика расчета нормативов предельно допустимых сбросов (ПДС) и предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в водотоки.....	18
4.2. Контрольные задания.....	20
4.3. Контрольные вопросы .....	22
Литература.....	22

Учебное издание

**Бражников** Михаил Михайлович  
**Кирвель** Иван Иосифович  
**Калинович** Анатолий Станиславович

## **ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Методическое пособие  
для практических занятий по дисциплине  
«Основы экологии и энергосбережения»

Редактор Т. П. Андрейченко  
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л.1,3.

Формат 60×84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 250 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л.  
Заказ 89.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6