

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет

Т.А. ТРИФОНОВА Н.В. СЕЛИВАНОВА

# ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Учебное пособие

Владимир 2010

УДК 628.33  
ББК 38.761  
Т69

Рецензенты:

Кандидат биологических наук, профессор  
Владимирского государственного гуманитарного университета  
*В.М. Усоев*

Кандидат химических наук, доцент  
Владимирского государственного университета  
*Е.П. Гришина*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Трифорова, Т.А.**

Охрана и рациональное использование водных ресурсов:  
Т69 учеб. пособие / Т.А. Трифорова, Н.В. Селиванова ; Владим. гос.  
ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 108 с. –  
ISBN 978-5-9984-0050-6.

Представлены материалы по дисциплине «Основы рационального водопользования», где рассмотрены вопросы загрязнения гидросферы и ее защиты прежде всего от техногенных загрязнений. Приведены практические примеры комплексной оценки качества поверхностных и морских вод, расчета предельно-допустимого сброса загрязняющих веществ в водотоки, а также примеры научно-учебных исследований по изучению экосистем малых рек методами экологического мониторинга.

Составлено в соответствии с программой учебной дисциплины и предназначено для студентов всех форм обучения, обучающихся по специальностям экология (020801), охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов (280201) и др.

Табл. 16. Ил. 19. Библиогр.: 36 назв.

УДК 628.33  
ББК 38.761

ISBN 978-5-9984-0050-6

© Владимирский государственный  
университет, 2010

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вода занимает особое место среди природных богатств Земли. Она незаменима. Благодаря широкому распространению и исключительной роли в природе вода всегда была, есть и будет первоисточником жизни.

Вода – это здоровье. Она помогает людям восстанавливать силы, познавать самого себя и окружающую среду. Вода жизненно необходима и нужна везде: в быту, сельском хозяйстве и промышленности. Вода необходима организму в большей степени, чем все остальное, за исключением кислорода. Сущность водной проблемы в России заключается не в нехватке водных ресурсов в целом, а в их неравномерном распределении по территории.

По степени естественного обеспечения речным стоком территорию страны делят на три зоны:

1. Зона высокой водообеспеченности (северные, северо-восточные и восточные равнинные районы около 48 % всей территории РФ, 80 % всех поверхностных водных ресурсов страны).

2. Зона средней водообеспеченности (Центральный район, промышленный Урал и др. – около 25 % территории, 18 % поверхностных водных ресурсов).

3. Зона низкой водообеспеченности (часть Зауралья, юг Западной Сибири, Южное Поволжье, Заволжье и др. – 27 % территории, 2 % водных ресурсов).

Удельная водная обеспеченность на одного жителя также неравномерна:

- в среднем по РФ – 29,9 тыс. м<sup>3</sup>/год.чел.;
- Московская обл. – 1,6 тыс. м<sup>3</sup>/год.чел.;
- Якутия – более 5 млн м<sup>3</sup>/год.чел.

Неравномерность речного стока неблагоприятно отражается и на перспективах развития хозяйства страны, так как более 80 % объема общего стока приходится на малоосвоенные и малозаселенные районы.

Острота водной проблемы заключается не только в недостатке и качественном истощении водных ресурсов в развитых районах, но и принадлежности части рек к бассейнам внутренних водоемов – Каспийскому и Азовскому морям.

Продолжают иметь место существенные недостатки в использовании воды:

- сохраняется дефицит водных ресурсов (в основном из-за высокого уровня их потерь и нерационального водопотребления);
- необустроенность и плохое техническое состояние водохозяйственных систем;
- несоблюдение норм водопотребления;
- отставание строительства новых и реконструкции действующих водоохраных сооружений и др.

Поэтому все более важную роль играет рациональное использование водных ресурсов, необходимость их охраны.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

*Рациональное использование* – это всесторонне научно-обоснованное использование вод, обеспечивающее оптимально полезный эффект для общества в текущий период и в течение принятого периода расчетной перспективы при обязательном соблюдении всех требований водного законодательства. Рациональное использование воды – это цель правового регулирования водных отношений. Вопросы рационального использования воды рассматриваются при размещении, проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений. Рациональное использование воды – обязанность всех водопользователей. Требования рационального использования воды установлены применительно к видам водопользования.

*Водопользование* – порядок, условия и форма использования водных ресурсов. Возможно использование воды без изменения ее качества и с изменением как качества воды, так и видового состава растительного и животного мира водных объектов.

Согласно ГОСТ 17.1.1.03-86 водопользование классифицируется по следующим признакам:

- *по целям водопользования*: хозяйственно-питьевое, промышленное, сельскохозяйственное, для нужд энергетики, рыбного хозяйства, водного транспорта и лесосплава, лечебное и др.;
- *по объектам водопользования*: поверхностные воды, подземные воды, внутренние моря, территориальные морские воды;
- *по способу использования воды*: с изъятием воды и ее возвратом, с изъятием воды без возврата, без изъятия воды;
- *по техническим условиям водопользования*: с применением технических сооружений, без применения технических сооружений.

Различают:

- *общее водопользование* (осуществляется без применения сооружений или технических устройств, влияющих на состав вод);
- *специальное водопользование* (осуществляется с применением таких сооружений; можно также отнести пользование водными объектами без применения устройств, но оказывающее влияние на состав вод);
- *обособленное водопользование* (водные объекты или их часть предоставляются в пользование отдельных предприятий, учреждений, организаций);

- *совместное водопользование* (водные объекты не предоставляются в обособленное использование);

- *первичное водопользование* осуществляют предприятия, обладающие правом на обособленное пользование водными объектами;

- *вторичное водопользование* осуществляется по разрешению первичных водопользователей.

В зависимости от целей водопользования все источники водоснабжения разделяются на две категории:

1-я категория – водные объекты, используемые в качестве источников хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения,

2-я категория – водные объекты для культурно-бытовых целей и находящиеся в черте населенных пунктов.

Водопотребление может быть безвозвратным, повторным и оборотным.

*Водохозяйственный комплекс (ВХК)* представляет собой совокупность различных отраслей хозяйства, совместно использующих водные ресурсы одного крупного водного бассейна. ВХК рассматривают как сложную водохозяйственную систему, которая функционирует на основе научно-обоснованных долгосрочных прогнозов в отношении требований, предъявляемых различными отраслями хозяйства к количеству и качеству вод. При этом отрицательное воздействие на природу должно быть минимальным. Водохозяйственный комплекс содержит ряд участников:

- водоснабжение;
- водоотведение;
- гидроэнергетика;
- водный транспорт;
- рыбное хозяйство;
- водные рекреации;
- здравоохранение и др.

Запросы различных участников ВХК удовлетворяются не всегда полностью, так как требования их бывают довольно противоречивы. При обосновании параметров ВХК учитывают три связанные между собой части: природную, экономическую, техническую.

*Природная часть* обуславливает возможность функционирования и развития ВХК, определяет положительные и отрицательные стороны его влияния на окружающую природную среду.

*Экономическая часть* учитывает интересы отраслей хозяйства и отдельных водопользователей. Цель ее состоит в достижении наибольшего экономического эффекта от функционирования ВХК и минимизации ущерба от недополучения воды и нанесения ущерба водным ресурсам в результате их загрязнения, засорения и истощения. Эта часть позволяет также объективно распределять суммарные капитальные вложения при строительстве и эксплуатации технических сооружений.

*Техническая часть* определяет систему взаимосвязанных технических решений по возведению и эксплуатации сооружений и оборудования, обеспечивающих эффективную работу элементов системы комплекса в конкретных местных условиях.

### **Библиография**

Яковлев, С.В. Рациональное использование водных ресурсов: учебник для вузов / С.В. Яковлев, И.В. Прозоров, К.И. Иванова. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.

## **2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГИДРОСФЕРЫ**

### **2.1. Характеристика загрязнений и их классификация**

*Загрязнение окружающей среды* – изменение качества среды, способное вызвать отрицательные последствия.

Загрязнением (в узком смысле) считается привнесение в какую-либо среду новых, нехарактерных для неё физических, химических и биологических агентов или превышение естественного среднего-летнего уровня этих агентов. Загрязнение может иметь *естественное* и *искусственное* происхождение.

Классификация загрязнений [1]:

1. *Механическое* – загрязнение среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие без физико-химических последствий (мусор).

2. *Химическое* – изменение химических свойств среды, оказывающих отрицательное воздействие на экосистемы и технологические устройства.

3. *Физическое* – изменение физических параметров среды: температурно-энергетических (тепловое), волновых (световое, шумовое, электромагнитное и т.п.). Примерами таких загрязнений могут быть:

- тепловое (термальное): повышение температуры среды, главным образом в связи с промышленными отходами газов и воды, в меньшей степени – твердыми отходами (металлургические шлаки);
- световое – нарушение естественной освещенности местности в результате действия искусственных источников света (это приводит к аномалиям в жизни растений и животных);
- шумовое – увеличение интенсивности шума сверх природного уровня;
- электромагнитное – изменение электромагнитных свойств среды (от линий электропередачи, радио и телевидения, работы некоторых промышленных установок и др.) приводит к глобальным и местным геофизическим аномалиям и изменениям в тонких биологических структурах;

4. Радиационное – превышение естественного уровня содержания в среде радиоактивных веществ.

## **2.2. Вода в биосфере. Гидрологический цикл**

Водная оболочка Земли – гидросфера включает в себя воды Мирового океана, поверхностные воды рек и озер, грунтовые воды, воду ледников и снежного покрова, атмосферную влагу.

Вода, испаряющаяся с водной поверхности, образует атмосферную влагу, конденсация которой приводит к выпадению атмосферных осадков. Этот процесс составляет *большой круговорот* воды, или *гидрологический цикл* (рис. 2.1). Выделяется малый круговорот, в котором вода из атмосферы возвращается на те районы земной поверхности, где она испарилась.

Вода является необходимой частью биосферы. Она входит в состав всех живых организмов и составляет до 90 % их массы. Уникальные физико-химические свойства воды оказывают существенное

влияние на формирование физико-химических параметров среды жизни. Так, аномальная температурная зависимость плотности воды обуславливает процессы циркуляции воды, температурную стратификацию (слоистую структуру водоемов) в летний и зимний периоды, предотвращение промерзания водоемов. Высокая теплоемкость воды обеспечивает относительно небольшую разность дневных и ночных температур, высокие теплоты плавления и испарения – сглаживание сезонных переходов. Высокое значение поверхностного натяжения обуславливает действие капиллярных сил, благодаря которым вода способна подниматься к поверхности от глубины грунтовых вод. Высокое значение диэлектрической постоянной воды делает ее универсальным полярным растворителем, в связи с чем в природе практически не существует чистой воды, и вся вода представлена их растворами.

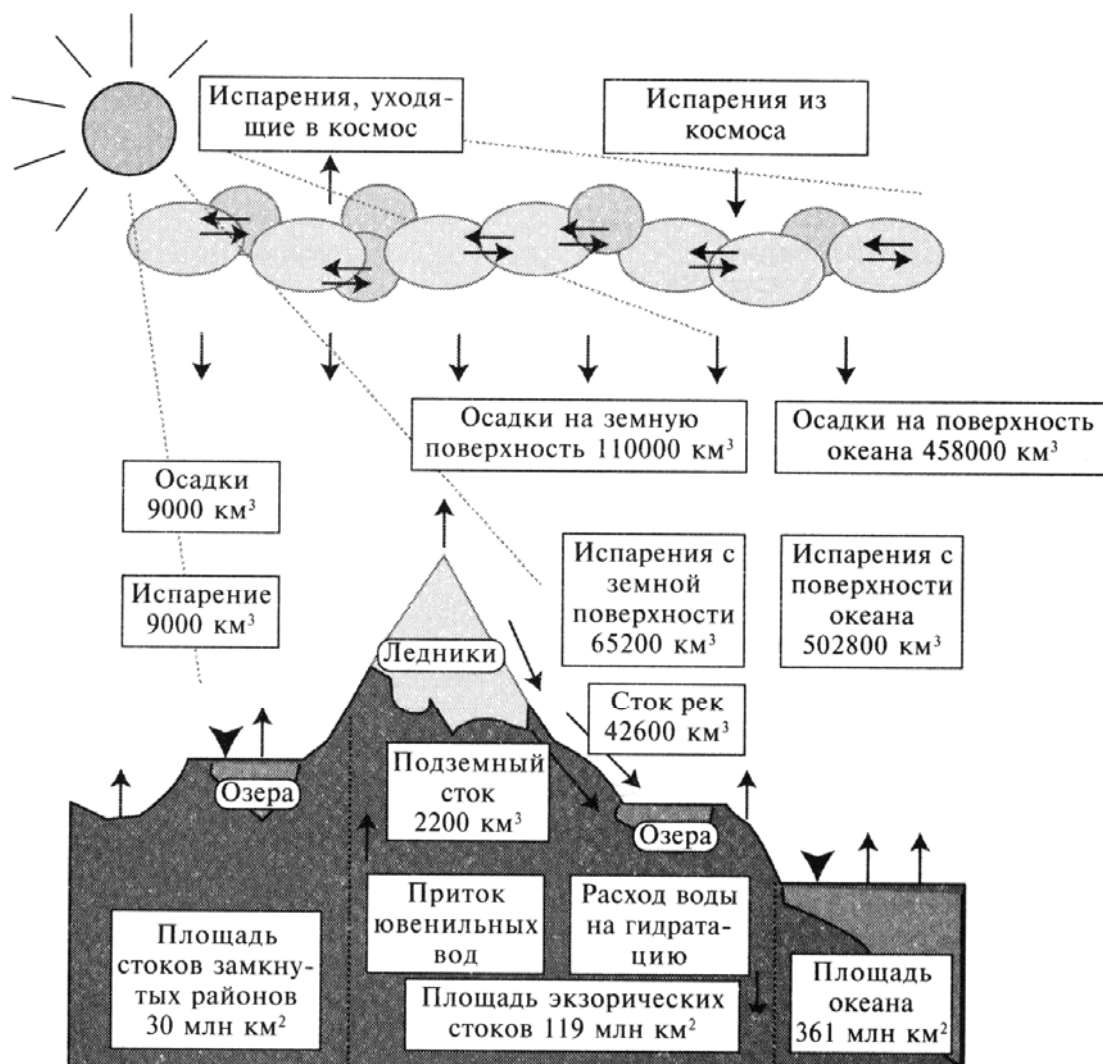


Рис 2.1. Схема глобального водного цикла [2]

Для круговорота воды в пределах биоценоза наиболее важное значение имеют процессы перехвата, транспирации, инфильтрации и стока – составляющие малого круговорота. Вода атмосферных осадков прежде чем попасть на поверхность Земли перехватывается растениями. Влага, достигшая почвы, просачивается в нее (процесс инфильтрации) или образует поверхностный сток. Вода, достигающая грунтовых вод, включается в их состав. Подземный сток связывает почвенную влагу с поверхностными водами и гидросферой в целом. Почвенная влага используется растениями, а часть ее путем испарения растениями (транспирации) вновь попадает в атмосферу. Транспирация растениями вносит существенный вклад в круговорот воды, превышая в некоторых районах испарение со свободной поверхности водных объектов. Количество воды, транспирируемой растениями, обычно велико, при этом с улучшением водоснабжения транспирация усиливается. Так, например, одна береза испаряет за день 75 л воды, липа – 200 л. В Швеции вычислено, что 1 га елового леса на сухой почве транспирирует за год  $2100 \text{ м}^3$  воды, что равно 211 мм осадков, такой же лес на влажной почве транспирирует  $400 \text{ м}^3$  (эквивалентно 378 мм осадков).

Водный баланс растений – важнейший фактор продуктивности, особенно в экосистемах с незначительным увлажнением. Значение воды заключается также в том, что она осуществляет перенос растворенных в ней веществ как тех, которые необходимы организмам, так и возможных загрязнителей.

Вода, выпадающая с осадками, очищена при испарении. Поверхностный сток может быть сильно загрязнен частицами почвы, детритом и питающимися им микроорганизмами, растворенными веществами. Однако в природных системах поверхностный сток относительно невелик. Вода, просачивающаяся в грунт, отфильтровывается от грязи, детрита и микроорганизмов, а растворенные химические вещества могут сорбироваться на частицах почвы. При прохождении воды через почву и грунт, в свою очередь, происходит вымывание из него растворимых в воде веществ (выщелачивание). В большинстве случаев минералы, вымываемые в грунтовые воды в естественных условиях, безвредны, и выходы грунтовых вод в виде родников питают и пополняют поверхностные водоемы высококачественной пресной водой.

Соли и другие растворимые вещества уносятся к местам испарения (морья, океаны, бессточные озера) и накапливаются там по мере того, как вода испаряется.

В целом, следует отметить, что отличие круговорота воды от циклов, например углерода и азота, состоит в том, что последние накапливаются и связываются, а вода проходит почти без потерь, экосистема ежегодно использует на формирование биомассы лишь около 1 % воды, выпадающей в виде осадков. Однако в отдельных циклах круговорота имеют место существенные изменения качественного состава воды, обусловленные главным образом антропогенным воздействием на биосферу.

#### *Проблемы водопользования*

Употребляемая человеком вода на время изымается из круговорота, при этом возвращается загрязненной. Возникают проблемы, связанные, во-первых, с ограниченностью запасов воды в источниках, во-вторых, с негативными последствиями для экосистем, расположенных ниже по течению рек из-за уменьшения стока, в-третьих, с загрязнением воды сточными водами. При хорошей очистке воды и рециклизации указанные проблемы снимаются: очищенная вода может использоваться неограниченное количество раз без нанесения ущерба экосистемам. Такое водопользование называется возвратным, так как вода при этом не теряется.

Использование воды для орошения, напротив, является безвозвратным водопотреблением, так как вода в этом случае возвращается в атмосферу за счет испарения и транспирации и на какое-то время теряется для экосистем.

Основные запасы пресной воды представлены на рис. 2.2, в том числе по России в табл. 2.1 и 2.2[2, 3].

Потребность в воде по мере роста населения, развития промышленности и сельского хозяйства растет, в то время как возможности использования дополнительных поверхностных источников воды становятся все более ограниченными при том, что они все более загрязняются. Чтобы одновременно увеличить водоснабжение и повысить качество пресной воды, в последние годы все более интенсивно используются грунтовые воды.

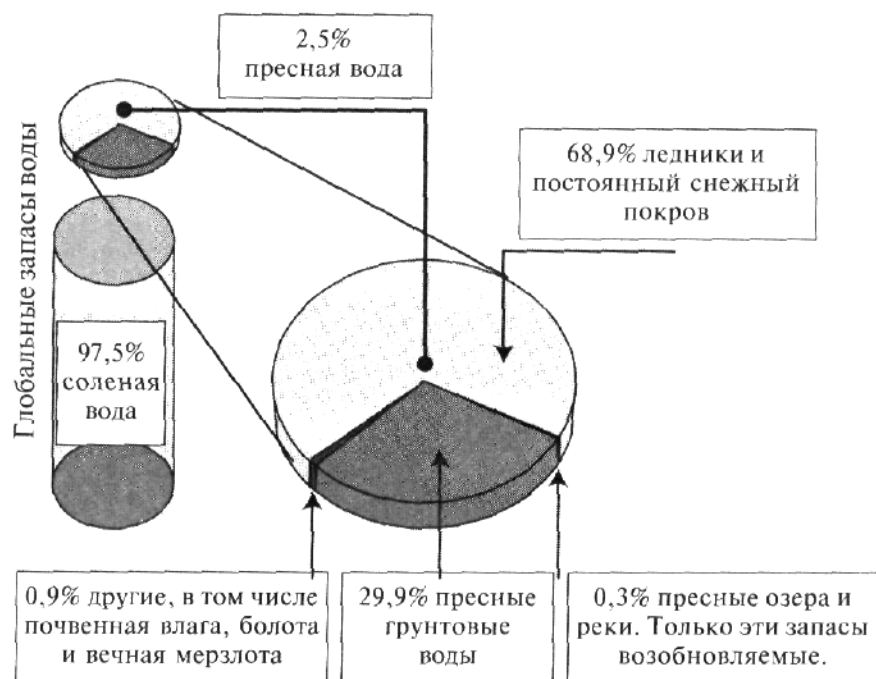


Рис. 2.2. Глобальные запасы пресной воды

Таблица 2.1

### Оценка водных ресурсов России

| Водные объекты (источник)  | Объем воды, км <sup>3</sup> | Доля, % |
|----------------------------|-----------------------------|---------|
| Среднегодовое речное стока | 4270                        | 8,42    |
| Озера                      | 26504                       | 52,37   |
| Болота                     | 2500                        | 4,94    |
| Ледники                    | 17000                       | 33,59   |
| Наледи и снежники          | 28                          | 0,05    |
| Подземные воды (прогноз)   | 317                         | 0,63    |
| Итого                      | 50613                       | 100     |

Таблица 2.2

### Среднегодовые объемы воды в крупнейших озерах Российской Федерации

| Озеро     | Объем воды, км <sup>3</sup> |
|-----------|-----------------------------|
| Байкал    | 23000,0                     |
| Ладожское | 911,0                       |
| Онежское  | 292,0                       |
| Ханка     | 18,3                        |

Во многих регионах в настоящее время вода расходуется со скоростью, превышающей пределы устойчивости водоснабжения экосистем. Перерасход водных ресурсов приводит к негативным экологическим последствиям.

Забор поверхностных вод, превышающий 30 % среднегодового стока рек, приводит к хроническому недостатку воды. При отводе воды из реки может происходить пересыхание болот в окрестностях из-за отсутствия подпитки паводком, гибель дичи, нарушение экосистем. При сокращении речного стока увеличивается соленость эстуариев (прибрежной зоны морей и океанов в месте впадения реки), что влечет за собой изменения в их экосистемах. Такие же проблемы возникают в бессточных внутренних озерах. Перерасход грунтовых вод приводит к падению их уровня и истощению их запасов, так как скорость потребления превышает скорость пополнения запасов, особенно в районах с низким количеством осадков.

Падение уровня грунтовых вод, в свою очередь, сокращает количество воды в поверхностных водоемах и может приводить также к просадкам грунта – постепенному опусканию поверхности суши со скоростью до 15-30 см/год, что способствует разрушению фундаментов, дорог, водопроводных и канализационных сетей.

#### *Проблемы загрязнения поверхностных вод*

Загрязнение поверхностных вод в значительной степени связано с деятельностью промышленных предприятий, направляющих свои сбросы в водные объекты. Не менее интенсивно загрязняет гидросферу и современное сельское хозяйство с массовым содержанием скота, интенсивным внесением удобрений в почву и использованием средств защиты растений от вредителей; определенный вклад в общее загрязнение вод вносят и бытовые сбросы (табл. 2.3)

Загрязнению поверхностных вод способствует значительное увеличение поверхностного стока и уменьшение инфильтрации, что вызвано развитием городов и сельского хозяйства, сведением лесов и опустыниванием.

Таблица 2.3

Поступление загрязняющих веществ со сточными водами  
в водоемы [4]

| Сброс в сточные воды            | 1990 г.   | 1995 г.     | 2000 г.    | 2001 г.    |
|---------------------------------|-----------|-------------|------------|------------|
| В составе сточных вод сброшено: |           |             |            |            |
| сульфатов, млн т                | 75,2      | 59,9        | 55,6       | 54,7       |
| хлоридов, млн т                 | 52,9      | 3,7         | 2,7        | 2,6        |
| аммонийного азота, тыс. т       | 55,0      | 8,6         | 7,3        | 7,7        |
| общего азота, тыс. т            | 202,5     | 215,1       | 84,5       | 81,2       |
| нитратов, тыс. т                | 151,8     | 57,6        | 41,3       | 42,7       |
| жиров и масел, тыс. т           | 77,8/48,5 | 179, 6/25,1 | 208,5/15,2 | 201,3/13,8 |
| фосфора общего, тыс. т          | 57,6      | 38,1        | 26,4       | 24,9       |
| фенола, т                       | 264,6     | 85,9        | 66,6       | 53,1       |
| свинца, т                       | 144,8     | 50,5        | 34,9       | 26,7       |
| пестицидов, т                   | 16,1      | 1,5         | 2,7        | 4,8        |
| ртути, т                        | 13,9      | 0,6         | 0,2        | 0,2        |

Загрязняющие вещества, попадающие в воду, проявляют себя по-разному в зависимости от их природы. Органические соединения природного происхождения за некоторым исключением быстро разрушаются микроорганизмами. При достаточном количестве кислорода проявляется активность аэробных микроорганизмов, питающихся органическими веществами. При этом образуются углекислый газ и вода, а также нитраты, фосфаты, сульфаты и кислородные соединения других элементов, содержавшихся в исходных веществах. Выделенные фосфаты и нитраты играют особую роль в изменении состояния воды, так как являются элементами минерального питания, лимитирующими процессы фотосинтеза. В естественных водоемах эти ионы содержатся в малых количествах и ограничивают рост растений и планктона.

Высокое содержание фосфатов и нитратов в воде способствует усиленному росту фитопланктона, размножению зоопланктона и высшей фауны, которые употребляют кислород при дыхании. С ростом числа живых организмов, особенно планктона, имеющего короткий жизненный цикл, увеличивается количество детрита (мертвого органи-

ческого вещества), для аэробного разрушения которого также необходим кислород. В таких условиях расход кислорода не восполняется его продукцией в процессе фотосинтеза. Происходит переход от аэробного состояния водоема к анаэробному. В отсутствие кислорода разложение органического вещества происходит в процессе жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов. В результате целого ряда взаимосвязанных процессов брожения образуются метан ( $\text{CH}_4$ ), углекислый газ, вода, аммиак ( $\text{NH}_3$ ) и сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ). При этом фосфор, содержащийся в детрите, вновь выделяется в воду в виде фосфатов. Дефицит кислорода, а также образование токсичных продуктов реакций анаэробного окисления приводят к гибели большинства видов водной экосистемы.

Условия в водоеме, характеризующиеся низкими концентрациями фосфатов и нитратов и высоким содержанием растворенного кислорода, называются *олиготрофными*; условия, соответствующие высоким концентрациям фосфатов и нитратов и низкому содержанию кислорода – *эвтрофными*. Переход от олиготрофных условий к эвтрофным рассматривается как процесс *эвтрофикации водоема*.

Эвтрофикация, вообще говоря, представляет собой естественный процесс старения водоема по мере поступления в него с поверхностным стоком наносов, содержащих частицы почвы и детрит. Процесс естественной эвтрофикации происходит медленно и приводит к постепенному заболачиванию водоемов, что проявляется в виде смены экосистем в ходе сукцессии. Антропогенная эвтрофикация, вызываемая увеличенным поверхностным стоком, смывом с полей высококонцентрированных минеральных удобрений, сбросом в водоемы неочищенных сточных вод, содержащих органические вещества, нитраты и фосфаты, отличается быстрыми темпами протекания и имеет характер экологического нарушения в пределе, приводящего к полной гибели водной экосистемы.

Существенные экологические проблемы возникают при попадании в водоемы трудноразрушаемых или устойчивых органических загрязняющих веществ. К ним относятся компоненты нефти и нефтепродуктов, соединения тяжелых металлов, а также многочисленные синтетические органические соединения, для разрушения которых микроорганизмам не хватает многих специфических ферментов (биологических катализаторов).

Нефть может попадать в природную среду при бурении скважин на нефтяных месторождениях, при авариях танкеров и утечках в нефтепроводах, при транспортировке, переработке сырой нефти, а также при очистке автоцистерн от нефти и нефтепродуктов. Гидрофобная нефть образует тонкую пленку на поверхности воды, на открытых водных поверхностях с течением времени образуется эмульсионный слой «нефть – вода», который препятствует газообмену между водой и воздухом. Это приводит к тому, что живые организмы, находящиеся под этой пленкой, постепенно задыхаются. У морских птиц контакт с нефтью приводит к склеиванию оперения, они утрачивают способность держаться на воде и быстро гибнут от переохлаждения. Растворимые в воде окисленные компоненты нефти могут обладать токсическим действием.

Нефть в природной среде подвергается микробиологическому распаду, в котором участвуют различные виды бактерий, но этот распад протекает очень медленно, так что нефть в течение недель и месяцев находится на поверхности воды, легколетучие компоненты нефти испаряются, загрязняя атмосферный воздух, а малолетучие медленно окисляются и образуют сгустки, опускающиеся на дно водоема.

При просачивании нефти в почву, несмотря на большую вязкость, она проникает в грунтовые воды и может распространяться на большие расстояния. Вода становится непригодной для использования при попадании 1л нефти на  $10^6$  л воды.

Основные источники антропогенного загрязнения гидросферы представлены на следующей схеме (рис. 2.3).

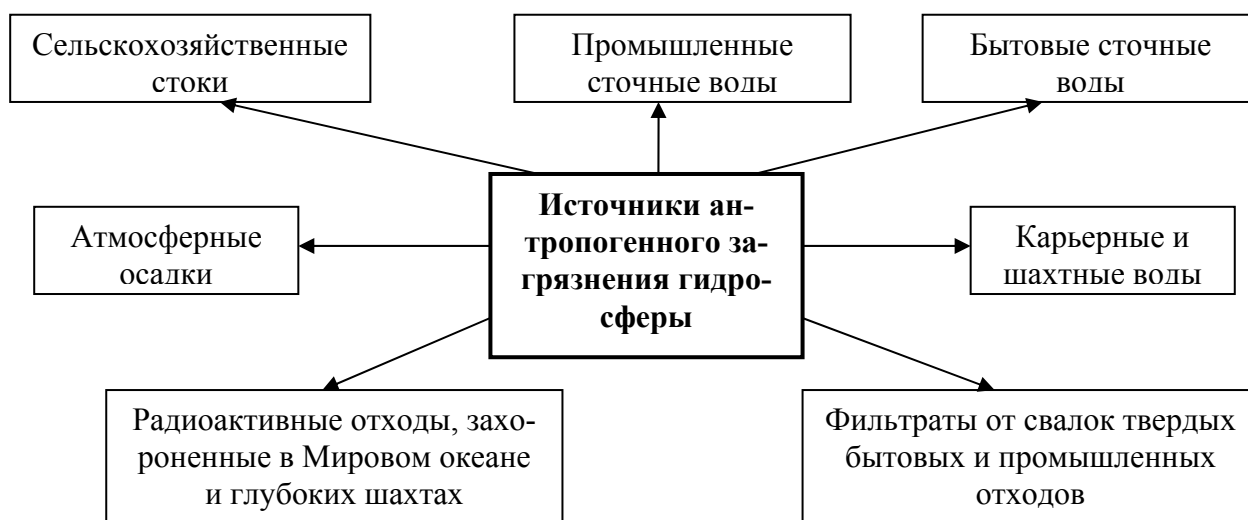


Рис. 2.3. Источники антропогенного загрязнения гидросферы [1]

### **Библиографический список**

1. *Трифорова, Т.А.* Прикладная экология: учеб. пособие для вузов / Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, Н.В. Мищенко. – М.: Академ-проект; Традиция, 2007. – 380 с. – ISBN5-8291-0502-0.
2. Химия окружающей среды / под ред. Дж. О.М. Бокриса. – М.: Химия, 1982. – 672 с.
3. Россия в окружающем мире. аналитический ежегодник / под общ. ред. Н.Н. Марфенина. – М.: МНЭПУ, 2003. – 335 с.
4. Материалы межведомственной комиссии Совета безопасности РФ по экологической безопасности. Вып. 4. – М.: 2005. – 520 с.

## **3. ВЛИЯНИЕ ОТРАСЛЕЙ ХОЗЯЙСТВА НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

### **3.1. Общая характеристика структуры промышленного техногенеза**

Антропогенное загрязнение биосферы до определенного периода сглаживалось естественными процессами, происходящими в биосфере, однако в последние десятилетия масштабы преобразовательной деятельности человека неизмеримо возросли и достигли глобального уровня. Биосфера постепенно разрушается – отравляются атмосфера и водоемы, уничтожаются фауна и флора.

Рост антропогенной нагрузки выражается в лавинном загрязнении атмосферы, морских акваторий и пресноводных водоемов, нарушении почвенного покрова и ценных ландшафтов, истощении в ряде районов водных и лесных ресурсов, уменьшении численности животных. Атмосфера во многих местах земного шара все больше загрязняется оксидами серы и азота, оксидом углерода, пылевидными частицами. В водоемы и реки непрерывно поступает нефть, нефтепродукты, отходы химической промышленности и других производств. Почвенный покров отравляется различными пестицидами, засоряется бытовыми и промышленными отходами.

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий, энергетических

систем в окружающую среду достигли таких размеров, что в ряде районов, особенно в крупных промышленных центрах, уровни загрязнений существенно превышают допустимые санитарные нормы.

Оборудование и технологии, применяемые на очистных установках, усовершенствуются крайне медленно, недостаточно улавливаются вредные вещества, причем далеко не самые опасные. По данным Росгидромета уровень улова вредных веществ на предприятиях производства стройматериалов составляет 91,6 %, химической и нефтехимической – 91,1 %, электроэнергетики – 84 %, цветной металлургии – 82,9 %, нефтедобывающей – 3,1%, газовой – 1,2 % [2].

В последние несколько лет (с 1994 г.) в России отмечается снижение уровня загрязнения промышленных центров, но это связано не столько с улучшением природоохранной деятельности, сколько в основном – со спадом промышленного производства, закрытием ряда предприятий, уменьшением числа мощностей по охране окружающей среды (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Ввод в действие мощностей по охране от загрязнения водных ресурсов и атмосферного воздуха [4]

| Мощности по охране водных ресурсов                                                                         | 1991 г. | 1992 г. | 1993 г. | 1994 г. | 1995 г. | 1996 г. | 1997 г. | 1998 г. | 1999 г. | 2000 г. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Сооружения и установки для очистки сточных вод, млн м <sup>3</sup> в сут.                                  | 1,3     | 0,7     | 1,3     | 1,4     | 1,4     | 0,8     | 1,0     | 0,6     | 0,4     | 0,2     |
| Системы оборотного водоснабжения, млн м <sup>3</sup> в сут.                                                | 3,9     | 1,4     | 5,9     | 1,8     | 2,2     | 0,9     | 1,9     | 2,7     | 0,7     | 1       |
| Установки для улавливания и обезвреживания вредных веществ из отходящих газов, млн м <sup>3</sup> газа в ч | 8,4     | 5,6     | 4,3     | 5,9     | 7,5     | 6,3     | 3,1     | 1,2     | 3,8     | 3,1     |

Общий объем сточных вод, сброшенных в 1990 – 2001 гг. в поверхностные водные объекты РФ, составил по отраслям: жилищно-

коммунальное хозяйство – 12,9 %; промышленность – 35,2 %. В промышленности максимальная доля сброса приходится на электроэнергетический комплекс. Сточные воды сбрасываются недостаточно очищенными, что приводит к загрязнению как поверхностных, так и подземных вод.

Одним из основных решений по резкому уменьшению сброса сточных вод является снижение расхода свежей воды – внедрение оборотного водоснабжения 48,8 %, сельское хозяйство – 5,5-13 % (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Объем сброса сточных вод в поверхностные водоемы  
по отраслям экономики, млрд м<sup>3</sup> [1]

| Отрасль народного хозяйства                                       | 1990 г. | 1995 г. | 2000 г. | 2001 г. |
|-------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Промышленность                                                    | 48,8    | 35,5    | 34,7    | 35,2    |
| Электроэнергетика                                                 | 33,4    | 25,0    | 26,8    | 27,6    |
| Черная металлургия                                                | 1,4     | 1,1     | 0,9     | 0,9     |
| Цветная металлургия                                               | 1,0     | 0,9     | 0,9     | 0,9     |
| Химическая и нефтехимическая промышленность                       | 2,9     | 1,8     | 1,9     | 1,8     |
| Машиностроение и металлообработка                                 | 2,4     | 1,8     | 0,8     | 0,6     |
| Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность | 3,0     | 2,1     | 1,7     | 1,7     |
| Промышленность строительных материалов                            | 0,3     | 0,2     | 0,2     | 0,2     |
| Сельское хозяйство                                                | 13,0    | 10,2    | 6,9     | 5,5     |
| Транспорт                                                         | 0,3     | 0,2     | 0,3     | 0,3     |
| Жилищно-коммунальное хозяйство                                    | 12,9    | 13,7    | 13,7    | 13,5    |
| Другие отрасли                                                    | 0,2     | 0,2     | 0,0     | 0,2     |

В промышленности максимальная доля сброса приходится на электроэнергетический комплекс. Сточные воды сбрасываются недостаточно очищенными, что приводит к загрязнению как поверхностных, так и подземных вод.

Одним из основных решений по резкому уменьшению сброса сточных вод является снижение расхода свежей воды – внедрение оборотного водоснабжения.

В ряде случаев применяется захоронение жидких отходов в глубокие водоносные горизонты платформенных артезианских бассейнов. Например, за последние 30 лет на трех предприятиях атомной промышленности РФ в глубоко залегающие пласты – коллекторы удалено около 46 млн м<sup>3</sup> жидких отходов, содержащих 80 % радионуклидов – продуктов деления урана.

Серьезную проблему представляет специфика многих отраслей промышленности, что требует индивидуальных подходов к решению природоохранных задач. Например, специфическое действие оказывают предприятия оборонного комплекса (загрязнение почв остатками компонентов ракетного топлива, накопление токсичных взрывчатых веществ и т.д.). Ниже рассмотрены экологические проблемы некоторых из отраслей промышленности.

### **3.2. Электроэнергетика**

В Российской Федерации в 1993 г. было выработано 956,6 млрд кВт·ч электроэнергии, из них тепловыми электростанциями – 662 млрд кВт·ч, гидроэлектростанциями – 175 млрд кВт·ч, атомными электростанциями – 119 млрд кВт·ч. [2]. Основная доля энергии производится за счет переработки природного органосодержащего сырья – газа, нефти, горючих сланцев, торфа, а также использования атомной энергии и энергии рек путем строительства гидроэлектростанций.

Энергетика потребляет большое количество свежей воды (~ 30 млрд м<sup>3</sup> /год) и только 65-70 % ее экономится за счет использования водооборота.

Большая часть воды используется на охлаждение различных агрегатов, а также в системах гидрозолоудаления ТЭЦ, использующих твердое топливо – угли, сланцы, торф. Ежегодно около 55 предприятий атомной энергетики сбрасывают загрязненные воды, из них в бассейн Каспийского моря – 15, Балтийского моря – 7, Черного – 2, арктических морей – 27, Тихого океана – 2. Кроме того, в водные

объекты открытой гидрографической сети предприятиями атомной энергетики сбрасываются ~30 тыс. Ки радионуклидов, из которых 99 % имеют период полураспада от нескольких часов до 1 суток. Сбрасываемые радиоактивные изотопы достаточно быстро распадаются и практически не прослеживаются в количествах, превышающих ПДК в водоемах (ПО «Маяк» стабильно превышает ПДК – до 10 ПДК !) [1].

ТЭЦ средней мощности занимает 200-300 га, а площадь шлако- и золоотвала через 10 лет эксплуатации достигает 800-1000 га. Содержание микроэлементов в золе ТЭЦ значительно превышает их среднее содержание в земной коре – например, мышьяка – в 100 раз, бериллия – в 60 раз [2].

Многочисленные золоотвалы являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод, например, сильно загрязнены подземные воды в районе г. Курска, Нижнего Новгорода и др. (источники загрязнения – ТЭЦ).

Гидроэлектростанции (ГЭС) – второй по общему объему мощности (примерно 18 %) источник электроэнергии в России. В мире на долю ГЭС приходится до 25 %, а например, в Норвегии – 99 %, в Бразилии – 87 % всей производимой электроэнергии. При эксплуатации ГЭС экономится топливо (условное), предотвращается выброс в атмосферу золы, оксидов серы и азота.

Зарегулирование стока позволило направить воду на орошение полей, на водоснабжение заводов и электростанций. Гидроузлы ликвидировали во многих районах весенние наводнения. Однако в то же время водохранилища привели к постоянному затоплению лесов и лугов, населенных пунктов, месторождений полезных ископаемых, памятников культуры и других объектов. Водоохранилища изменяют ландшафт и микроклимат обширных прибрежных территорий.

ГЭС большой мощности, построенные в Сибири (Братская, Саяно-Шушенская, Усть-Илимская и др.), используются не более чем на 50 %, но при их пуске и создании водохранилищ оказались затопленными миллионы кубических метров древесины (Богучанская ГЭС на Ангаре – 2 млн м<sup>3</sup>, Братская ГЭС – 40 млн м<sup>3</sup>, Усть-Илимская ГЭС – 20 млн м<sup>3</sup> и т.д.).

После перекрытия Оби плотиной Новосибирской ГЭС и образования Новосибирского водохранилища изменились гидрогеологические условия Оби. В зоне Бердского залива (активная зона отдыха новосибирцев) активизировалось загрязнение воды и дна, в том числе паразитарными и инфекционными микроорганизмами и вирусами, что привело к вспышке в 2004 г. ряда детских инфекционных заболеваний. При строительстве Красноярской ГЭС энергетики не предусмотрели рыбоприемники и рыбоходы в плотине – в результате прекратился нерест рыбы ценных пород в верховьях Енисея.

Несмотря на уже проявившиеся отрицательные последствия, Россия по-прежнему тяготеет к ГЭС – гигантам, идут дискуссии о строительстве Туруханской ГЭС на Нижней Тунгуске, Катунской ГЭС в горном Алтае [3]. Хотя во всем мире сейчас отказываются от строительства крупных, особенно равнинных электростанций, и переходят на мелкие бесплотинные, которые были придуманы в России более 40 лет назад. На Кольском полуострове 17 небольших электростанций, стоящих на малых реках, незначительно нарушая окружающую среду, обеспечивают электроэнергией и свой, и соседние регионы. Все больший вес приобретают альтернативные источники энергии.

В результате инвентаризации, проведенной на предприятиях атомной энергетики, на 34 предприятиях отрасли, включая 8 электростанций, имеется 257 мест хранения и поверхностного захоронения радиоактивных отходов, на которых сосредоточено более 405 млн м<sup>3</sup> жидких и ~300 млн т твердых отходов, суммарная активность которых превышает 1000 млн Ки. Кроме того, в глубоких геологических формациях сосредоточено более 1,01 млрд Ки жидких отходов [1].

### **Библиографический список**

1. Мазур, И. И. Инженерная экология: учеб. пособие для вузов. В 2 т. / И.И. Мазур, О.И. Молдованов, В.Н. Шишов. – М.: Высш. шк., 1996. Т. 1. – 637 с., Т. 2. – 655 с.
2. Химия окружающей среды / под ред. Дж. О.М. Бокриса. – М.: Химия, 1982. – 672 с.
3. Материалы межведомственной комиссии Совета безопасности РФ по экологической безопасности. В.4. – М.: 2005. – 520 с.

#### **4. ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Вода играет решающую роль во многих процессах, протекающих в природе и в обеспечении жизни человека. В промышленности воду используют как сырье и источник энергии, как хладагент, растворитель, экстрагент, для транспортирования сырья и материалов и др. Воду, используемую в промышленности, подразделяют на охлаждающую, технологическую и энергетическую: 65-80 % расхода воды в промышленности потребляется для охлаждения.

Эффективность использования водных ресурсов характеризуется следующими критериями: удельная норма потребления воды для создания единицы продукции, потребление свежей воды; количество воды, находящейся в обороте; общее количество сточных вод, сбрасываемых в водный объект; защита водных объектов от антропогенной деятельности и др.

Основой всего комплекса мероприятий по охране водоемов от загрязнения сточными водами является:

- создание и развитие замкнутых систем промышленного водоснабжения;
- применение маловодных и безводных технологических процессов и эффективных способов очистки начальных потоков сточной воды с учетом повторного их использования.

На основании требований технологического производства на каждой его стадии определяются требования к качеству воды, на основе которых принимаются решения по методам локальной и централизованной очистки сточных вод, составляются перечни загрязняющих веществ, сбрасываемых в открытые водоемы и городскую канализацию.

Водосберегающие мероприятия разрабатываются в зависимости от функционального использования воды: например, замена водяного охлаждения воздушным, применение систем и сооружений сухой очистки газов и аспирационных систем от пыли, применение пневмотранспорта и т.д. Для использования сточных вод особое значение имеет обоснование требований к составу технологической воды. В зависимости от этих требований применяются различные способы и устройства очистки сточных вод:

- механические (решетки, песколовки, вертикальные и горизонтальные отстойники (рис. 4.1), процеживающие установки, простые и скорые фильтры (рис. 4.2);
- физико-химические (флотация, адсорбция (рис. 4.3), ионный обмен и др.);
- химические (реагентные);
- электрохимические (электрофлотация, электрокоагуляция, электролиз, гальванокоагуляция);
- мембранные (ультрафильтрация, обратный осмос и др.);
- термические (выпаривание, дистилляция, сжигание сточных вод);
- биохимические;
- комбинированные.

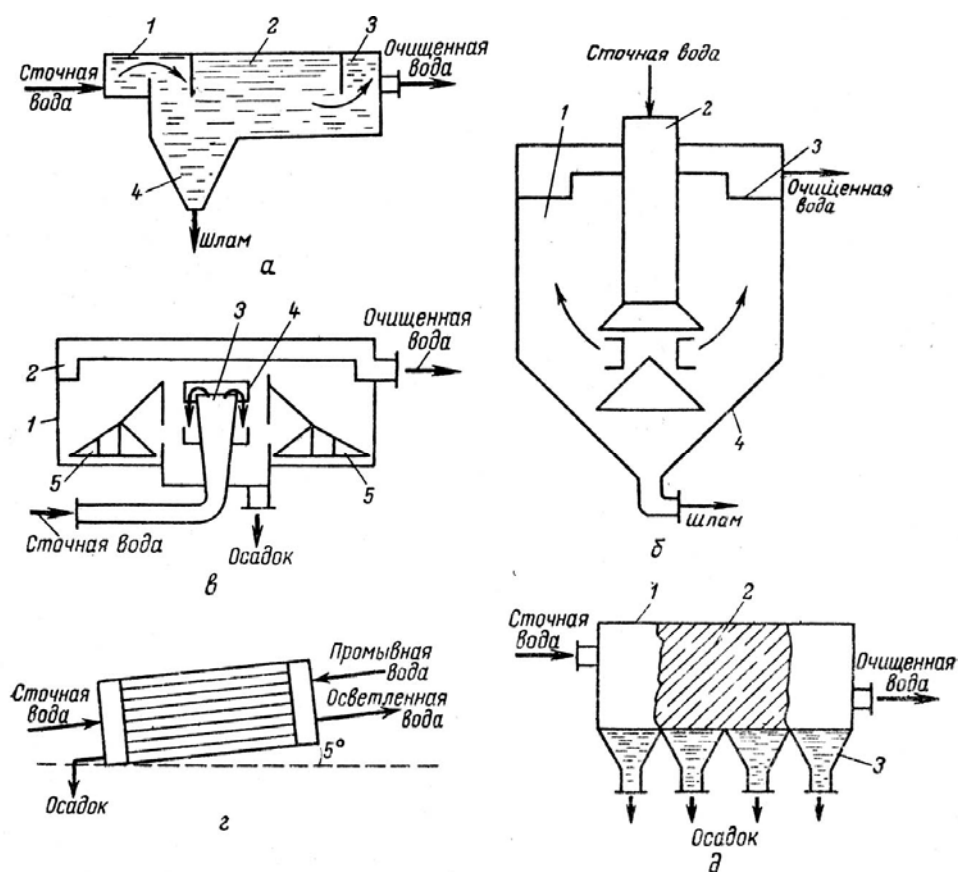


Рис. 4.1. Отстойники [2]: а – горизонтальный: 1 – входной лоток, 2 – отстойная камера, 3 – выходной лоток, 4 – приямок; б – вертикальный: 1 – цилиндрическая часть, 2 – центральная труба, 3 – желоб, 4 – коническая часть; в – радиальный: 1 – корпус, 2 – желоб, 3 – распределительное устройство, 4 – успокоительная камера, 5 – скребковый механизм; г – трубчатый; д – с наклонными пластинами: 1 – корпус, 2 – пластины, 3 – иламоприемник

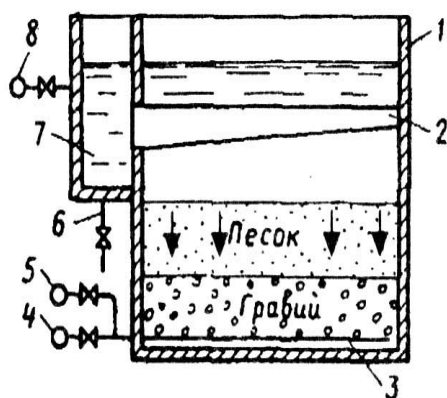


Рис. 4.2. Схема скорого фильтра [2]: 1 – корпус фильтра; 2 – желоба для распределения фильтруемой воды и для отвода промывной; 3 – дренажная система; 4 – отвод фильтрованной воды; 5 – подача промывной воды; 6 – отвод грязной промывной воды; 7 – распределительный карман; 8 – подача осветляемой воды

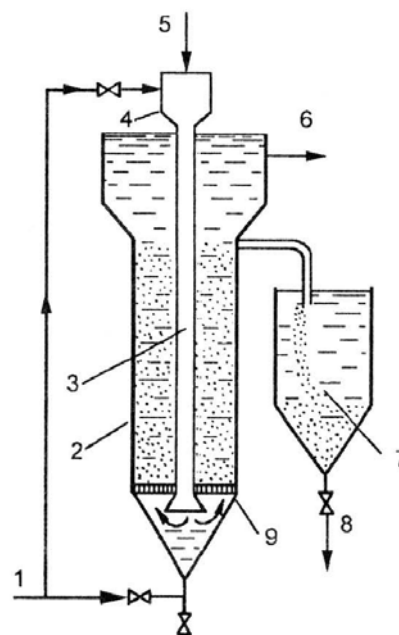


Рис.4.3. Цилиндрический одноярусный адсорбер [2]: 1,6 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – цилиндрическая колонна; 3 – центральная труба с диффузором; 4 – воронка; 5 – трубопровод для подачи сорбента; 7 – сгуститель сорбента; 8 – выпуск отработанного сорбента; 9 – распределительная решетка

Ниже приводятся примеры способов очистки и компоновки схем очистки сточных вод от наиболее распространенных загрязняющих веществ.

#### 4.1. Нейтрализация сточных вод

Нейтрализация сточных вод предназначена для выделения из них кислот, щелочей, а также солей и металлов. Нейтрализацию кислот и их солей осуществляют щелочами или солями сильных щелочей: едким натром, едким калием, известью, известняком, доломитом, мрамором, мелом, магнезитом, содой, отходами щелочей и т. п. Наиболее дешевым и доступным реагентом для нейтрализации кислых сточных вод считается гидроксид кальция (или гашеная из-

весть). Для нейтрализации сточных вод с содержанием щелочей и их солей (сточные воды целлюлозно-бумажных и текстильных заводов) можно использовать серную, соляную, азотную, фосфорную и другие кислоты.

Расход щелочей (кислот) для нейтрализации определяют по формуле:

$$G=K_3 \cdot Q \cdot a \cdot C/B,$$

где  $G$  – расход реагента для нейтрализации, кг/ч;

$K_3$  – коэффициент запаса (1,1);

$Q$  – объем сточной воды, м<sup>3</sup>/ч;

$a$  – удельный расход реагентов, кг/кг (табл. 4.1);

$C$  – концентрация кислоты или щелочи, кг/м<sup>3</sup>;

$B$  – активность реагента, в долях.

Количество реагентов для нейтрализации кислых сточных вод, содержащих соли тяжелых металлов, рассчитывают по формуле:

$$G=(a \cdot C+b_1 \cdot C_1+b_2 \cdot C_2+\dots+b_n \cdot C_n)K_3 \cdot Q \cdot 100/B,$$

где  $b_1 \dots b_n$  – удельный расход реагента, кг/кг Ме (табл. 4.2);

$C_1 \dots C_n$  – концентрация Ме, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 4.1

Теоретический расход реагентов для нейтрализации кислот [2]

| Реагент                         | Удельный расход щелочи для нейтрализации<br>кислоты, кг/кг |      |                  |                                |                      |      |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|------|------------------|--------------------------------|----------------------|------|
|                                 | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                             | HCL  | HNO <sub>3</sub> | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | CH <sub>3</sub> COOH | HF   |
| CaO (оксид Ca)                  | 0,57                                                       | 0,77 | 0,44             | 0,86                           | 0,47                 | 1,7  |
| Гидроксиды:                     |                                                            |      |                  |                                |                      |      |
| Ca(OH) <sub>2</sub>             | 0,75                                                       | 1,01 | 0,59             | 1,13                           | 0,62                 | 1,85 |
| NaOH                            | 0,82                                                       | 1,09 | 0,63             | 1,22                           | 0,67                 | 2    |
| KOH                             | 1,14                                                       | 1,53 | 0,89             | 1,71                           | 0,94                 | 2,8  |
| Карбонаты:                      |                                                            |      |                  |                                |                      |      |
| CaCO <sub>3</sub>               | 1,02                                                       | 1,37 | 0,8              | 1,53                           | 0,83                 | 2,5  |
| MgCO <sub>3</sub>               | 0,86                                                       | 1,15 | 0,67             | 1,21                           | 0,7                  | 2,1  |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 1,09                                                       | 1,45 | 0,84             | 1,62                           | 0,89                 | 2,63 |

Таблица 4.2

Удельный расход реагента, необходимый для удаления металлов[2]

| Металл | Реагент, кг/кг |                     |                                 |      |
|--------|----------------|---------------------|---------------------------------|------|
|        | CaO            | Ca(OH) <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | NaOH |
| Zn     | 0,85           | 1,13                | 1,6                             | 1,22 |
| Ni     | 0,95           | 1,26                | 1,8                             | 1,36 |
| Cu     | 0,88           | 1,16                | 1,66                            | 1,26 |
| Fe     | 1,0            | 1,32                | 1,9                             | 1,43 |
| Pb     | 0,27           | 0,36                | 0,51                            | 0,38 |

На практике используют три способа нейтрализации сточных вод:

- фильтрационный – путем фильтрования сточной воды через насадки кусковых или зернистых материалов;

- водно-реагентный – добавлением в сточную воду реагента в виде раствора или сухого вещества (извести, соды или шлака); нейтрализующим раствором может быть и щелочная сточная вода;

- полусухой – перемешиванием высококонцентрированных сточных вод (например, отработанного гальванического раствора) с сухим реагентом (известью, шлаком) с последующим образованием нейтральной тестообразной массы.

На рис. 4.4 представлена схема нейтрализации сточных вод и образующихся при этом осадков

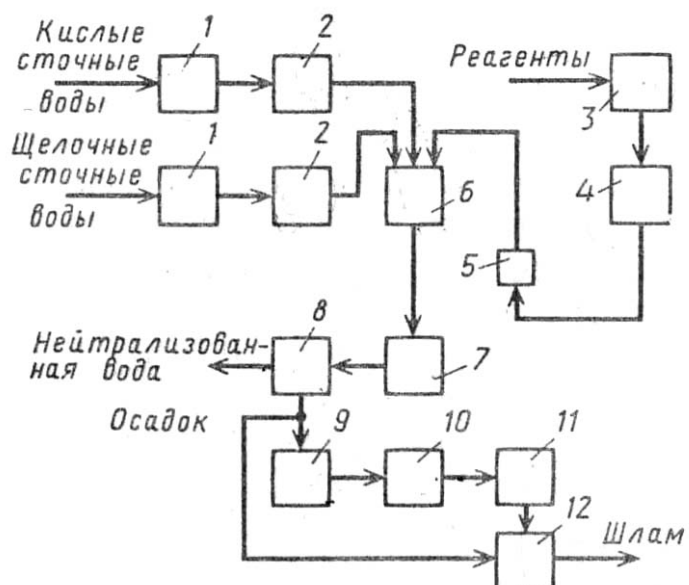


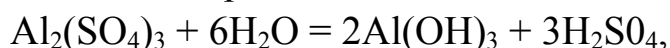
Рис. 4.4. Схема станции реагентной нейтрализации [4]: 1 – песколовка; 2 – усреднитель; 3 – склад реагентов; 4 – растворный бак; 5 – дозатор; 6 – смеситель; 7 – нейтрализатор; 8 – отстойник; 9 – осадкоуплотнитель; 10 – вакуумфильтр; 11 – накопитель обезвоженных осадков; 12 – шламовая площадка

## 4.2. Отстаивание

Отстаивание – процесс осаждения грубодисперсных примесей под действием силы тяжести. Простое механическое отстаивание производят в песколовках, отстойниках и осветлителях различных конструкций.

Эффективность отстаивания зависит от размера и формы частиц, находящихся в сточной воде, от плотности частиц и воды, времени и гидродинамических параметров отстаивания, температуры и вязкости воды, ее pH, концентрации взвешенных частиц и др. Основным параметром, который используют при расчете отстойников, можно назвать скорость осаждения частиц.

Для ускорения процессов отстаивания в сточную воду добавляют коагулянты –  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$  и флокулянты (ПАА) – тогда это будет уже физико-химический процесс [6]. Благодаря этому достигается осветление воды и снижение карбонатной жёсткости на 0,7 – 1 мг-экв/л с одновременным повышением некарбонатной жёсткости:



При излишней щёлочности переход гидроксида в водный оксид может задерживаться, а при недостатке щелочи  $\text{Al}(\text{OH})_3$  не образуется. В этом случае надо повысить щёлочность воды. Необходимую дозу щелочного агента определяют по формуле:

$$D_{\text{щ}} = K \left( \frac{1}{e} D_{\text{к}} - \text{Щ} + 1 \right) \text{ мг/л},$$

где  $D_{\text{щ}}$  – количество щелочи, добавляемое для подщелачивания воды, мг/л;

$K$  – количество щёлочи, в мг/л, необходимой для подщелачивания воды на 1 мг-экв/л: для извести – 28 мг/л,  $\text{NaOH}$  – 30–40 мг/л,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 53.

$e$  – эквивалентная масса коагулянта (безводного) в мг-экв/л, равная для  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  – 57,  $\text{FeCl}_3$  – 54,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  – 67;

$D_{\text{к}}$  – максимальная доза безводного коагулянта, мг/л;

$\text{Щ}$  – минимальная щёлочность воды, мг-экв/л (для природных вод  $\approx$  карбонатной жёсткости);

Рекомендуемые дозы коагулянта для обработки воды в зависимости от ее мутности приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Доза коагулянтов в зависимости от мутности воды

| Содержание в H <sub>2</sub> O взвешенных веществ, мг/л | Доза безводного Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> или FeCl <sub>3</sub> , мг/л |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100                                                    | 25–35                                                                                        |
| 101–200                                                | 30–45                                                                                        |
| 201–400                                                | 40–60                                                                                        |
| 401–600                                                | 45–70                                                                                        |
| 601–800                                                | 55–80                                                                                        |
| 801–1000                                               | 60–90                                                                                        |
| 1001–1400                                              | 65–105                                                                                       |
| 1401–1800                                              | 75–115                                                                                       |
| 1801–2200                                              | 80–125                                                                                       |
| 2201–2500                                              | 90–130                                                                                       |

Пример 1

Определить необходимые дозы реагента для подщелачивания воды при её мутности 700 мг/л и щёлочности Щ = 1,7 мг-экв/л. Максимальная доза Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (D<sub>к</sub>) = 75 мг/л.

Необходимые дозы реагента для подщелачивания воды составят: гашёной извести:

$$D_{\text{изв.}} = 28\left(\frac{1}{57}75 - 1,7 + 1\right) = 17,4 \text{ мг/л.}$$

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:

$$D_{\text{соды}} = 53\left(\frac{1}{57}75 - 1,7 + 1\right) = 33 \text{ мг/л.}$$

Если D<sub>изв.</sub> и D<sub>соды</sub> получатся с отрицательным результатом, подщелачивания не требуется.

Пример 2

Мутность 200 мг/л, Щ = 2 мг-экв/л, D<sub>к</sub> = 40 мг/л.

$$D_{\text{к}} = 28\left(\frac{1}{57}40 - 2 + 1\right) = -8,4 \text{ мг/л.}$$

При высокой цветности максимальная доза коагулянта (в пересчёте на безводный Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) равна

$$D_K = 4\sqrt{\Pi} \text{ мг/л.}$$

$\Pi$  – цветность  $H_2O$ , в градусах по Со-Pt- шкале.

### Пример 3

Определить дозу коагулянта при мутности 100 мг/л и цветности 90°.

По табл. 4.3

$$D_K \approx 25\text{--}30 \text{ мг/л.}$$

По цветности требуется более высокая доза

$$D_K = 4\sqrt{90} = 38 \text{ мг/л.}$$

## 4.3. Сорбция и ионный обмен

*Сорбцию* применяют для очистки сточных вод от растворимых примесей. В качестве сорбентов используют любые мелкодисперсные материалы (золу, торф, опилки, шлаки, глину); наиболее эффективный сорбент – активированный уголь. Расход сорбента

$$m = Q(c_0 - c_K)/a,$$

где  $Q$  – расход сточной воды,  $m^3/c$ ;  $c_0$  и  $c_K$  – концентрации примесей в исходной и очищенной сточной воде,  $кг/м^3$ ;  $a$  – удельная сорбция, характеризующая количество примесей, поглощаемых единицей массы

сорбента,  $кг/кг$ .

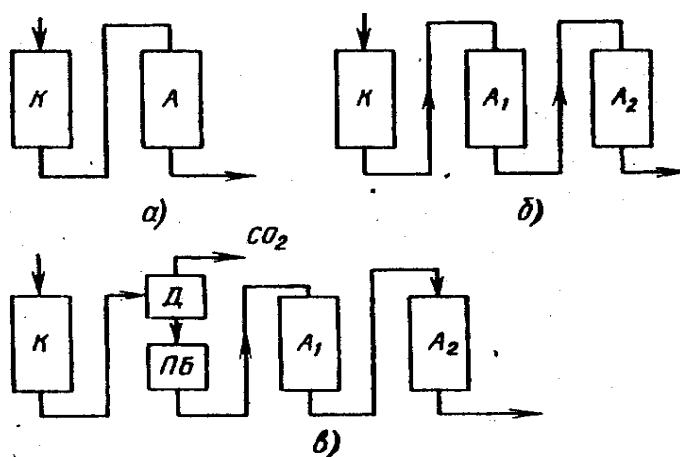


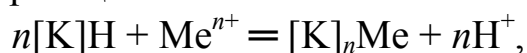
Рис. 4.5. Технологическая схема ионообменной очистки сточ. вод: а – одноступенчатая очистка; б – очистка с двухступенчатым анионированием; в – очистка с промежуточной дегазацией и двухступенчатым анионированием; К – катионитовый фильтр; А – анионитовый фильтр; Д – дескарбонизатор; ПБ – промежуточный бак

*Ионообменную очистку* применяют для обессоливания и очистки сточных вод от ионов металлов и других примесей (рис. 4.5). Очистку осуществляют ионитами – синтетическими ионообменными смолами, изготовленными в виде гранул размером 0,2...2 мм. Иониты изготовляют из нерастворимых в воде полимерных веществ, имеющих на своей поверхности подвижный ион (катион или анион),

который при определенных условиях вступает в реакцию обмена с ионами того же знака, содержащимися в сточной воде.

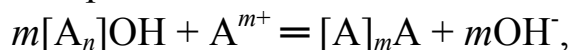
Различают сильно- и слабокислотные катиониты (в  $H^+$  или  $Na^+$  – форме) и сильно- и слабоосновные аниониты (в  $OH^-$  или солевой форме), а также иониты смешанного действия.

Ионообменную очистку реализуют последовательным фильтрованием сточной воды через катиониты и аниониты. При контакте сточной воды с катионитом в водородной форме имеет место обмен катионов растворенных в воде солей на  $H^+$ -ионы катионита в соответствии с уравнением реакции



где  $K$  – «скелет» (радикал) катионита;  $Me$  – извлекаемый из сточной воды катион металла;  $n$  – заряд катиона. При этом имеет место увеличение кислотности сточной воды.

При контакте сточной воды с анионитом в гидроксильной форме происходит обмен анионов кислот на  $OH^-$ -ионы анионита в соответствии с уравнением реакции



где  $A_n$  – «скелет» (радикал) анионита;  $A$  – извлекаемый из сточной воды анион;  $m$  – заряд аниона.

В зависимости от вида и концентрации примесей в сточной воде, требуемой эффективности очистки используют различные схемы ионообменных установок. Для очистки сточных вод от анионов сильных кислот применяют технологическую схему одноступенчатого  $H$ -катионирования и  $OH$ -анионирования с использованием сильнокислотного катионита и слабоосновного анионита (рис. 4.5, а). Для более глубокой очистки сточных вод, в том числе от солей, применяют одно- или двухступенчатое  $H$ -катионирование на сильнокислотном катионите с последующим двухступенчатым  $OH$ -анионированием на слабо-, а затем на сильноосновном анионите (рис. 4.5, б).

При содержании в сточной воде большого количества диоксида углерода и его солей происходит быстрое истощение емкости слабоосновного анионита. Для уменьшения истощения сточную воду после катионитового фильтра дегазируют в специальных дегазаторах

с насадкой из колец Рашига или в других аппаратах (рис. 4.5, в). При необходимости обеспечивать значение  $pH = 6,7$  и очистки сточной воды от анионов слабых кислот вместо анионитовых фильтров второй ступени используют фильтр смешанного действия, загружаемый смесью сильнокислотного катионита и сильноосновного анионита.

*Классификация сточных вод* в промышленном водоснабжении позволяет выбрать наиболее эффективные методы очистки. Сточные воды как ресурс промышленного водоснабжения можно подразделить на несколько групп в зависимости от их использования для водоподготовки:

1. Сточные воды с минерализацией до  $3 \text{ кг/м}^3$ , не содержащие органических соединений либо содержащие соединения, которые можно удалить сорбцией на различных сорбентах (гидроксиды  $Al$ ,  $Fe$ , активированный уголь, полимерные смолы, цеолиты и др. материалы с развитой пористостью и поверхностью). После очистки от органических веществ сточные воды можно обессоливать методами полного обмена.

2. Сточные воды с минерализацией от 3 до  $10\text{--}15 \text{ кг/м}^3$ . Для обессоливания таких сточных вод пригодны методы электродиализа и обратного осмоса (мембранная техника). Но применять эти методы можно только после очистки воды от органических веществ, катионов жёсткости ( $Ca$ ,  $Mg$ ) и  $Fe$ . Эти методы в отечественной промышленности нашли применение в установках малой и средней производительности.

3. Сточные воды с минерализацией более  $15 \text{ кг/м}^3$  (более  $15 \text{ г/л}$ ): обессоливание возможно только термическими методами, но это дорого.

#### **4.4. Очистка воды с помощью пористых мембран**

К мембранным методам разделения относятся (рис. 4.6.):

- обратный осмос;
- ультрафильтрация;
- испарение через мембрану;
- диализ;
- электродиализ;
- диффузное испарение через мембрану.



Рис. 4.6. Области применения мембранных методов разделения в зависимости от диаметра частиц

В любом из этих процессов раствор приводится в соприкосновение с полупроницаемой мембраной с одной её стороны. Вследствие особых свойств полупроницаемых мембран прошедшая через них смесь обогащается (обедняется) одним из компонентов.

Для разделения жидких систем и очистки промышленных сточных вод прежде всего могут быть использованы обратный осмос и ультрафильтрация. Основные преимущества этих методов:

- простота аппаратного оформления;
- возможность разделения растворов при нормальной температуре;
- выделение ценных компонентов;

– одновременная очистка воды от органических, неорганических и бактериальных загрязнений.

Протекание процесса без изменения фазового состояния приводит к низким энергетическим затратам, в 10-15 раз меньше, чем при дистилляции.

Установка включает два основных элемента:

- 1) устройство для создания давления жидкости (насос);
- 2) разделительная ячейка с закрепленными в ней полупроницаемыми мембранами (в промышленных установках – это многосекционный аппарат, обеспечивающий необходимую поверхность мембран).

Проведение процесса при температуре окружающей среды особенно важно для разделения нетермостойких растворов.

Недостатки:

- повышенное давление в системе;
- явление концентрационной поляризации (увеличение концентрации растворенного вещества у поверхности мембраны вследствие преимущественного переноса растворителя через мембрану).

Наиболее перспективной областью использования обратного осмоса и ультрафильтрации является обработка воды при водоподготовке, глубокой очистке сточных вод, например:

- опреснение морских и солоноватых вод с целью получения пресной питьевой воды;
- очистка сточных вод, образующихся при металлообработке, травлении, окраске, нанесении гальванических покрытий;
- получение особо чистой, деминерализованной воды для электронной промышленности, промышленности полупроводников и др.

*Характеристика обратного осмоса и ультрафильтрации, движущая сила процесса*

*Метод обратного осмоса* заключается в фильтровании растворов под давлением через полупроницаемые мембраны, пропускающие растворитель и полностью или частично задерживающие молекулы либо ионы растворенных веществ. Если раствор и растворитель разделены полупроницаемой перегородкой, то происходит самопроизвольный переход растворителя в раствор. Это явление называется *осмосом* (рис. 4.7, а). Давление, при котором наступает равновесие

(рис. 4.7, б), называется *осмотическим*. Если со стороны раствора приложить давление, превышающее осмотическое, то перенос растворителя будет осуществляться в обратном направлении (отсюда термин «обратный осмос»), а растворенное вещество задерживается либо частично, либо полностью (рис. 4.7, в).

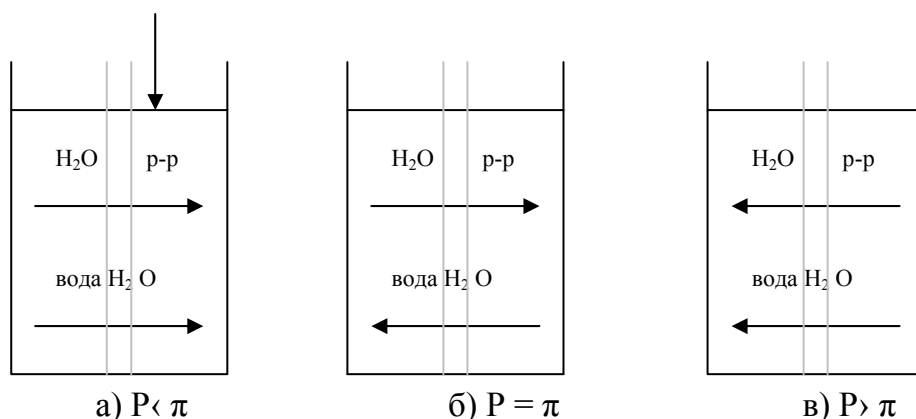


Рис.4.7. Схема возникновения обратного осмоса  
( $\pi = r q H$  – осмотическое давление)

Движущая сила обратного осмоса в случае идеальной полупроницаемой мембраны определяется

$$\Delta P = P - \pi_1,$$

где  $P$  – повышенное (рабочее) давление над раствором;

$\pi_1$  – осмотическое давление раствора.

На практике не существует идеальных полупроницаемых мембран, и какое-то количество раствора проходит через них

$$\Delta P = P - (\pi_1 - \pi_2) = P - \Delta \pi,$$

где  $\pi_2$  – осмотическое давление фильтрата, прошедшего через мембрану.

Рабочее давление в обратноосмотических установках должно быть достаточно большим, поскольку их производительность определяется движущей силой процесса – разностью между рабочим и осмотическим давлениями, оно достигает 6,85-7,85 МПа (70-80 кгс/см<sup>2</sup>).

*Ультрафильтрация* – процесс мембранного разделения, а также фракционирования и концентрирования растворов. Он протекает под действием разности давлений по обе стороны мембраны.

Ультрафильтрацию в отличие от обратного осмоса используют для разделения систем, в которых молекулярная масса растворенных компонентов намного больше молекулярной массы растворителя. Так как осмотическое давление высокомолекулярных соединений мало по сравнению с рабочим давлением жидкости, то ультрафильтрацию обычно проводят при невысоких давлениях 0,3-1 МПа (3-10 кгс/см<sup>2</sup>).

Внешне обратный осмос и ультрафильтрация аналогичны фильтрованию через мембраны. Однако при фильтрации продукт откладывается в виде осадка на фильтре, а при обратном осмосе и ультрафильтрации образуются два раствора, один из которых обогащен растворенным веществом.

Между двумя рассматриваемыми методами много общего, в частности, в области конструкции аппаратов. Но существует и целый ряд отличий (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Сравнение обратного осмоса и ультрафильтрации

| Сравниваемые характеристики                 | Обратный осмос                                           | Ультрафильтрация                                             |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Прилагаемое давление                        | 10-100 кгс/см <sup>2</sup><br>1-10 МПа                   | 0,7-7 кгс/см <sup>2</sup><br>0,07-0,7 МПа                    |
| Осмотическое давление разделяемого раствора | Имеет большое значение                                   | Не имеет значения                                            |
| Назначение                                  | Разделение растворов низкомолекулярных веществ $M < 500$ | Разделение растворов веществ с молекулярной массой $M > 500$ |
| Материал мембраны                           | Имеет значение                                           | Практически любой                                            |
| Механизм разделения                         | Ситовой + физико-химическое воздействие                  | Обычно чисто ситовой                                         |

Энергия при разделении обратным осмосом  $A_T$  (так же, как и ультрафильтрацией) расходуется в основном на создание давления исходной жидкости и на её продавливание через мембрану

$$A_T = A_c + A_{пр},$$

где  $A_T$  – теоретические затраты энергии;

$A_c$  – работа на сжатие жидкости (так как вода практически несжимаемая, то ею можно пренебречь);

$A_{пр}$  – работа на продавливание жидкости.

$$A_{\text{пр}} = \Delta P V,$$

где  $\Delta P$  – перепад давления на мембране;

$V$  – объем продавливаемой жидкости.

Работа на продавливание 1 м<sup>3</sup> Н<sub>2</sub>О, например, при давлении  $P=4,9$  МПа (50 кгс/см<sup>2</sup>) составляет всего 4,9 МДж (1,36 кВт·ч), поэтому теоретический расход энергии на обратноосмотическое разделение невелик и приближается к минимальной термодинамической работе разделения. Реальный расход энергии при обратном осмосе и ультрафильтрации составляет 2-2,5 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> очищенной воды.

*Селективность и проницаемость мембран*

*Селективность  $\phi$ , %*

$$\phi = \frac{x_1 - x_2}{x_1}; \quad 100 = \left(1 - \frac{x_2}{x_1}\right) 100,$$

где  $x_1, x_2$  – концентрация растворенного вещества в исходной смеси и фильтрате;

$\phi$  – часто называют коэффициентом солезадержания, или просто солезадержанием мембраны.

*Проницаемость (или удельная производительность)  $G$*

$$G = V/F\tau,$$

где  $V$  – объем, получаемый в единицу времени  $\tau$  с единицы рабочей поверхности мембраны  $F$ .  $G = [\text{л/м}^2 \cdot \text{ч} \text{ или } \text{л/м}^2 \cdot \text{сут.}]$ .

Основными факторами, влияющими на скорость и селективность процессов обратного осмоса и ультрафильтрации, являются рабочее давление, гидродинамические условия в аппарате, природа и концентрация разделяемого раствора, температура и тип мембраны.

В качестве критерия вязкоэластичных свойств мембраны, а следовательно, и срока её службы может служить площадь петли гистерезиса, описываемой кривой  $G=f(P)$  при последовательном увеличении  $P$  от нуля до некоторого значения, а затем снижения давления в обратной последовательности (рис. 4.8).

Чем более жесткая структура у мембраны, тем меньшую площадь будет иметь петля гистерезиса. Для такой мембраны характерна повышенная селективность и более высокая устойчивость в работе. У мембраны с большой площадью петли гистерезиса значение селективности при непрерывной работе снижается значительно быстрее.

Для мембраны с жесткостью структуры при вязком характере течения существует линейная зависимость проницаемости от движущей силы процесса, например, для стеклянных мембран.

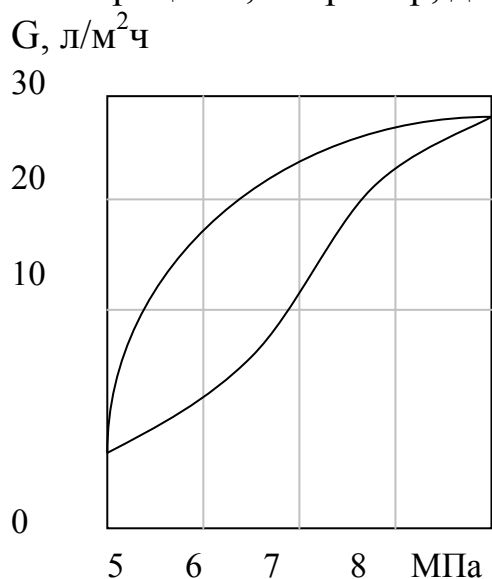


Рис. 4.8. Петля гистерезиса  $G=f(p)$  для ацетатцеллюлозной мембраны

Концентрация растворенных веществ в разделяемом растворе — один из основных факторов, определяющих не только характеристики процесса обратного осмоса и ультрафильтрации, но и саму возможность использования этих методов разделения.

Увеличение концентрации растворенных веществ приводит к повышению вязкости и осмотического давления раствора, что снижает эффективную движущую силу процесса. С увеличением концентрации уменьшается толщина слоя связанной воды на поверхности и в порах мембраны, ослабевают силы взаимодействия между ионами и молекулами воды в растворах неорганических веществ, что приводит к снижению селективности. Кроме того, часто возникают и другие осложнения процесса. Смещаются значения pH в кислую или щелочную среду, что ускоряет гидролиз полимерных мембран. Возможно обезвоживание набухающих мембран, сопровождающееся необратимыми изменениями их структуры. В концентрированных растворах органических соединений может происходить растворение мембран. На мембране могут выпадать в осадок малорастворимые соли или образовываться гелеобразный слой высокомолекулярных соединений, что нарушает нормальную работу аппаратов.

Обратный осмос может эффективно использоваться при концентрациях электролитов, не превышающих для одновалентных солей 5-10 %, для двухвалентных – 10-15 %, для многовалентных – 15-20 %.

Для растворов органических веществ этот диапазон гораздо шире и зависит от размеров молекул и степени взаимодействия вещества с мембраной. В случае использования ацетатцеллюлозных мембран рабочий диапазон концентраций не должен выходить за пределы  $3 < \text{pH} < 8$ .

Влияние природы растворенных веществ заключается в следующем:

- неорганические вещества задерживаются мембранами лучше, чем органические с той же молекулярной массой;
- вещества, которые могут образовывать связи с мембраной, например водородную связь, задерживаются мембраной тем лучше, чем менее прочна эта связь.

#### **4.5. Очистка нефтесодержащих сточных вод**

В настоящее время существуют две основные проблемы: сбор нефтепродуктов и очистка воды при разливе их на водной акватории; очистка сточных вод промышленных предприятий.

«Мировой рекорд» по загрязнению океана нефтью, зафиксированный Книгой рекордов Гиннеса, принадлежит Мексике: в результате аварии в Мексиканском заливе в июле-августе 1979 г. в воду вылилось 535 тыс. т нефти, диаметр нефтяного пятна достиг 640 км, ликвидация аварии стоила 131,6 млн дол. Систематически происходят аварийные разливы нефти в России, потери нефти и нефтепродуктов за счет аварийных ситуаций достигают более 5 млн т.

При ликвидации разлива нефти следует выделить две главные задачи: быстрая ликвидация разлива за счет максимального ограничения распространения нефти на водной поверхности (боны, пожарные катера, направляющие водные струи в нужном направлении); сбор разлитой нефти с последующей ликвидацией радужной пленки (нефтеборщики – центробежные, всасывающие, пороговые и другие нефтеловушки).

Сбор нефти с поверхности воды можно осуществлять с помощью химических методов, которые предполагают использование

ПАВ – диспергентов, обладающих эмульгирующими свойствами, а также использование сорбентов, так как все механические устройства становятся неэффективными при толщине пленки нефти менее 1 мм.

Окончательную очистку водной поверхности от оставшихся радужных пленок целесообразно осуществлять микробиологическими методами, с использованием специальных микроорганизмов, обладающих высоковыраженной окислительной активностью.

Способы очистки промышленных нефтесодержащих стоков приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Классификация способов очистки нефтесодержащих вод  
и достигаемая эффективность [2]

| Способ очистки                                       | Допустимая начальная концентрация нефтепродуктов в стоках | Достигаемая глубина очистки, мг/л | Примечание                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Механический (отстаивание)                        | >1000                                                     | 40-1000                           | Не очищает от эмульгированных продуктов                                                                                                                                                                                          |
| 2. Физико-химический:<br>-флотация                   | 200                                                       | 20-50                             | Степень очистки зависит от условий флотации<br>Частично очищает от эмульгированных примесей<br>Очищает от эмульгированных нефтепродуктов (после предварительной очистки)<br>Применяется в сочетании с фильтрацией и отстаиванием |
| -коалесценция                                        | 100                                                       | 10-15                             |                                                                                                                                                                                                                                  |
| - адсорбция                                          | 100                                                       | 1-3                               |                                                                                                                                                                                                                                  |
| - химический                                         | 50                                                        | 1-10                              |                                                                                                                                                                                                                                  |
| 3.Биохимический (с помощью аэробных микроорганизмов) | 100                                                       | 1-100                             | Обязательное предварительное отстаивание, очищает от эмульгированных нефтепродуктов                                                                                                                                              |

Некоторые схемы очистки нефтесодержащих стоков приведены на рис. 4.9.

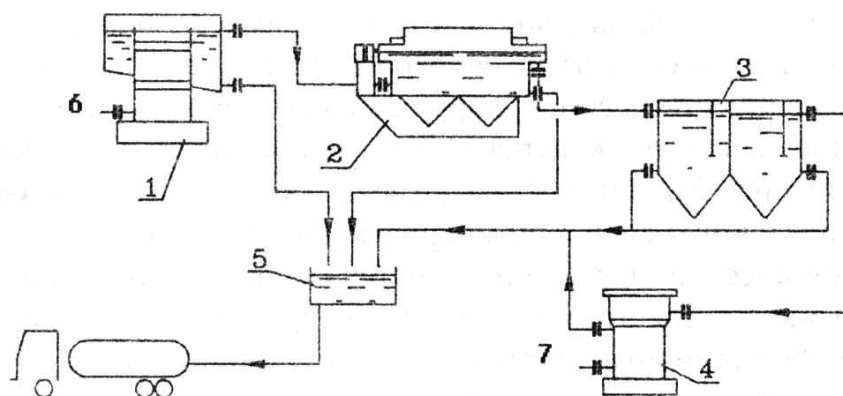


Рис. 4.9. Комплекс локальной очистки производственных сточных вод [1]: 1 – электрокоагуляционная установка; 2 – электрофлотационная машина; 3 – двухкамерный отстойник; 4 – патронный фильтр; 5 – бункер-накопитель осадка и пенного продукта; 6 – подача неочищенных сточных вод; 7 – отвод очищенных сточных вод

Как видно из приведенного рисунка, очистка нефтесодержащих стоков – достаточно сложная проблема, требующая применения комбинированных технологий, включающих механические, физико-химические и биохимические методы очистки.

#### 4.6. Биологическая очистка сточных вод [6, 7]

Метод биологической очистки получил широкое распространение для очистки бытовых и промышленных сточных вод химических производств. Этот метод основан на способности микроорганизмов использовать в качестве питательного субстрата многие органические соединения, содержащиеся в сточных водах.

Использование биологического метода обусловлено его достоинствами: возможностью удалять из сточных вод разнообразные загрязняющие вещества, простотой аппаратного оформления; относительно невысокими эксплуатационными расходами. К недостаткам метода следует отнести большие капитальные затраты, необходимость строгого соблюдения технологического режима очистки, токсическое действие на микроорганизмы ряда органических и неорга-

нических соединений, необходимость разбавления сточных вод в случае высокой концентрации примесей.

Процесс изъятия и потребления микроорганизмами органических примесей сточных вод состоит в основном из трех стадий: массопереноса органического вещества и кислорода из жидкости к поверхности клетки; диффузии вещества и кислорода через полупроницаемую мембрану клетки и метаболизма диффундированных веществ, сопровождающегося приростом биомассы, выделением энергии, диоксида углерода и т.д. Процессы переноса и сорбции органических веществ микроорганизмами существенного значения в механизме биологической очистки сточных вод не имеют. Основная роль принадлежит процессам превращения вещества внутри клетки.

В результате этих превращений формируются биоценозы микроорганизмов, состав которых зависит от характера примесей сточных вод, исходного посевного материала и условий проведения процесса очистки сточных вод.

Биоценозом аэротенков является активный ил. Активный ил – это амфотерный коллоид, имеющий в интервале значений  $pH=4-9$  отрицательный заряд. Поверхность колоний бактерий, образующих хлопья активного ила, достигает  $100\text{ м}^2$  на 1 г сухого ила.

Активный ил представляет собой сложный комплекс микроорганизмов разных систематических групп (например бактерий, простейших грибов, личинок насекомых и др.), между которыми складываются определенные взаимоотношения: симбиотические (обободопольные) или антагонистические (враждебные). Самая многочисленная группа микроорганизмов в активном иле – бактерии. Число их колеблется от  $10^8$  до  $10^{12}$  клеток на 1 г сухого ила. Из активного ила выделено более 100 штаммов бактерий.

Биоценозом биологических фильтров является биопленка. Она представляет собой слизистые обрастания на насадке биофильтров толщиной 1-3 мм и более. В биопленке биофильтров наблюдается больше разнообразных представителей простейших, коловраток, червей. Главное действующее начало активного ила биопленки – бактерии.

Многие виды бактерий, участвующие в процессе очистки, могут в результате адаптации индуцировать новые специфические фермен-

ты, что позволяет окислять ими большинство вновь производимых промышленностью органических веществ.

### *Основные параметры процесса биохимического окисления*

Скорость биохимического окисления зависит от концентрации органических загрязнений и их способности окисляться в данном процессе. Скорость процесса биохимического окисления возрастает с увеличением концентрации субстрата и активного ила. В связи с этим при глубокой очистке концентрированных сточных вод в реакторе полного смешения, где поддерживается низкая концентрация субстрата, нельзя обеспечить высоких скоростей окисления. Для повышения производительности процесс целесообразно делить на стадии. На первой стадии осуществляется очистка сточных вод с поддержанием достаточно высоких концентраций субстрата, обеспечивающих высокую скорость биохимического окисления. На первой стадии возможно глубокое окисление оставшейся части органических веществ при меньших скоростях окисления.

Экспериментально установлено, что некоторые органические вещества не подвергаются биологической деструкции. Наиболее простым экспериментальным методом определения доступности веществ биодеструкции является определение биологического потребления кислорода (БПК). Если БПК = 0, то вещество относится к категории биологически неокисляемых.

В аэробных условиях скорость реакции окисления возрастает с увеличением концентрации субстрата. Типичный вид этой зависимости графически представлен на рис. 4.10.

При малых концентрациях (область I) скорость окисления практически линейно зависит от концентрации субстрата и может быть описана уравнением вида

$$V = V_{\max} S / (K_s + S),$$

где  $V$  – скорость реакции,  $\frac{\text{мг O}_2}{\text{г} \times \text{ч}}$ ;  $V_{\max}$  – максимальная

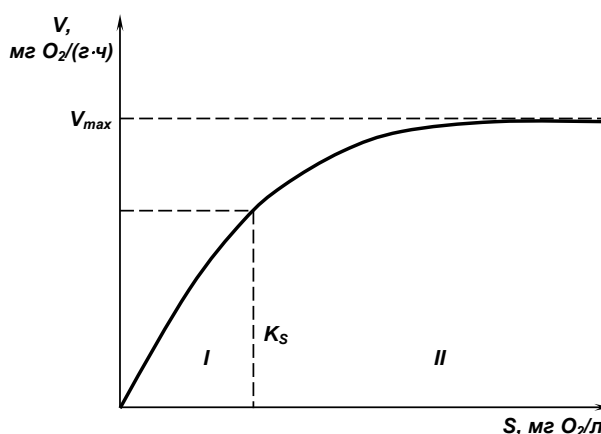


Рис. 4.10. Зависимость скорости реакции окисления от концентрации субстрата (окисляемых веществ)

скорость реакции,  $\frac{\text{мг}O_2}{\text{г} \times \text{ч}}$ ;  $S$  – концентрация субстрата по БПК<sub>полн.</sub>;

$K_S$  – константа насыщения, численно равная скорости реакции в конце линейной области (значение  $K_S$  определяются экспериментально);

При более высоких концентрациях субстрата (область II) скорость реакции окисления обратно пропорциональна концентрации субстрата и может быть описана уравнением вида

$$V = V_{\max} K'_s / S,$$

где  $K'_s$  – константа насыщения субстратного ингибирования.

При биологической очистке сточных вод торможение скорости окисления органических веществ может быть вызвано самим субстратом (большой его концентрацией). Такое торможение носит название субстратного ингибирования. Причина его появления заключается во взаимодействии субстрата с промежуточными продуктами окисления и образовании неактивных комплексов.

Оптимальной температурой для аэробных процессов, происходящих в очистных сооружениях, считается 20-30 °С. Если температурный режим не соответствует оптимальному, то рост культуры и также скорость обменных процессов в клетке заметно ниже максимальных значений (рис. 4.11). Наиболее неблагоприятное влияние на развитие культуры оказывает резкое изменение температуры. При аэробной очистке влияние температуры усугубляется еще вследствие изменения растворимости кислорода.

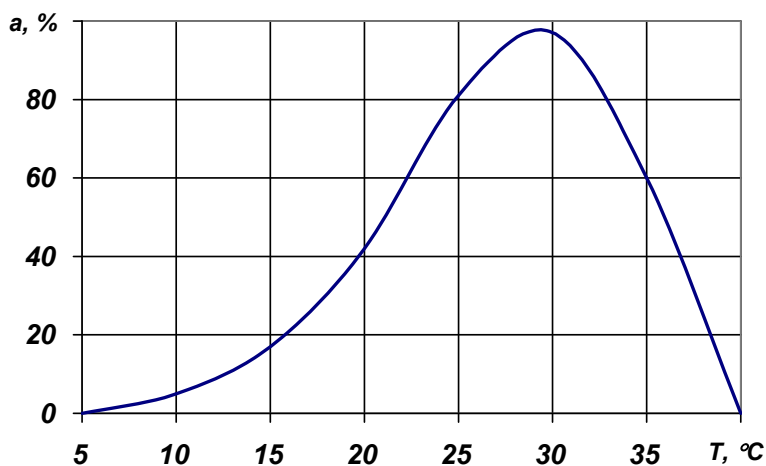


Рис. 4.11. Температурная зависимость активного ила

Влияние кислорода на процесс биохимического окисления зависит от концентрации окисляемых веществ. С уменьшением концентрации субстрата влияние концентрации кислорода заметно снижается, поэтому максимальное повышение скорости биохимического окисления за счет увеличения концентрации растворенного кислорода возможно при неполной очистке концентрированных сточных вод либо на начальных стадиях многоступенчатых схем.

Одним из возможных путей интенсификации работы биологических очистных сооружений считается повышение концентрации микроорганизмов. Скорость биохимического окисления прямо пропорциональна концентрации сухого вещества микроорганизмов в воде в диапазоне 1-7 г/л. При дальнейшем увеличении концентрации микроорганизмов их активность существенно снижается, что может быть следствием ухудшения массообмена, недостатка кислорода или угнетения их жизнедеятельности продуктами метаболизма.

Одним из методов интенсификации процессов биохимического окисления является разделение процесса на стадии (ступени). На процесс биохимического окисления влияет рН воды. Бактерии лучше развиваются в нейтральной или слабощелочной среде. Для большинства грибов и дрожжей более благоприятна слабокислая среда. Оптимальный интервал рН работы биологических очистных сооружений составляет 6,5-7,5, но сточную воду подавать на очистные сооружения можно с рН = 6,5-8,5, так как в процессе работы микроорганизмов образуются кислые продукты, снижающие рН.

Солесодержание сточных вод, поступающих на очистные сооружения, не должно превышать 5-6 г/л. Для нормального прохождения процесса биохимической очистки сточных вод в воде должны присутствовать биогенные элементы (азот, фосфор). Их содержание зависит от БПК воды, поступающей на очистку:

$$C_a = 5S_0 / 100, \quad C_{\text{ф}} = S_0 / 100,$$

где  $C_a$  – концентрация усвояемых соединений азота в пересчете на азот, мг/л;  $C_{\text{ф}}$  – концентрация усвояемых соединений фосфора в пересчете на фосфор, мг/л;  $S_0$  – БПК<sub>полн.</sub> сточной воды, поступающей на очистку, мг  $O_2$ /л.

Источником биогенных элементов служат бытовые сточные воды, удобрения или другие растворимые соли, содержащие азот или фосфор. Концентрация взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на биологические очистные сооружения, не должна превышать 100 мг/л.

### *Биологические фильтры*

В последние годы заметно возрос интерес к биофильтрам в связи с разработкой их новых эффективных конструкций с пластмассовой загрузкой, с вращающимися биодисками, а также с применением различных биотенков. По сравнению с аэротенками биофильтры менее энергоемки, они рентабельны для обработки сравнительно небольших количеств сточных вод.

Биофильтр состоит из корпуса, водораспределительного, дренажного и воздухораспределительного устройства и блока загрузки (рис. 4.12). Проходя через загрузочный материал, загрязненная вода оставляет на нем нерастворенные примеси, а также коллоидные и растворенные органические вещества. Загрязнения сорбируются биопленкой, покрывающей поверхность загрузочного материала. Микроорганизмы, образующие биопленку, окисляют органические вещества, в результате чего увеличивается масса активной биопленки в теле фильтра. Омертвевшая и отработавшая биопленка смывается протекающей сточной водой и выносится из тела биофильтра.

Биопленка состоит, главным образом, из бактерий, простейших грибов, питающихся содержащимися в сточных водах органическими веществами. В них также могут присутствовать иловые черви, личинки мух и другие микроорганизмы. В теплую погоду солнечный свет способствует росту водорослей на поверхности загрузки фильтра.

Биологический слой, хотя и очень тонкий, является анаэробным в своей внутренней части. Поэтому несмотря на то что биологическое фильтрование называют аэробным процессом, оно по существу представляет собой смесь аэробного и анаэробного процессов.

По конструктивным особенностям загрузочного материала все существующие биофильтры можно разделить на два вида: с объемной и плоскостной загрузкой. Биофильтры с объемной загрузкой делятся на следующие группы: капельные, имеющие крупность фракций за-

грузочного материала 20-30 мм, высоту слоя загрузки 1-2 м: башенные, имеющие крупность фракций грузочного материала 40-60 мм и высоту слоя загрузки 8-16 м; высоконагружаемые с крупностью фракций грузочного материала 60–80 мм и высотой слоя загрузки 2–4 м.

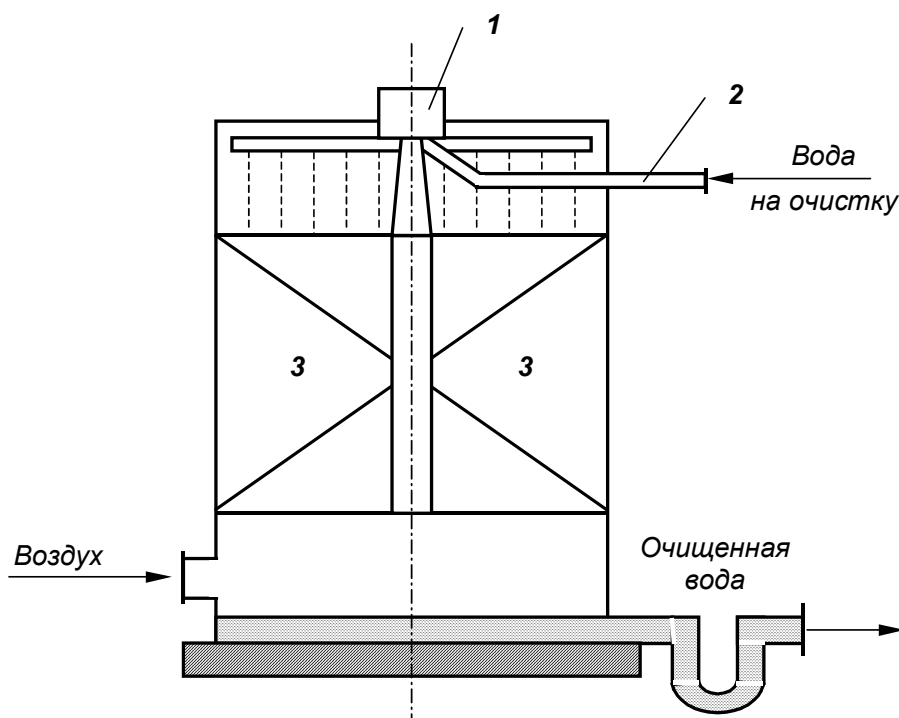


Рис. 4.12. Принципиальная технологическая схема биофильтра: 1 – реактивный ороситель; 2 – подающий трубопровод; 3 – блок загрузки

Высоконагружаемые биофильтры могут обеспечивать любую заданную степень очистки сточных вод, поэтому применяются как для частичной, так и для полной их очистки. Качество очищенной воды для практических целей оценивают обычно по показателю БПК<sub>полн.</sub> (за 30 дней), а в расчетах полное окисление воды производится до БПК<sub>полн.</sub> = 15 мг О<sub>2</sub>/л.

Метод расчета биофильтров основан на определении окислительной мощности (ОМ) в граммах кислорода в сутки, которая может быть получена с 1 м<sup>3</sup> грузочного материала для снижения БПК<sub>полн.</sub> сточной жидкости до 15 мг О<sub>2</sub>/л

$$ОМ = (S_0 - S) / V_1,$$

где ОМ – окислительная мощность, г БПК/(м<sup>3</sup>/сут);  $V_1$  – объем загрузочного материала, необходимый для очистки 1 м<sup>3</sup>/сут сточной воды, м<sup>3</sup>;  $S_0$  – БПК<sub>полн.</sub> поступающих на очистку сточных вод, г О<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>;  $S$  – БПК<sub>полн.</sub> выходящих сточных после очистных сооружений, г О<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>.

Зная суточное количество сточных вод  $Q$  и окислительную мощность, можно определить общий объем загрузочного материала:

$$V = Q(S_0 - S) / \text{ОМ},$$

где  $Q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Аэротенки представляют собой открытые аппараты (железобетонные или металлические), снабженные специальным оборудованием для подачи воздуха и поддержания активного ила во взвешенном состоянии. Современные аэротенки – гибкие в технологическом отношении сооружения, они успешно применяются для полной и частичной очистки многих видов производственных сточных вод в широком диапазоне концентраций загрязнений и расходов сточных вод.

Аэротенки можно классифицировать по следующим основным признакам:

- по гидравлическому режиму (аэротенки-вытеснители, аэротенки-смесители и аэротенки промежуточного типа) (рис. 4.13);
- по способу регенерации активного ила (с отдельно стоящими регенераторами и совмещенные);
- по нагрузкам на активный ил (высоконагружаемые, обычные и низконагружаемые);
- по количеству ступеней очистки (одно-, двух- и многоступенчатые);
- по режиму ввода сточной жидкости (проточные и контактные с переменным рабочим уровнем);
- по конструктивным признакам (прямоугольные, круглые, комбинированные, противоточные, шахтные, фильтротенки, флототенки и др.);
- по типу систем аэрации (с пневматическими, механическими, гидродинамическими и пневмомеханическими аэраторами).

При расчете аэротенков всех систем необходимо учитывать факторы, оказывающие влияние на скорость процесса: дозу ила, концентрацию загрязнений в исходной и очищенной воде, концентрацию

растворенного кислорода, а также скорость окисления загрязнений и активность микроорганизмов ила. Кроме того, следует оценивать гидродинамическую структуру потоков в сооружениях.

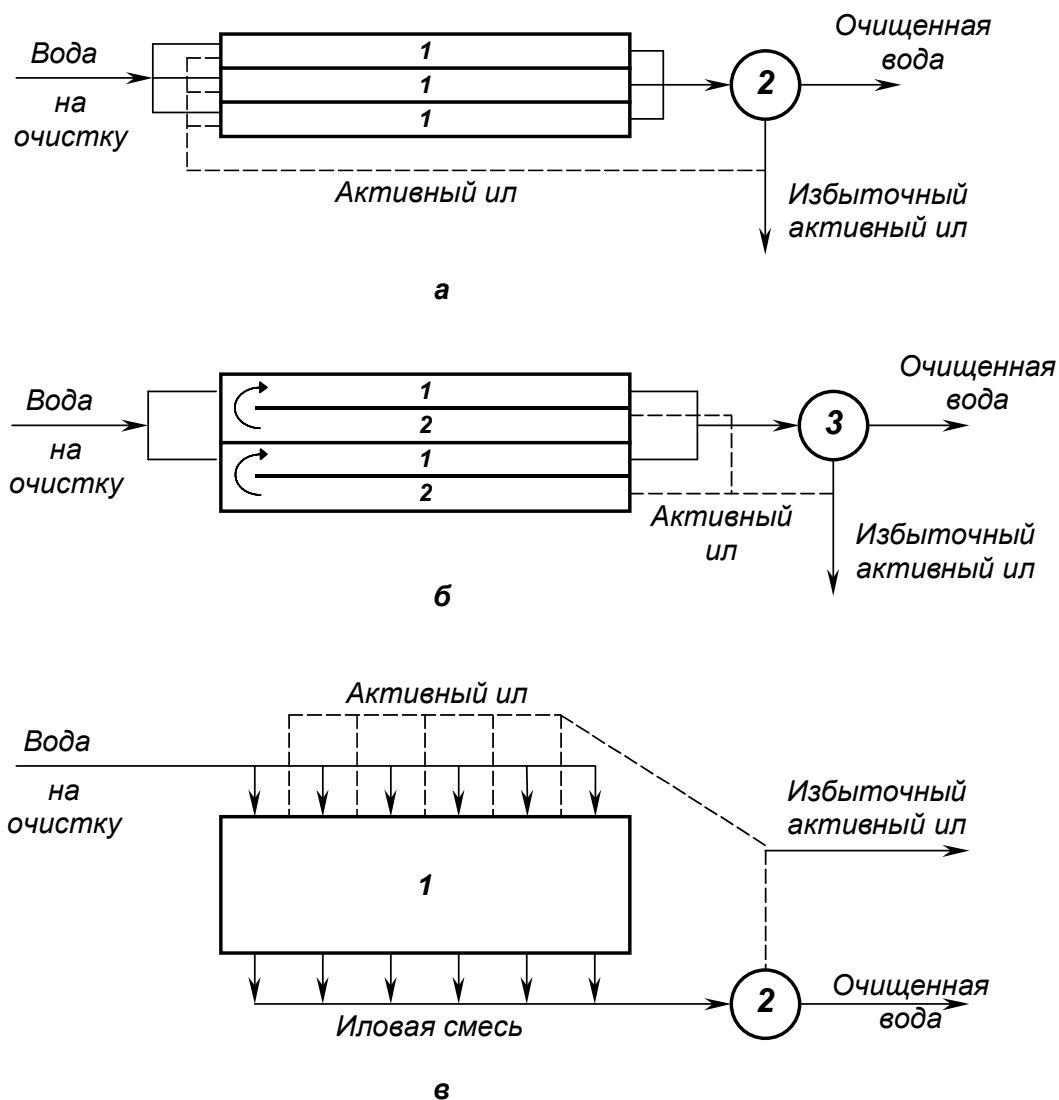


Рис. 4.13. Схемы работы аэротенков [8]: а – с сосредоточенным поступлением стоков: 1 – аэротенки, 2 – отстойники; б – с сосредоточенным поступлением стоков и аэрацией возвратного ила: 1 – аэротенки, 2 – регенераторы, 3 – отстойники; в – с рассредоточенным впуском и выпуском смеси сточной воды и активного ила: 1 – аэротенк-смеситель, 2 – отстойник

БПК<sub>полн.</sub> сточных вод, поступающих на очистку в аэротенках, не должно превышать 1000-1200 мг О<sub>2</sub>/л для двухступенчатой системы и 500 мг О<sub>2</sub>/л – для одноступенчатой.

Сначала ориентировочно определяют продолжительность аэрации смеси сточных вод и циркулирующего ила  $t_a$ , ч:

$$t_a = \frac{S_0 - S}{\alpha_{\text{аэп}}(1 - A)_r},$$

где  $S_0$  – БПК<sub>полн.</sub> поступающей в аэротенк воды, мг  $\text{O}_2/\text{л}$ ;  $S$  – БПК<sub>полн.</sub> очищенной воды = 15 мг  $\text{O}_2/\text{л}$ ;  $\alpha_{\text{аэп}}$  – доза ила (в аэротенках-смесителях без регенерации – 3 г/л; с регенерацией – 2-4,5 г/л),  $A$  – зольность ила в долях единицы, принимается 0,3;  $r$  – скорость окисления загрязнений – мг БПК/г·ч.

Степень циркуляции активного ила  $R$  в аэротенках рассчитывается по формуле

$$R = \frac{\alpha_{\text{аэп}}}{1000/J - \alpha_{\text{аэп}}},$$

где  $J$  – иловый индекс,  $\text{см}^3/\text{г}$ .

Иловый индекс оценивает способность ила к оседанию и представляет собой объем активного ила после отстаивания в течение 30 мин иловой смеси объемом 100 мл, отнесенный к 1 г сухого вещества ила. При нормальном состоянии активного ила его иловый индекс имеет величину 60-150 мг/л. Для определенного илового индекса необходимо знать нагрузку на 1 г беззольного вещества ила в сутки.

Объем собственно аэротенка  $V_a$ ,  $\text{м}^3$

$$V_a = t'_a(Q + U).$$

Объем регенератора  $V_p$ ,  $\text{м}^3$

$$V_p = t_p U.$$

Общий объем аэротенка и регенератора,  $\text{м}^3$ :

$$V = V_a + V_p,$$

где:  $t'_a$ ,  $t_p$  – время пребывания сточной воды в аэротенке и регенераторе соответственно;

$U$  – объем циркулирующего активного ила,  $\text{м}^3$ .

Биохимическая очистка сточных вод применяется обычно в сочетании с механической и физико-механической, чаще всего на последней стадии.

#### 4.7. Электрохимическая очистка сточных вод

В последние годы интерес к электрохимическим методам значительно возрос, появились серийные очистные установки с использованием электролиза. Наиболее перспективно применение методов электролиза в сочетании с другими физико-химическими методами очистки при создании замкнутых систем водопользования. В процессе электрохимической очистки сточных вод удастся одновременно утилизировать отдельные компоненты сточных вод. Это несомненное достоинство методов электрохимической очистки.

Основные недостатки:

- относительно низкая производительность очистных аппаратов;
- высокая стоимость электроэнергии.

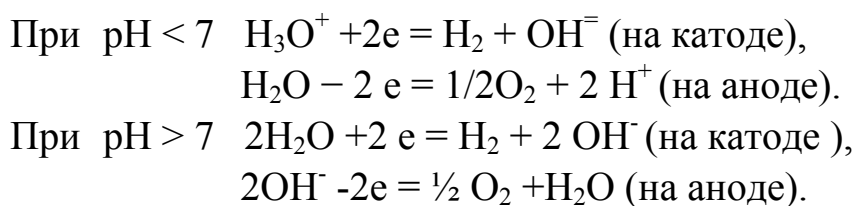
Эффективность использования электричества на удаление или выделение того или иного загрязнителя характеризуется *выходом по току*  $V_T$ , который определяет, какая доля общего количества электричества ( $g_{\text{общ.}}$ ) затрачена на данную электродную реакцию ( $g_i$ ). Обычно  $V_T$  выражают в процентах:

$$V_T = (g_i / g_{\text{общ.}}) 100 \, \%$$

По типу реакции, обеспечивающей удаление загрязнителя, электролитические методы классифицируют на *анодные* (окислительные) и *катодные* (восстановительные). Эффект удаления загрязняющих компонентов или их обезвреживания может быть принципиально достигнут при следующих характерных направлениях течения электродных реакций:

- 1) реакции, сопровождающиеся окислительной деструкцией загрязняющих компонентов;
- 2) реакции, продукты которых являются менее токсичными, чем исходные компоненты;
- 3) реакции, сопровождающиеся выделением металлов или образованием плохо растворимых соединений;
- 4) неизбежно протекающие реакции разложения воды с образованием газообразных водорода и кислорода.

Конечные продукты разложения воды – это всегда кислород и водород, хотя механизм может быть разный и определяется значением pH воды, подвергающейся электролизу.



Анодное окисление воды сопровождается появлением на поверхности электрода атомарного кислорода, обладающего высокими окислительными свойствами и способного к взаимодействию с компонентами сточных вод. Катодное восстановление воды обеспечивает существование на поверхности электрода атомарного водорода – сильного восстановителя.

*Следует помнить!* Появление малых количеств водорода в газовой фазе, которые трудно утилизировать, способствует образованию взрывоопасной смеси. Учитывая это, прибегают к мерам, препятствующим этому явлению : разбавлению выделяющихся газов.

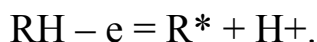
Значения равновесных потенциалов электродов будут также определяться pH воды

$$F_{\text{H}_2} = -0,059 \cdot \text{pH},$$

$$F_{\text{O}_2} = +1,23 - 0,059 \cdot \text{pH}.$$

Анодная электролитическая очистка проводится с целью окисления токсичных органических и неорганических соединений до нетоксичных и для осуществления глубокой деструкции загрязняющих компонентов с образованием нейтральных газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и других.

Суть анодного окисления: органическое вещество адсорбируется на поверхности анода и отдает электроны с одновременной или предшествующей стадией дегидратации:

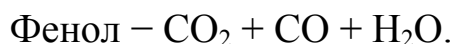


Дальнейшие превращения радикала определяются его реакционной способностью.

Спирты окисляются легко по схеме

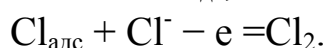
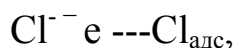


Труднее всего окисляются кетоны. Ароматические углеводороды окисляются легче, чем соответствующие алифатические соединения:



Для осуществления электрохимических реакций большинства органических соединений требуются высокие положительные потенциалы, часто превышающие потенциал разложения воды.

Для ускорения электрохимических реакций в воду добавляют хлорид-ионы, при этом выделяется  $\text{Cl}_2$ . Реакция протекает в две стадии:



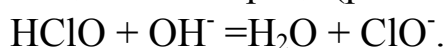
С этой реакцией будет конкурировать процесс разряда молекул воды с образованием  $\text{O}_2$ . Обратимый потенциал реакции с  $\text{Cl}^-$  зависит от концентрации хлорид-ионов

$$E_{\text{Cl}_2} = + 1,3 - 0,059 \cdot \lg \text{Cl}^-.$$

Выделяющийся на аноде хлор растворяется в воде с образованием хлорноватистой кислоты



В щелочной среде ( $\text{pH}=7-10$ ) образуются ионы гипохлорита



При  $\text{pH}=7-8$  в растворе одновременно присутствуют  $\text{HClO}$  и ионы  $\text{ClO}^-$ . Растворимость  $\text{Cl}_2$  в воде зависит от содержания в ней  $\text{Cl}^-$  и температуры. С повышением температуры растворимость хлора в воде снижается. Ионы  $\text{Cl}^-$  выступают своеобразным катализатором процесса окисления. Окисляющая способность некоторых соединений кислорода и хлора приведена ниже.

| Соединение     | Окислительный потенциал, Е В |
|----------------|------------------------------|
| $\text{O}_3$   | 1,9                          |
| $\text{O}_2$   | 1,96                         |
| $\text{Cl}_2$  | 1,36                         |
| $\text{HClO}$  | 1,5                          |
| $\text{ClO}^-$ | 0,9                          |
| $\text{ClO}_2$ | 0,5                          |

#### *Кинетика процесса электрохимического окисления*

Процесс очистки включает в себя ряд последовательных стадий:

- 1 – подвод реагирующих частиц к электроду;
- 2 – собственно электрохимическая реакция электронного перехода;

3 – отвод продуктов электродной реакции в объем раствора;

4 – химические реакции в объеме раствора.

Известно, что при наличии ряда последовательных стадий лимитирующей стадией суммарного процесса выступает наиболее замедленная стадия, чаще всего 1-я или 2-я.

#### *Выбор материала электродов*

Природа материала электродов, его подготовка оказывают большое влияние на направление и ход реакций. Общие правила при выборе материала:

1. Устойчивость электрода в процессе обработки и возможность длительной эксплуатации.

2. Продукты разрушения электродов не должны обладать токсичностью.

3. Высокая электропроводность и механическая прочность.

4. Относительная доступность и относительно невысокая стоимость материала.

#### *Аноды*

В качестве анодов используют материалы, которые в водных растворах обладают устойчивостью при потенциалах выделения кислорода.

В кислых растворах это потенциалы положительные (+1,23 в), а в щелочных + 0,4 в. В этой области потенциалов устойчивы графит, оксиды некоторых металлов, а также металлы платиновой группы.

Обычно графитовые электроды изготавливают путем прокаливания измельченных углеродистых материалов (антрацита, кокса, каменноугольной смолы). Обжиг – в три стадии при температуре 2400 °С с получением искусственного графита с кристаллической структурой. Недостаток графита – пористая структура. Объем пор – до 25-30 %. Для уменьшения пор осуществляют пропитку анодов различными материалами. К недостаткам следует также отнести медленное разрушение за счет окисления графита до  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ .

Из оксидов металлов чаще всего используют магнетит – двойной оксид железа  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (получают из шихты, представляющей природный магнетит). Чем больше содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , тем больше механическая прочность литого магнетита.

В настоящее время очень прочные аноды получают на основе титана : на поверхность металла наносят слой высших оксидов рутения или кобальта, оксиды получают путем термической обработки (при 360-400 °С ) карбонатов или нитратов металлов, нанесенных на поверхность Me.

При этом слой оксидов составляет микрометры.

#### *Катоды*

Требования к ним с точки зрения устойчивости меньше, чем к анодам. Основной показатель – величина перенапряжения при выделении  $H_2$  –  $\eta_{H_2}$

| Материал электрода | Pt   | Fe  | Ni   | Zn  | Pb   | C         | Cu  |
|--------------------|------|-----|------|-----|------|-----------|-----|
| $\eta_{H_2}$ , В   | 0,35 | 0,7 | 0,63 | 1,3 | 1,47 | 1,1 -1,34 | 0,8 |

Перенапряжение  $\eta_{H_2}$  при выделении его на различных электродах приведено выше. По величине  $\eta_{H_2}$  электродные материалы разделяются на 2 группы:

- обладающие низким  $\eta_{H_2}$  (Fe, Ni и др.);
- обладающие высоким  $\eta_{H_2}$  (Zn, графит и др.).

Если ведущую роль играет анодный процесс, то есть деструкция загрязнителей, из соображений энергетических затрат выбирают материалы первой группы. Если при очистке сточных вод преобладает катодный процесс (выделение Me и др. ), целесообразно использовать электроды с высоким перенапряжением при выделении водорода. Выше уже отмечалась низкая производительность электролизеров, особенно с плоскими электродами.

Для увеличения интенсивности процессов извлечения ценных компонентов из сильно разбавленных растворов используют *объемные электроды*. Принцип работы электролизеров с такими электродами заключается в том, что подвергаемый обработке раствор пропускают через каналы в теле объемного электрода, потенциал которого поддерживают на уровне, обеспечивающем протекание процесса с максимально возможной скоростью, то есть при предельной силе диффузионного тока. Имеются три типа объемных электродов: пластинчатые; объемно-пористые; псевдоожиженные.

### *Трехмерный катод пластинчатого типа*

Этот электрод представляет собой блок из пластин, расположенных перпендикулярно аноду; пластины разделены шайбами таким образом, что между соседними пластинами остается зазор для протекания раствора в направлении, перпендикулярном протеканию электрического тока.

Условия подбираются таким образом, чтобы было возможно получать  $\text{Me}$  в порошкообразной форме.  $\text{Me}$  удаляют из нижней части аппарата, где осаждаются частицы, оторвавшиеся от катода под действием сил тяжести.

### *Объемно-пористые электроды*

Это насыпные электроды из измельченного электропроводного материала (гранул  $\text{Me}$ , частиц или волокон графита). Катодный электрод состоит из камеры, к боковым перфорированным стенкам которой прижат слой углеграфитового материала, служащего электродом. Волокнистые углеграфитовые материалы получают прокаливанием текстильных материалов на основе вискозы.

Обрабатываемый раствор, проходя между углеродными нитями в направлении, параллельном протеканию электрического тока, подвергается электролизу. Металл, осажденный на такой электрод, при возможности подвергается прямой плавке вместе с основой.

### *Псевдооживленные электроды*

Это подвижные слои электропроводного дисперсного материала ( $\text{Me}$ , графита), контактирующие с расположенными в объеме слоя токосборниками. Диаметр отверстий в токосборнике меньше диаметра частиц подвижного слоя. Скорость движения потока такова, что основная масса частиц циркулирует от вершины слоя к основанию, постоянно контактируя с токосборником.

### *Установки для электрохимической очистки сточных вод*

*Электролизеры* – устройства, в которых производят те или иные процессы электрохимического воздействия на водные растворы.

Под действием электрического поля положительно заряженные ионы мигрируют к отрицательно заряженному электроду – катоду, а отрицательно заряженные ионы – к положительному электроду – аноду. На электродах происходит переход электронов. Катод отдает электроны в

раствор, и в приэлектродном пространстве происходят процессы, связанные с присоединением электронов к реагирующим частицам – *восстановление*. В прианодном пространстве протекают процессы переноса электронов от реагирующих частиц к электроду – *окисление*.

Иногда электроды разделяют полупроницаемой перегородкой (диафрагмой). Тогда поступающая на обработку вода либо последовательно проходит каждую из двух образовавшихся камер, либо циркулирует в одной из них.

В зависимости от природы процессов, протекающих в таких аппаратах и обеспечивающих извлечение или обезвреживание загрязняющих компонентов, электролизеры разделяют на следующие типы:

- электрофлотаторы;
- электрокоагуляторы;
- электродиализаторы;
- электролизеры для проведения реакций окисления и восстановления.

При расчете электролизеров определяют:

- полезный объем электролизера;
- поверхность электродов;
- нагрузку по току;
- расход энергии на обработку воды.

Для расчета необходимы следующие основные данные:

- расход сточной воды;
- общее содержание минеральных солей и загрязняющих компонентов в ней;
- время обработки воды.

Объем электролизера определяют по формуле

$$V_{\text{ап}} = Q \cdot t,$$

где  $Q$  – расход сточной воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $t$  – время обработки, с.

Нагрузку по току находят ориентировочно из выражения

$$I = g \cdot C_0 \cdot V_T \cdot Q / t,$$

где  $g$  – теоретическое количество электричества, необходимое для обезвреживания или очистки от загрязнителя и определяемое по закону Фарадея;  $V_T$  – выход по току, доли ед.,  $C_0$  – исходная концентрация загрязняющего компонента в сточной воде.

Общая поверхность электродов  $S = V / 2d$ , где  $d$  расстояние между электродами.

Если из предварительных экспериментов известны выход по току и удельная сила тока, приходящаяся на единицу поверхности электрода (плотность тока), то поверхность электродов может быть определена из выражения  $S = I / j$ , где  $I$  – общая нагрузка по току на аппарате, а  $j$  – плотность тока, а/м<sup>2</sup>.

Расход энергии на электрохимическую обработку – основная величина, определяющая эксплуатационные затраты на установки и их конкурентоспособность. Расход энергии  $W$  обычно относят к 1 м<sup>3</sup> очищаемой воды или к единице массы извлеченного вещества.  $W$  определяется напряжением на электродах, расстоянием между ними, удельным сопротивлением и другими характеристиками обрабатываемой воды

$$W = q_{\text{эл}} \cdot U,$$

где  $q_{\text{эл}}$  – количество электричества, затраченное на обработку 1 м<sup>3</sup> воды;  $U$  – напряжение на электролизере.

Общее напряжение на аппаратах электрохимической очистки воды складывается из теоретического напряжения, перенапряжения на электродах, концентрационной поляризации, падения напряжения в электролите, на диафрагме, электродах и контактах

$$U = E_a - E_k + na + nk + dE_{\text{конц}} + dU_{\text{эл}} + dU_d + dU_1 + dU_2, \text{ В},$$

где  $E_a - E_k$  – теоретическое напряжение, равное разности термодинамических (обратимых) потенциалов анода и катода;

$na$  и  $nk$  – перенапряжение на аноде и катоде;

$dE_{\text{конц}}$  – концентрационная поляризация;

$dU_{\text{эл}}$  – падение напряжения в электролите;

$dU_d$  – падение напряжения на диафрагме или мембране;

$dU_1$  и  $dU_2$  – падение напряжения на электродах и контактах.

#### 4.8. Рациональное использование воды

Рациональное использование водных ресурсов на промышленном предприятии характеризуют следующие факторы [6, 13]:

– объем применения безводных технологий (дает возможность сократить применение воды и уменьшить количество сточных вод);

– размещение производства, обеспечивающее последовательное многократное использование воды в техническом производстве (сокращение использования свежей воды);

– уровень совершенства методов локальной очистки сточных вод (сокращает количество загрязнений в сточной воде);

– разделение водохозяйственной системы на группы локальных замкнутых систем технического водоснабжения, позволяющих осуществлять очистку сточных вод в соответствии с требованиями оборотного водоснабжения, включая санитарно-гигиенические и технологические показатели;

– оптимизация процессов водообеспечения и водоочистки (подача и распределение воды для технологических операций производства, регенерация отработанных растворов, извлечение из сточных вод и утилизация ценных отходов, создание локальных систем оборотного водоснабжения, обработка оборотной воды, обезвреживание осадков и др.);

– полнота использования ВР промышленного узла, включающего применение сточных вод города и промышленных предприятий на сельскохозяйственных полях для орошения и других объектах.

Структура водосберегающих мероприятий представлена на рис. 4.14.

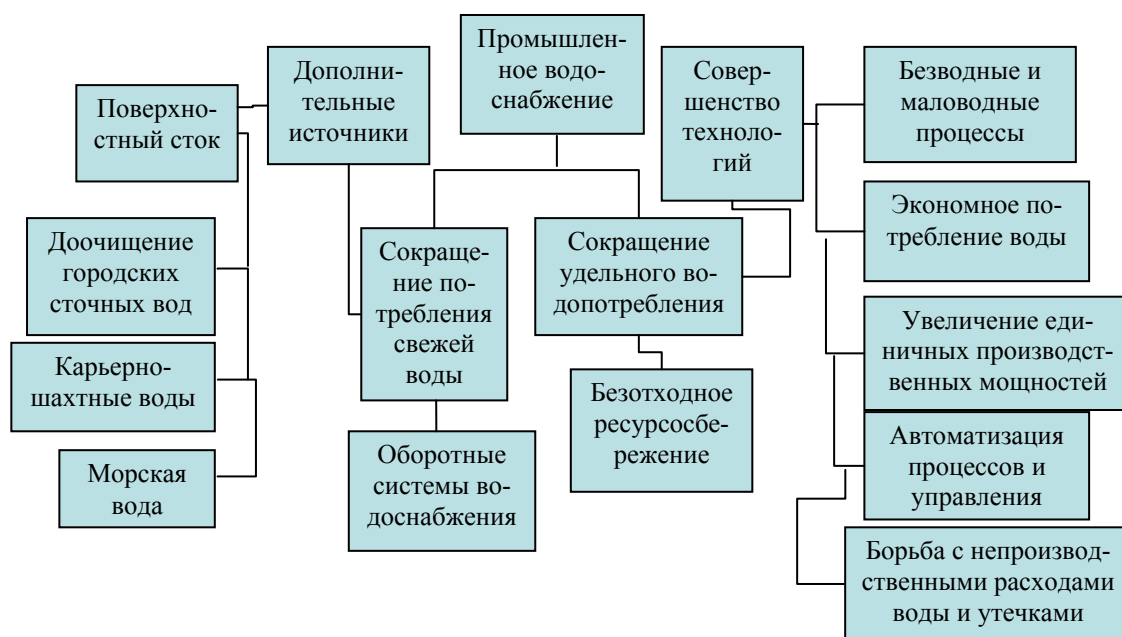
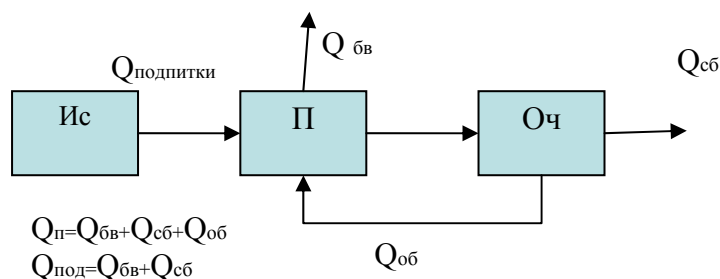
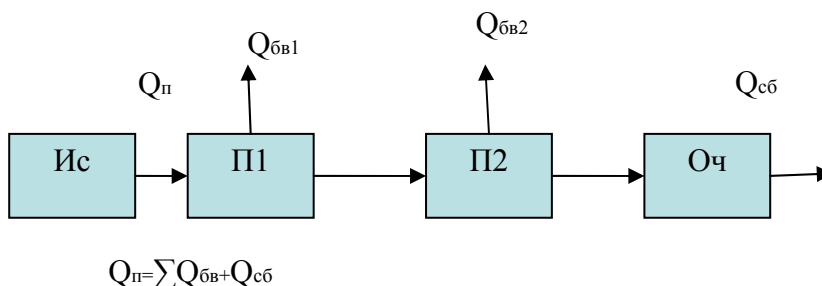


Рис.4.14. Структура водосберегающих мероприятий в промышленном водоснабжении

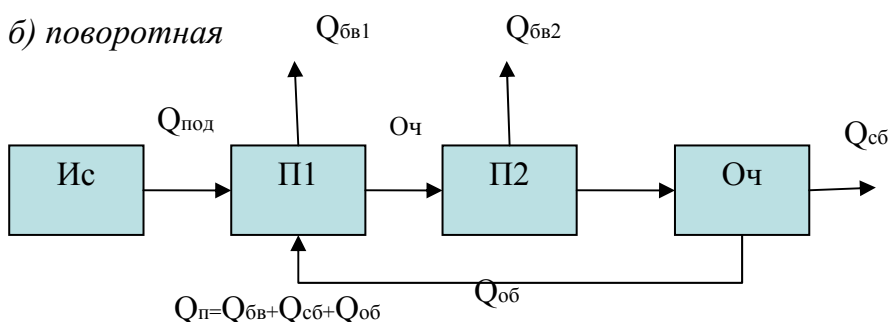
Поэтому необходимо кардинальное изменение технических схем производства, широкое внедрение маловодных и безводных схем, а также создание замкнутых, безотходных циклов позволит одновременно решить две важнейшие задачи: уменьшение удельного водопотребления и защита природных водных систем от загрязнения их промышленными стоками. На рис. 4.15 представлены основные схемы оборотного и повторного использования воды в промышленном водоснабжении.



а) оборотная



б) поворотная



в) комбинированная

Рис. 4.15. Схемы водоснабжения промышленных производств:  $Q_{\text{п}}$  – расход воды поступающей на предприятие;  $Q_{\text{бв}}$  – объем безвозвратно потерянной воды (испарение и т.п.);  $Q_{\text{сб}}$  – объем сбрасываемой воды;  $Q_{\text{об}}$  – объем оборотной воды;  $Q_{\text{под}}$  – объем свежей воды на подпитку оборотной системы; Ис – источник свежей воды; П, П1, П2 – промышленное производство; Оч – очистные сооружения

Внедрение оборотного водоснабжения существенно экономит расход свежей воды, снижает сброс загрязняющих веществ в поверхностные водоемы.

#### *Охрана водоемов от загрязнения сточными водами*

Основой всего комплекса мероприятий по охране водоёмов от загрязнения сточными водами являются:

- создание и развитие замкнутых систем промышленного водоснабжения;
- применение маловодных и безводных технологических процессов и эффективных способов очистки начальных потоков сточной воды с учетом повторного их использования.

На основании требований технологического производства на каждой его стадии определяются требования к качеству воды. На основании требований к качеству использованной воды принимаются решения по методам локальной и централизованной очистки сточной воды, составляются перечни загрязняющих веществ, сбрасываемых в открытые водоёмы и городскую канализацию.

#### *Условия сброса сточных вод в водоемы*

Допустимый состав сбрасываемых сточных вод рассчитывают с учетом требований «Правил охраны поверхностных вод». Расчет допустимой концентрации примесей в сточных водах, сбрасываемых в проточные водоемы, проводят в зависимости от преобладающего вида примесей сточных вод и характеристик водоема:

$$C_{\text{ст.}} \leq C_{\text{ф}} + n (\text{ПДК} - C_{\text{ф}}),$$

где  $C_{\text{ст.}}$  и  $C_{\text{ф}}$  – концентрация загрязняющего вещества в сточной воде и в расчетном створе до сброса в него сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $n$  – кратность разбавления сточных вод в воде водоема. Более подробно эти вопросы рассмотрены в разделе 5. ПДК загрязняющих веществ принимаются в зависимости от назначения водоема (рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения) – табл. 4.6.

Таблица 4.6

**Предельно допустимые концентрации вредных веществ  
в воде водных объектов хозяйственно-питьевого  
и культурно-бытового водопользования [8]**

| Вещество                      | Класс<br>опас-<br>ности | Предельно<br>допустимая<br>концентра-<br>ция, мг/л | Вещество                   | Класс<br>опас-<br>ности | Предельно<br>допустимая<br>концентра-<br>ция, мг/л |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|
| Аммиак<br>(по азоту)          | III                     | 2,0                                                | Натрий                     | II                      | 200,0                                              |
| Аммония сульфат<br>(по азоту) | III                     | 1,0                                                | Нефтепродукты              | IV                      | 0,1                                                |
| Активный хлор                 | III                     | Отсут.                                             | Никель                     | III                     | 0,1                                                |
| Ацетон                        | III                     | 2,2                                                | Нитраты (NO <sub>3</sub> ) | III                     | 45,0                                               |
| Бензол                        | II                      | 0,5                                                | Нитриты (NO <sub>2</sub> ) | II                      | 3,0                                                |
| Дихлорэтан                    | II                      | ОДУ 0,02                                           | Ртуть                      | I                       | 0,0005                                             |
| Железо                        | III                     | 0,3                                                | Свинец                     | II                      | 0,03                                               |
| Кадмий                        | II                      | 0,001                                              | Селен                      | II                      | 0,01                                               |
| Капролактамы                  | IV                      | 1,0                                                | Скипидар                   | IV                      | 0,2                                                |
| Кобальт                       | II                      | 0,1                                                | Фенол                      | IV                      | 0,001                                              |
| Кремний                       | II                      | 10,0                                               | Хром (Cr <sup>3+</sup> )   | III                     | 0,5                                                |
| Марганец                      | III                     | 0,1                                                | Хром (Cr <sup>6+</sup> )   | III                     | 0,05                                               |
| Медь                          | III                     | 1,0                                                | Цинк                       | III                     | 1,0                                                |
|                               |                         |                                                    | Этиленгликоль              | III                     | 1,0                                                |

#### **4.9. Охрана поверхностных и подземных источников водоснабжения населения России питьевой водой**

*Оценка источников.* Россия является одной из наиболее обеспеченных водными ресурсами стран, располагая более чем 20 % мировых запасов пресных поверхностных и подземных вод.

Среднемноголетние ресурсы речного стока России составляют 4262 км<sup>3</sup> / г. 10 % мирового речного стока, из которых ~ 90 % приходится на бассейн Северного Ледовитого и Тихого океанов, менее 8% – на бассейн Каспийского и Азовского морей, ~ 2 % – на бассейн Черного моря.

По водообеспеченности на одного жителя (~78 м<sup>3</sup>/сут.) Россия занимает второе место в мире (после Бразилии). Прогнозные запасы подземных вод оцениваются в 360 км<sup>3</sup>/г., из которых 28,4 км<sup>3</sup>/г. – разведанные запасы для хозяйственно-питьевого водоснабжения [7, 9, 10].

В России свыше 2,5 млн рек, более 2 млн озер, более 300 тыс. водохранилищ, 37 крупных систем межбассейнового перераспределения стоков. Располагая такими значительными водными ресурсами и используя лишь около 3 % речного стока ежегодно, Россия в ряде регионов испытывает острый дефицит в воде (так, в наиболее развитых и заселенных центральных и южных регионах сосредоточено до 80 % населения и всего ~8 % водных ресурсов, к тому же характеризующихся низким качеством вод, особенно поверхностных). Практически исчерпаны возможности безвозвратного водоотбора в бассейнах рек Дон, Терек, Урал, Исеть, Миасс и др.

*Классификация загрязнителей источников питьевого водоснабжения.* Загрязнение источников имеет природное и антропогенное происхождение.

Природные загрязнители.

Вода поверхностных источников не является химически чистой и содержит различные примеси. Характер этих примесей зависит от ряда факторов, таких как:

- питание источников;
- почвенно-геологические условия;
- климатические и другие природные условия;
- хозяйственная деятельность человека.

1. Из природных механических примесей воды следует отметить частицы песка, глины, ила, смываемые с берегов и поднятые течением со дна водоемов. Концентрация таких частиц для различных поверхностных водоисточников неодинакова и даже для одного источника может меняться в зависимости от времени года. Неодинакова и крупность частиц. Так, для равнинных мест основная масса частиц обычно имеет крупность менее 0,01 мм (концентрация частиц колеблется от незначительных до 300 – 500 мг/л в паводковый период). Воды горных рек характеризуются значительным содержанием более крупных частиц, а их концентрация доходит до 20-30 г/л.

Крупные частицы при спокойном состоянии могут осаждаться, а частицы менее 0,01 мм образуют устойчивые взвеси, для их осаждения требуется более длительное отстаивание и применение специальных коагулянтов.

2. Важную роль в оценке природных вод играют гуминовые вещества, придающие воде желто-зеленую, желто-коричневую окраску, то есть обуславливают цветность воды. В состав гуминовых веществ входят высокомолекулярные соединения, образующиеся из продуктов разложения растительных и животных организмов (или непосредственно в самой воде, или переходящие в нее из торфяного и почвенного гумуса). Гуминовые соединения различаются по своим свойствам, одни находятся в воде в виде коллоидов, другие – в растворенном виде. Особенно большое количество гуминовых веществ содержится в воде рек северной и средней полосы России, протекающих по торфяным почвам.

3. В поверхностных водах обитают различные микроорганизмы, в том числе бактерии, которые могут явиться причиной распространения инфекционных заболеваний (коли-патогенная палочка, холерный вибрион и т.п.).

4. На органолептические свойства воды оказывает отрицательное влияние «цветение» – массовое развитие водорослей (диатомовых, сине-зеленых и других). Отмирая, водоросли вызывают появление неприятного гнилостного запаха. Сильный запах придают воде и некоторые микроорганизмы, например плесневые грибы, актиномицеты и др.

5. Фитопланктон вызывает осложнение в работе водопроводных станций: он плохо задерживается в отстойниках и осветлителях, поэтому выносится на фильтры, заиливает их, что вызывает необходимость частых промывок фильтров и снижает производительность водоочистных сооружений.

6. Вода загрязняется крупными примесями растительного и животного происхождения (ветки, щепа, крупная рыба, животные), что приводит к засорению водозаборных систем. Примеси органического происхождения, задерживаясь на водоочистных сооружениях, могут резко ухудшить их санитарное состояние.

7. Вода является хорошим растворителем и при контакте с почвами, грунтами, горными породами обогащается минеральными солями, поэтому в состав воды могут входить самые разнообразные химические соединения.

Таким образом, поверхностные воды представляют собой сложную систему и могут быть весьма разнообразны по составу и свойствам. Однако влияние *антропогенного загрязнения* является определяющим.

Воды основных рек страны – Волги, Дона, Кубани, Оби, Лены, Печоры – оцениваются как «загрязненные», воды их притоков – Оки, Камы, Томи, Иртыша, Тобола, Миасса, Исети, Туры и реки Урал – как «очень загрязненные». Только 1 % воды поверхностных источников питьевого водоснабжения соответствует нормативу первого класса качества для питьевых водозаборов, что гарантирует при существующих технологиях водоподготовки достижение требуемых показателей качества для питьевой воды (прил. 4).

Районы с источниками подземного питьевого водоснабжения распределены на три группы:

1) районы, в гидрогеологических разрезах которых выделяются горизонты с пресными водами, в естественных условиях полностью отвечающими требованиям к качеству питьевой воды;

2) районы, где содержание каких-либо микрокомпонентов в пресных подземных водах превышает установленные предельно-допустимые концентрации (таких компонентов, как железо, фтор, марганец, мышьяк и др.);

3) районы с практически полным отсутствием пресных подземных вод (либо повышенная минерализация, либо повышенная общая жесткость).

Необходимо отметить, что повышенное содержание железа и марганца, повышенная минерализация и общая жесткость, а также пониженное содержание фтора не являются препятствием к использованию таких вод, так как при применении современных методов очистки качество воды может быть доведено до требуемых норм. В то же время для ряда других микрокомпонентов такая технология очистки не разработана.

Серьезную проблему представляет *техногенное загрязнение подземных вод*.

Выделяют три класса загрязнения:

I класс – незначительно загрязненные подземные воды, в которых содержание загрязняющих веществ составляет 1 – 10 ПДК независимо от площади загрязнения;

II класс – загрязненные подземные воды, содержащие примеси от 10 до 100 ПДК при площади загрязнения менее 3 км<sup>2</sup>;

III класс – очень загрязненные подземные воды, в которых содержание загрязняющих веществ более 10 ПДК при площади загрязнения более 3 км<sup>2</sup>, а также воды с загрязнением более 100 ПДК независимо от площади загрязнения.

В Российской Федерации выявлено и достоверно охарактеризовано более 2000 участков техногенного загрязнения подземных вод, в том числе 1940 участков (74 %) на территории европейской части России, ~700 участков (26 %) на азиатской части России. Качество этих подземных вод не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.559 – 96. На участках обнаружено повышенное содержание сульфатов, хлоридов, нефтепродуктов, фенолов, железа, марганца, тяжелых цветных металлов, ряда органических веществ [2].

В период с 1985 по 2000 гг. на территории России выявлено около 500 водозаборов, в которых наблюдается постоянное или эпизодическое загрязнение подземных вод, но в большинстве из них загрязнение отмечается лишь в отдельных скважинах. Большая часть таких водозаборов находится в Самарской, Пензенской, Оренбургской и Свердловской областях, Хабаровском крае и др.

Участки загрязнения, угрожающие централизованному водоснабжению, выявлены в районе городов Печора, Калуга, Тольятти, Самара, Сызрань, Пятигорск, Нальчик, Южно-Сахалинск, Оренбург, Орел, Чита и др. (это составляет 5 – 6 % общего объема подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водозабора). Основные показатели водопользования приведены в табл. 4.7.

Повышенная загрязненность воды поверхностных и подземных источников в значительной мере создает трудности в подготовке воды и подаче ее населению в соответствии с установленными нормативами качества питьевой воды.

#### *Очистка воды питьевого назначения*

Наиболее распространенная схема очистки воды включает следующие операции:

– фильтрацию (через речной песок, цеолит, уголь) или отстаивание;

- первичное хлорирование;
- реагентная обработка воды с применением коагулянтов и отстаивание (или фильтрование);
- вторичное хлорирование.

Таблица 4.7

Основные показатели водопотребления и водоотведения  
по Российской Федерации на 2000 г., млн м<sup>3</sup> [1]

| Использовано (воспроизводство) воды                                            | Объем, млн м <sup>3</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Забор воды из водных объектов                                                  | 85940                     |
| <i>в том числе:</i>                                                            |                           |
| поверхностных                                                                  | 69074                     |
| подземных                                                                      | 12126                     |
| Забор из общего водозабора для перераспределения стока                         | 8000                      |
| Использование пресной воды                                                     | 61771,4                   |
| <i>в том числе:</i>                                                            |                           |
| хозяйственно-питьевые / производственные нужды                                 | 13585,7/33635,3           |
| <i>из них:</i>                                                                 |                           |
| питьевого качества                                                             | 3741,5                    |
| на орошение и обводнение                                                       | 9319,2                    |
| сельскохозяйственное водоснабжение                                             | 1378,2                    |
| другие виды использования (прудовое рыбное хозяйство и т.п.)                   | 3853                      |
| Экономия воды за счет оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, % | 77                        |
| Потери при транспортировке                                                     | 8464                      |
| Безвозвратное водопотребление                                                  | 11300                     |
| Водоотведение в поверхностные водные объекты,                                  | 54800                     |
| <i>из них:</i> загрязненных                                                    | 20700                     |
| <i>в том числе:</i>                                                            |                           |
| без очистки                                                                    | 5100                      |
| недостаточно очищенные                                                         | 15600                     |
| нормативно чистые (без очистки)/нормативно очищенные                           | 31700/2500                |
| Мощности очистных сооружений                                                   | 30368                     |

Хлор (гипохлориты и др. хлорсодержащие агенты) является сильным окислителем, дезинфектантом и дезодорантом. Однако при наличии в воде органических соединений хлорирование приводит к образованию высокотоксичных хлорорганических соединений, в том числе диоксинов.

Проведенные в последнее время обширные исследования показали, что существует статистически достоверная связь между концентрацией хлорорганических соединений в питьевой воде и частотой случаев онкологических заболеваний населения.

В связи с этим во всем мире проводится работа по замене, по крайней мере, на первичной стадии окисления хлора на экологически чистые окислители (озон, пероксид водорода,  $\text{KMnO}_4$ ).

Снижение концентрации хлорорганических соединений в питьевой воде возможно путем сорбции, мембранной очистки и т.д., но наиболее эффективный прием – вообще исключить хлорирование на первой стадии окисления, заменив хлорирование на озонирование, обработку пероксидом водорода и др. Проведенными в ВлГУ исследованиями показано, что применение  $\text{H}_2\text{O}_2$  – наиболее эффективный способ очистки, например воды реки Нерль, в которой содержатся не только гуминовые вещества, но и достаточное количество ионов железа и меди, играющих роль катализатора в пероксидной очистке воды.

Учитывая все возрастающее загрязнение поверхностных источников, для подготовки воды питьевого назначения требуется применение комбинированных методов очистки: механических + физико-химических + окислительных; механических + физико-химических + ионообменных; механических + физико-химических + мембранных и т.д.

Одна из схем очистки воды питьевого назначения приведена на рис. 4.16. Вода после водозабора проходит смешивание с коагулянтами, отстаивание в горизонтальных отстойниках, первичное окисление с применением пероксида водорода, фильтрование в смешанных фильтрах, хлорирование непосредственно перед сбросом в резервуар чистой воды.

Исключение сброса загрязненных сточных вод, защита грунтовых и подземных вод от проникновения фильтратов от свалок и полигонов – вполне решаемые задачи для современного уровня развития науки и техники.

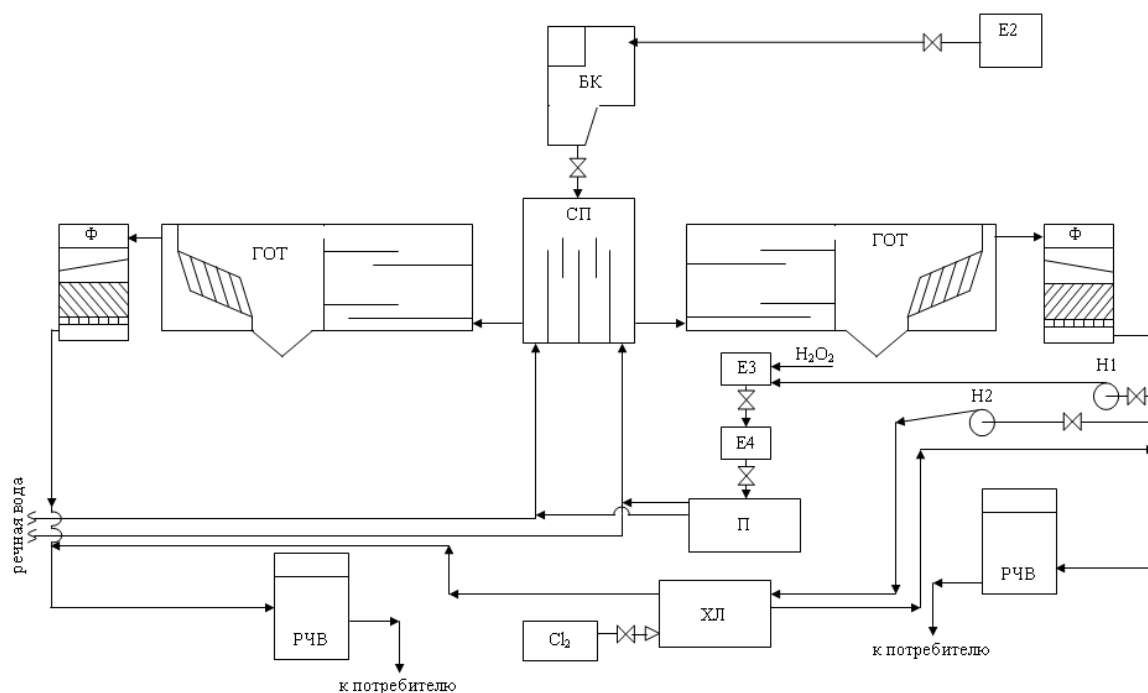


Рис. 4.16. Схема очистки воды питьевого назначения

### Библиографический список

1. Алексеев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / С.В. Алексеев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2002. – 704 с. – ISBN 5-93093-119-4.
2. Трифонова, Т. А. Прикладная экология: учебное пособие для вузов / Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, Н.В. Мищенко. – М.: Академпроект: Традиция, 2007, – 380 с. – ISBN 5-8291-0502-0.
3. Алферова, Л. А. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов / Л.А. Алферова, А.И. Нечаева. – М.: Стройиздат, 1984. – 272 с.
4. Родионов, А.И. Техника защиты окружающей среды: учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, И.С. Торочешников. – М.: Химия, 1989. – 512 с. – ISBN 5-7245-0195-3.
5. Запольский, А. К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды / А.К. Запольский, А.А. Баран. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.
6. Ковалева, Н.Г. Биохимическая очистка сточных вод предприятий химической промышленности / Н.Г. Ковалева, В.Г. Ковалев. – М.: Химия, 1987. – 160 с.

7. *Панин, В.Ф.* Экология для инженера / В.Ф. Панин, А.И. Сечин, В.Д. Федосова. – М.: Ноосфера, 2001. – 284 с.

8. Очистка природных и сточных вод / под ред. Л. Л. Пааль. – М.: Высш. шк., 1994. – 336 с.

9. Россия в окружающем мире. аналитический ежегодник / под общ. ред. Н.Н. Марфенина. – М. : МНЭПУ, 2003. – 335 с.

10. *Семин, В.А.* Основы рационального водопользования и охраны водной среды: учеб. пособие для вузов / В.А. Семин. – М.: Высш. шк., 2001. – 320 с. – ISBN 5-06-004179-4.

## **5. МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

### **5.1. История развития службы наблюдений**

К началу XX столетия российскими гидрометеорологами проводились метеорологические наблюдения на 1416 станциях, морские – в 121 пункте, гидрологические – в 1134 пунктах. Сеть наблюдений располагалась уже не только в европейской части страны, но и в Закавказье, Сибири, Дальнем Востоке, Средней Азии. Но между тем как единая государственная метеорологическая служба России тогда еще не была сформирована и существовала лишь в виде отдельных структур, отнесенных к ведению различных ведомств.

В 1921 г. метеорологическая служба РСФСР включала в себя Главную физическую обсерваторию в Народном комиссариате просвещения и ее филиалы в Павловске, Екатеринбурге, Ташкенте, Иркутске, Аэродинамический институт в Кучино и основную метеорологическую (геофизическую) сеть РСФСР. В ведение Главной физической обсерватории были отнесены вопросы методического руководства и координации метеорологических наблюдений других учреждений и ведомств, ведение единой для страны службы погоды, связь с аналогичными службами стран мира. В этом же году в состав Главной физической обсерватории был передан военно-метеорологический отдел из Народного комиссариата по военным делам.

К 1941 г. гидрометеорологическая служба в стране представляла собой большую научно-оперативную систему, которая объединяла республиканские и местные управления, научно-исследовательские учреждения, высшие и средние специальные заведения, опытный завод гидрометеоприборов, более 200 оперативных органов службы прогнозов погоды и водного режима в крупных городах, около 2700 гидрометеорологических и специализированных станций и более 9000 постов, издательство гидрометеорологической литературы и ряд других учреждений. В этот период в службе работало около 30000 специалистов.

Значительный ущерб нанесла гидрометеослужбе Вторая мировая война – было уничтожено около 3900 постов и станций. Поэтому главной задачей послевоенного периода стояло полноценное восстановление деятельности службы и изменение приоритетов в направлении обслуживания нужд народного хозяйства и населения. После 1945 г. усилилось внимание к обслуживанию сельского и водного хозяйства, гидротехнического строительства, гражданской авиации, морского пароходства и ряда других развивающихся отраслей народного хозяйства, дальнейшее развитие получили научные исследования. Рационализировалась гидрометеорологическая сеть, она развивалась в таких малоизученных районах страны, как Дальний Восток, Сибирь, Арктика.

В 1956 г. была организована первая советская антарктическая экспедиция, которая положила начало систематическим всесторонним исследованиям Антарктики. Передача в 1963 г. в ведение ГУГМС работ по изучению гидрометеорологического режима и по гидрометеорологическому обеспечению мореплавания и авиации в районах Арктики и Антарктики способствовала дальнейшему развитию единой гидрометеорологической сети страны.

Наибольшего развития гидрометеорологическая служба страны достигла к середине 80-х годов XX века. Тогда в ее ведение вместе с вопросами геофизического и гидрометеорологического обеспечения всех областей деятельности государства и населения были включены также вопросы создания системы наблюдений за изменениями природной среды, в том числе мониторингом ее загрязнения. Начиная с этого периода, служба занялась созданием государственной системы

наблюдений и контроля за состоянием природной среды на основе использования новейших результатов научно-технического прогресса, включая массовый переход на использование вычислительной техники и современные информационные технологии. В настоящее время стационарная сеть наблюдений состоит из 1700 пунктов и охватывает крупные водные объекты страны.

*Структура мониторинга водных объектов.* Одной из важных составных частей системы государственного мониторинга окружающей природной среды является государственный мониторинг водных объектов. Он включает в себя мониторинг:

- поверхностных водных объектов суши и моря;
- подземных водных объектов;
- водохозяйственных сооружений и систем.

Государственный мониторинг водных объектов ведется Министерством природных ресурсов, Федеральной службой гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (по поверхностным водным объектам) и другими специально уполномоченными органами в области охраны окружающей среды.

Государственный мониторинг водных объектов осуществляется на единой геоинформационной основе в целях совместимости его данных с данными других видов мониторинга окружающей среды.

## **5.2. Государственный водный кадастр**

Государственный водный кадастр (ГВК) является систематизированным сводом данных о водных ресурсах страны, включающий количественные и качественные показатели, данные регистрации водопользователей и учета использования вод. Ведение ГВК РФ возложено на Федеральное агентство водных ресурсов (постановление Правительства РФ от 16.06.04 № 262). В 2003 г. вышел приказ Росгидромета «О создании информационно-аналитического центра по ведению государственного водного кадастра по разделу «Поверхностные воды».

Основная задача ГВК – обеспечение народного хозяйства необходимыми данными о водных ресурсах, водных объектах, режиме, качестве и использовании природных вод, а также водопользователях.

В Государственный водный кадастр подлежат включению все воды единого государственного фонда:

- ледники и подземные воды;
- воды рек, озер, водохранилищ и других поверхностных водоемов и водных источников, включая каналы и пруды;
- внутренние моря и другие внутренние морские воды;
- территориальные воды.

Основные требования к гидрохимической сети применительно к государственному учету вод являются следующие:

- четкая связь между сетью створов пунктов наблюдений и размещением на них водопользователей (особенно с водоемкими производствами);
- достаточная полнота пространственного охвата водных объектов сетью наблюдений, которые обеспечивают получение соответствующей информации о качестве забираемых водопользователями поверхностных вод, а также данных об изменении качества воды в результате водопользования;
- достаточная частота наблюдений во времени;
- четкая связь перечня определяемых загрязняющих веществ и показателей загрязнения в водном объекте со спецификой состава сточных вод, которые сбрасываются в водный объект основными водопользователями.

Публикуемая часть Государственного водного кадастра включает в себя:

- поверхностные воды (реки и каналы; озера и водохранилища; качество вод суши; селевые потоки; ледники, моря и устья рек);
- подземные воды;
- использование вод.

Каждый раздел состоит из трех серий:

- каталожные данные (разовое издание);
- ежегодные данные (ежегодное издание);
- многолетние данные (издаются один раз в 5 лет).

*Организация наблюдений.* Качество поверхностных вод в системе ГСМОС контролируют в соответствии с правилами, устанавливающими единые требования к построению сети мониторинга водных

объектов, проведению наблюдений и обработки получаемых данных. В основе организации и контроля заложены следующие основные принципы: комплексность и их систематичность, согласованность сроков их проведения с характерными гидрологическими ситуациями, определение показателей качества воды едиными методами. Это достигается благодаря программам контроля (по физическим, химическим, гидробиологическим и гидрологическим показателям). При этом руководствуются следующими методическими материалами: «Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений», «Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши», «Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и др.

Первый этап организации работ по наблюдению и контролю качества поверхностных вод – выбор местоположения пунктов контроля. При этом пункты контроля организуют прежде всего на водоемах и водотоках, имеющих большое хозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению сточными водами. На незагрязненных сточными водами водоемах и водотоках или их участках создают пункты фоновых наблюдений. В пунктах контроля организуют один или несколько створов с учетом гидрометеорологических и морфологических особенностей водоема или водотока, расположения источника загрязнения, с учетом количества, состава и свойств сбрасываемых сточных вод, а также интересов водопользователей.

Перечень наблюдаемых ингредиентов и показатели качества воды определяются главным образом составом и объемом сточных вод, их токсичностью и требованиями, предъявляемыми со стороны потребителей воды. Это обуславливает некоторое различие программ наблюдения для разных пунктов стационарной сети. Обязательными для всех пунктов являются определения температуры воды, взвешенных веществ, минерализации, цветности, рН, растворенного кислорода, БПК<sub>5</sub>, ХПК, запаха, главных ионов, биогенных компонентов, а также распространенных загрязняющих веществ, таких как нефтепродукты, фенолы, пестициды, соединения тяжелых металлов и др.

Все пункты стационарной сети наблюдений подразделяют на четыре категории (для обеспечения оптимальной информации о каче-

стве воды, для оценки изменения уровня загрязнения и оценки эффективности мероприятий по охране окружающей среды):

- к первой категории отнесены пункты, располагающиеся на водных объектах или их участках, имеющих особо важное народно-хозяйственное значение, включая устьевые участки, замыкающие створы основных крупных речных бассейнов, места нерестилищ и зимовий ценных пород рыб;

- ко второй категории отнесены пункты, расположенные на водных объектах: в районе промышленных городов и рабочих поселков, население которых использует воду для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд; на участках массового отдыха населения и т.п., а также пункты на пограничных створах рек, втекающих на территорию РФ из-за рубежа или вытекающих за пределы нашей страны; пункты на замыкающих створах рек, по которым составляются водохозяйственные балансы и т.д.;

- к третьей категории отнесены пункты, расположенные на водных объектах, где воздействие на качество воды носит умеренный и слабый характер;

- к четвертой группе принадлежат пункты стационарной сети наблюдений на водных объектах, не подверженных прямому воздействию загрязнений на качество воды («фоновые» участки).

В зависимости от категории пунктов различаются и сроки наблюдений. На пунктах первой категории наблюдения проводят ежедневно по сокращенной программе и еженедельно – по полной программе; на пунктах второй категории ежедневно ведут только визуальное наблюдение, а полное – ежемесячно; на пунктах третьей категории наблюдения ежемесячные по сокращенной программе, а по полной программе их проводят в основные гидрологические фазы, как и на пунктах четвертой категории. В соответствии с методическими указаниями Госкомгидромета (1984) показатели, которые целесообразно определять в районах воздействия сточных вод некоторых предприятий, включают до 70 наименований.

Следует отметить, что система контроля, основанная на дифференцированном определении концентрации вредных веществ и сопоставлении их с ПДК, малоэффективна, так как во многих случаях при

установлении ПДК учитывается только прямое токсикологическое воздействие и игнорируются существующие косвенные факторы, ответственные за возможные отдаленные последствия. Кроме того, не учитывается, что реальная экологическая ситуация не отражает истинной картины воздействия, так как изолированного действия загрязняющих веществ не существует – действует вся сумма факторов, взаимодействие которых друг с другом может усиливать или ослаблять эффект каждого. К тому же в настоящее время установлено около 1000 ПДК вредных веществ для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и около 700 ПДК ЗВ для рыбохозяйственных водоемов, в то время как число загрязняющих веществ антропогенного происхождения в водоемах и водотоках превысило 1 млн наименований.

Для наблюдения и контроля за загрязнением поверхностных вод суши используется сеть, состоящая из стационарных специализированных станций и временных экспедиционных пунктов. Временный пункт может создаваться для гидрологического наблюдения за несколькими створами – поперечными разрезами через водный объект, на котором проводятся наблюдения.

Все пункты стационарной сети обязательно совмещаются с гидрологическими постами, на которых измеряют расход воды, или с участками, которые обеспечены расчетными гидрологическими данными.

График отбора проб воды зависит от важности пункта наблюдения для народного хозяйства и изменчивости определяемых веществ. Если на водный объект воздействует предприятие, у которого в течение года производственный цикл достаточно стабилен, то сроки проведения наблюдений в основном определяются гидрологическим режимом. При нестабильном характере работы промышленного предприятия частота контроля зависит от режима производства.

При наличии большого перечня веществ, для которых установлены ПДК, наблюдение в первую очередь проводится за теми веществами, выброс которых носит массовый характер (нефтепродукты, фенолы, детергенты, некоторые металлы, особо токсичные вещества и т.д.). Также наблюдению могут подлежать температурный режим водного объекта, минерализация, содержание взвешенных веществ, цвет воды и т.п.

О состоянии экосистемы позволяют судить гидробиологические методы анализа уровней загрязнения поверхностных вод, основу которых составляют наблюдения за зообентосом, зоопланктоном, фитопланктоном, макрофитами.

Следует подчеркнуть, что традиционные методы наблюдений и контроля неоперативны и, кроме того, характеризуют состав загрязнений объектов только в момент отбора проб. К тому же лабораторные анализы достаточно продолжительны (включая время на доставку в лабораторию). Эти методы особенно неэффективны в экстремальных случаях, а также в тех случаях, когда загрязнение значительно по объему.

### **5.3. Виды наблюдений за качеством поверхностных вод**

Существующая система мониторинга включает в себя наблюдения за уровнем загрязненности поверхностных вод по физическим, химическим, гидрологическим и гидробиологическим показателям в режимных пунктах; наблюдения, предназначенные для решения специальных задач.

Для осуществления этих наблюдений необходимы предварительные наблюдения и исследования на водных объектах или их участках и систематические наблюдения на водных объектах в выбранных пунктах.

Основные задачи систематических наблюдений заключаются в следующем:

- обеспечение хозяйственных органов и заинтересованных организаций систематической информацией и прогнозами изменения гидрохимического режима и качества воды водоемов и водотоков, а также экстренной информацией о резких изменениях качества воды;
- систематическое получение отдельных и осредненных во времени и пространстве данных о качестве воды.

К задачам специальных наблюдений можно отнести:

- определения влияния накопленных загрязняющих веществ в донных отложениях на качество воды;
- составление балансов химических веществ водоемов или участков водотоков;

- установление основных закономерностей процессов самоочищения;
- оценка выноса химических веществ с коллекторно-дренажными водами;
- оценка выноса химических веществ через замыкающий створ рек и др.

Порядок проведения наблюдений определяется ГОСТ 17.1.3.07-82 и методическими указаниями (РД 52.24.309-2004). Режимные наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши по химическим, физическим и биологическим показателям осуществляют оперативно-производственные подразделения Роскомгидромета в рамках Общегосударственной службы наблюдений (ОГСН) за загрязнением природной среды. Основными задачами ОГСН являются:

- обеспечение наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши по физическим, химическим и биологическим показателям;
- предоставление государственным органам и заинтересованным организациям систематической информации и прогнозов о загрязненности вод;
- экстренная информация о резких изменениях загрязненности.

На основе режимных наблюдений проводится оценка состояния поверхностных вод суши в государстве с учетом установленных норм качества воды, а также выявление тенденций изменения степени загрязнения поверхностных вод.

Обязательная программа наблюдений предусматривает определение следующих характеристик:

- гидрологических: расход воды, м<sup>3</sup>/с; скорость течения, м/с (при опорных изменениях расхода на водотоках) или уровень, м (на водоемах);
- гидрохимических: визуальные наблюдения; температура, °С; цветность, в градусах; прозрачность, см; запах, баллы; рН; окислительно-восстановительный потенциал, мВ;
- концентрация растворенных в воде газов: кислорода, диоксида углерода, мг/л;
- концентрация взвешенных веществ, мг/л;

- концентрация широко распространенных загрязняющих веществ – соединений металлов, нефтепродуктов, летучих фенолов, мг/л;
- концентрация биогенных элементов: ионов аммония, фосфатов, кремния, нитритов и нитратов, железа общего, мг/л;
- концентрация главных ионов: хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция, магния, натрия, калия, сумма ионов, мг/л;
- химическое потребление кислорода (ХПК), мг/л;
- биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>), мг/л.

Несмотря на то что в России гидробиологический анализ состояния водных экосистем имеет давние традиции, существует много проблемных моментов в организации и осуществлении водного мониторинга, включая разработку точных методов анализа по физическим и химическим показателям, а также по интегральной оценке качества вод.

Важно решить проблему контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям с точки зрения обеспечения возможностей прямой оценки состояния водных экосистем, испытывающих на себе вредное влияние антропогенных факторов.

Программа наблюдений по биологическим показателям включает в себя определение следующих показателей:

**- по зоопланктону:**

- общая численность организмов, экз/м<sup>3</sup>;
- численность основных групп, экз/м<sup>3</sup>;
- общая биомасса, мг/м<sup>3</sup>;
- общее число видов;
- число видов в группе;
- биомасса основных групп, мг/м<sup>3</sup>;
- массовые виды и виды – индикаторы сапробности (наименование, процент от общей численности, сапробность);

**- по зообентосу:**

- общая численность организмов, экз/м<sup>3</sup>;
- численность основных групп, экз/м<sup>3</sup>;
- общая биомасса, г/м<sup>3</sup>;
- количество групп по стандартной разборке;
- общее число видов;
- число видов в группе;

биомасса основных групп, г/м<sup>3</sup>;

массовые виды и виды – индикаторы сапробности (наименование, процент от общей численности, сапробность);

**- по фитопланктону:**

общая численность клеток, 10<sup>3</sup> кл/см<sup>3</sup> (кл/мл);

численность основных групп, 10<sup>3</sup> кл/см<sup>3</sup> (кл/мл);

общая биомасса, мг/дм<sup>3</sup>;

общее число видов;

число видов в группе;

биомасса основных групп, мг/дм<sup>3</sup>;

массовые виды и виды – индикаторы сапробности (наименование, процент от общей численности, сапробность);

**- по перифитону:**

общее число видов;

массовые виды, частота встречаемости, сапробность;

**- по микробиологическим показателям:**

общее количество бактерий, 10<sup>6</sup> кл/см<sup>3</sup> (кл/мл);

количество сапрофитных бактерий, 10<sup>3</sup> кл/см<sup>3</sup> (кл/мл);

отношение общего количества бактерий к количеству сапрофитных бактерий;

**- по интенсивности фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества:**

интенсивность фотосинтеза, мг/(л·сут.) в пересчете на кислород или углерод;

деструкция органического вещества, мг/(л·сут.) в пересчете на кислород или углерод;

отношение интенсивности фотосинтеза к деструкции органического вещества;

содержание хлорофилла, мкг/л;

по интенсивности потребления органических веществ, мкг/(л·ч) в пересчете на углерод;

по активности щелочной фосфатазы и эстераз сестона, мкМ/(л·ч) альфанатола;

**- по макрофитам:**

проективное покрытие опытной площадки (100 м<sup>2</sup>);

характер распространения растительности;  
общее число видов;  
преобладающие виды;

**- по токсикологическим показателям:**

биотестирование острой и хронической токсичности на дафнии магна, время гибели 50 % дафний при экспонировании в исследуемой воде;

биотестирование на водорослях, изменение общей численности клеток более чем на 50 % при экспонировании в исследуемой воде.

Таким образом, программа гидробиологического мониторинга пресноводных экосистем предусматривает наблюдения по всем основным подсистемам: фитопланктону, макрофитам, зоопланктону, зообентосу, микрофлоре. При этом пункты гидробиологических наблюдений выбирают в соответствии с общими принципами их размещения и контроля в системе национального мониторинга состояния окружающей среды. Под особенно тщательный контроль берут водные объекты или их участки, подверженные значительному загрязнению, для фоновых наблюдений – с наименьшей антропогенной нагрузкой. В большинстве пунктов наблюдений гидробиологические пробы отбирают на двух и более створах, при этом учитывают как горизонтальное, так и вертикальное распространение загрязнения.

Бассейновые (территориальные) органы контролируют и координируют *мониторинг водохозяйственных систем и сооружений*: гидротехнических сооружений плотин, гидроузлов, накопителей сточных вод, мелиоративных систем, водозаборных и водосбросных сооружений, а также за качеством и количеством сточных вод, сбрасываемых в водные объекты; эти органы участвуют также в мониторинге при экстремальном загрязнении водных объектов для оперативного оповещения о загрязнении нижележащих водозаборов питьевого водоснабжения, прогнозирования распространения загрязнения и его влияния на состояние водного объекта.

*Мониторинг загрязнения морей.* Морские станции наблюдения за уровнем загрязнения подразделяют на 3 категории в зависимости от народнохозяйственной значимости водного объекта. В конце 70-х гг. XX в. сеть контроля охватывала все внутренние и омывающие моря и со-

стояла из 60-70 станций первой категории, 570-600 станций второй категории и 1000 – 1100 станций третьей категории.

В 1985 г. создана Программа комплексного глобального мониторинга Мирового океана (МОНОК). Исследования по этой программе проводят в разных климатических зонах океана, отличающихся продуктивностью экосистем и основными закономерностями их функционирования, а также уровнем антропогенной нагрузки (импактные и фоновые районы). Необходимое условие проведения исследований по этой программе – использование стандартных методов, позволяющих получить сопоставимые результаты.

### **Библиографический список**

1. *Авалиани, С. Л.* Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт) / С.Л. Авалиани. – М.: ЦОПРСИ, 1997.
2. *Афанасьев, Ю. А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М.: МНЭПУ, 1998. – 208 с.
3. *Трифенова, Т. А.* Аэрокосмический мониторинг окружающей среды и лазерное дистанционное зондирование: учеб. пособие для вузов / Т.А. Трифенова, Л.Т. Сушкова, С.М. Аракелян; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1995. – 116 с.
4. *Большаков, В. Н.* Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем / В.Н. Большаков [и др.] // Экология. – 1998. – № 5. – С. 14 – 18.
5. Временная методика определения предотвращения экологического ущерба: утв. 9.03.99. – М.: Госкомэкология, 1999. – 50 с.
6. *Гершензон, В. Е.* Информационные технологии в управлении качеством среды обитания / В.Е. Гершензон, Е.В. Смирнова, В.В. Элиас. – М.: АСАДЕМА, 2003. – 288 с.
7. *Добровольский, Г. В.* Почвенно-экологический мониторинг и биоразнообразие / Г.В. Добровольский, Д.С. Орлов, Б.Р. Строгонова // Мониторинг биоразнообразия. – М.: Изд-во РАН, 1997. – С. 43 – 49.
8. *Жмур, Н. С.* Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России / Н.С. Жмур. – М.: Междунар. дом сотрудничества, 1997. – 117 с.

9. *Израэль, Ю. А.* Контроль окружающей среды / Ю.А. Израэль. – М.: Гидрометеиздат, 1990. – 121 с.
10. *Израэль, Ю. А.* Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 138 с.
11. *Келлер, А. А.* Медицинская экология / А.А. Келлер, В.И. Кувакин. – СПб.: Петроградский К°, 1998. – 256 с. – ISBN 5-88143-050-6.
12. Комплексный глобальный мониторинг загрязнений окружающей природной среды // Труды 2-го Международного симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 258 с.
13. Космическое земледование: Диалог природы и общества. Устойчивое развитие / под ред. В.А. Садовниченко. – М.: МГУ, 2000. – 278 с.
14. Космические методы картографирования / под ред. Ю.Ф. Книжникова. – М.: Гидрометеиздат, 1995. – 240 с.
15. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М.: Минприроды России, 1992. – 25 с.
16. *Майстренко, В.Н.* Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов / В.Н. Майстренко, Р.З. Хамитов, Г.К. Будников. – М.: Химия, 1996. – 319 с.
17. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод : сб. тр. – Л.: ГХИ, 1987. – 160 с.
18. *Семин, В. А.* Основы рационального водопользования и охраны водной среды / В.А. Семин. – М.: Высш. шк., 2001. – 320 с. – ISBN 5-06-004179-4.
19. *Трифенова, Т. А.* Комплексный системный анализ при оценке медико-экологической ситуации региона на основе ГИС-технологий / Т.А. Трифенова // Экология человека: от прошлого к будущему: сб. материалов Всерос. науч. конф. / под ред. Б.Б. Прохорова, Л.С. Белоконь. – М.: МНЭПУ, 2000. – С. 25 – 29.
20. *Д. Kormondy E.J.* Concepts of Ecology. Prentice-Hall. Inc, 1984.- 247p.
21. *Martin, Sella F.* The development and implementation of the global Environmental monitoring system. – Doc. VNEP, Nairobi, 1977.
22. *Raven P.H., Wilson E.O.* A 50-year plan for biodiversity surveys. // Science. Vol. 258. p

## **6. ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОСИСТЕМ МАЛЫХ РЕК МЕТОДАМИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА [1]**

Проблема экологического мониторинга рек, являющихся основными путями аккумуляции и транзита загрязняющих веществ, является весьма актуальной для индустриальных регионов, к которым относится Владимирская область.

Река Клязьма – основная водная артерия Владимирской области. Качество воды в р. Клязьма формируется под влиянием нескольких факторов: значительного негативного воздействия промышленных предприятий Московской области в верхнем течении реки; сброса недостаточно очищенных сточных вод предприятиями Владимирской области; смыва загрязняющих веществ поверхностными и ливневыми стоками с территории водосборного бассейна.

По данным гидрохимического мониторинга в последние десятилетия р. Клязьма была подвержена сильному антропогенному загрязнению на всем своем протяжении. Качество воды в реке и ее притоках характеризовалось от «загрязненной» до «чрезвычайно грязной». К характерным загрязнителям относятся биогенные элементы, нефтепродукты, тяжелые металлы, особенно медь и цинк. При этом наиболее высокие кратности превышения ПДК наблюдаются в створе на границе с Московской областью, ниже по течению качественный состав реки улучшается за счет самоочищения и разбавления более чистыми водами притоков.

Значительное количество загрязняющих веществ поступает в Клязьму в черте г. Владимира с водами ее притока – р. Рпени, испытывающей значительную техногенную нагрузку. Площадь бассейна р. Рпень составляет 273 км<sup>2</sup>, из них около 55 км<sup>2</sup> (или 20 %) занимает г. Владимир. 77 % площади г. Владимира находится в бассейне р. Рпень. Бассейн подвергается интенсивному антропогенному вмешательству в южной, устьевой части, а также в пределах притока р. Содышка.

Водоотведение использованных вод в бассейне р. Рпень осуществляется в канализацию г. Владимира и в реки бассейна р. Рпень. Поступают воды либо недостаточно очищенные, либо они сбрасыва-

ются без очистки. В р. Рпень непосредственно или через впадающие овражки в последние годы сбрасывали стоки после локальных очистных сооружений промышленные предприятия города: ОАО НПО «Магнетон»; ОАО «ВЭМЗ»; ОАО «Электроприбор»; ОАО «ВТЗ»; ФГУП ВПО «Точмаш»; комбинат «Тепличный»; ТЭЦ; ОАО «Владимирэнерго», ОП «Тепловые сети». В истоке р. Содышка имеются очистные сооружения двух птицефабрик – «Юрьевецкой» и «Центральной». Во время весенних паводков и дождей происходит загрязнение водохранилища р. Содышка стоками с прилегающей территории у автомобильной магистрали Москва – Нижний Новгород.

Химические анализы качества вод свидетельствуют о том, что концентрации загрязняющих веществ в реках бассейна р. Рпень превышают ПДК для рыбохозяйственных водоемов в 2 – 30 раз по железу, тяжелым металлам, нефтепродуктам и др. и с течением времени не уменьшаются.

Возможность оценки изменений, происходящих под действием техногенных факторов, дает комплексное использование методов экологического мониторинга: химического анализа воды и донных осадков, изучения видового разнообразия в экосистеме, исследования микроэлементного состава гидробионтов. Ценную информацию о характере загрязнения может дать также использование методов дистанционного зондирования.

Проведенное изучение транзитного загрязнения территории бассейна р. Рпень с использованием данных космодатасъемки показало, что вдоль долины р. Рпень проходит основное направление распространения загрязняющих веществ выбросов промышленных предприятий г. Владимира с воздушными массами и осадение основной массы загрязнений происходит на водосборной территории р. Рпень. Атмосферное загрязнение, таким образом, усугубляет загрязнение реки сточными водами промышленных предприятий.

Полученные данные гидрохимического мониторинга р. Рпень на всем ее протяжении показывают значительное ухудшение качества воды в черте г. Владимира и максимальное загрязнение при впадении в р. Клязьма. Об этом свидетельствует увеличение электропроводности воды и резкое повышение концентраций железа (III), меди, цинка

и хлоридов. Уровень загрязнения характеризуется превышением ПДК для водохозяйственных водоемов по меди в 80 – 100 раз, цинку – в 2 – 30 раз, железу (III) – в 8 – 15 раз (табл. 6.1).

Загрязнение воды р. Рпень приводит к заметному снижению видового разнообразия фауны реки (табл. 6.2). Класс качества воды по биотическому индексу соответствует « 2 » – « 3 » за пределами города Владимира и далее изменяется до « 4 » – « 5 » в черте города и устье реки.

Таблица 6.1

Результаты химического анализа и измерения  
электропроводности воды реки Рпень

| Номер створа | Место отбора пробы                               | $\text{Cu}^{2+}$ , мг/л | $\text{Zn}^{2+}$ , мг/л | $\text{Fe}^{3+}$ , мг/л | $\text{Cl}^-$ , мг/л | Электропроводность, $\text{C}_\text{м}$ |
|--------------|--------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| 1            | Исток р. Рпень, д. Тарбаево                      | 0,0003                  | н/о                     | 0,10                    | 4,0                  | 0,020                                   |
| 2            | Устье р. Сдеришка, пос. Садовый                  | 0,0005                  | н/о                     | 0,09                    | 7,5                  | 0,040                                   |
| 3            | Устье р. Содышка, пос. Сновицы                   | 0,01                    | н/о                     | 0,125                   | 39                   | 0,037                                   |
| 4            | р. Рпень, пос. Сновицы                           | 0,001                   | 0,01                    | 0,30                    | 20                   | 0,040                                   |
| 5            | р. Рпень, а/мост трассы Москва – Нижний Новгород | 0,005                   | н/о                     | 0,45                    | 25                   | 0,046                                   |
| 6            | р. Рпень, а/мост ул. Фрунзе, г. Владимир         | 0,01                    | 0,03                    | 0,50                    | 25                   | 0,051                                   |
| 7            | Устье р. Рпень, г. Владимир                      | 0,10                    | 0,30                    | 1,50                    | 67                   | 0,087                                   |

Таблица 6.2

Видовое разнообразие фауны р. Рпень

| Номер створа | Место отбора гидробионтов   | Представители речной фауны                                                                                                                                                     |
|--------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | Исток р. Рпень, д. Тарбаево | Губка (речная бодяга), личинки ручейников (гидропсиха, риакфила, нейреклипсис), затворки, личинки стрекозы (дедка), личинки мошек, беззубка, перловица, губка (озерная бодяга) |

Окончание табл. 6.2

| Номер створа | Место отбора гидробионтов                        | Представители речной фауны                                                                                                                                                                                  |
|--------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2            | Устье р. Сдеришка, пос. Садовый                  | Губка (речная бодяга), плоские пиявки (улитковая), червеобразные пиявки (малая и большая ложноконские), прудовик катушка, беззубка, перловица, личинки комара-звонца (мотыль), личинки ручейника (анаболия) |
| 3            | Устье р. Содышка, пос. Сновицы                   | Губка (речная бодяга), личинки ручейников (риакофила, нейреклипсис, анаболия), личинки стрекозы (дедка, красotka)                                                                                           |
| 4            | р. Рпень, пос. Сновицы, ниже устья р. Содышка    | Губка (речная бодяга), личинки ручейников (риакофила, нейреклипсис, анаболия), личинки стрекозы (дедка, красotka), плоские пиявки                                                                           |
| 5            | р. Рпень, а/мост трассы Москва – Нижний Новгород | Личинки ручейников (гидропсиха, анаболия), личинки стрекозы (дедка), прудовик катушка, беззубка, перловица, губка (речная бодяга), затворки                                                                 |
| 6            | р. Рпень, а/мост ул. Фрунзе, г. Владимир         | Червеобразные пиявки (малая и большая ложноконские), личинки мошек                                                                                                                                          |
| 7            | Устье р. Рпень, г. Владимир                      | Личинки комара-звонца (мотыль), личинки мошек                                                                                                                                                               |

Поскольку известно, что техногенное загрязнение практически всегда проявляется в накоплении целого ряда химических элементов в различных объектах окружающей среды и биоте, с целью определения уровня накопления тяжелых металлов было проведено исследование микроэлементного состава гидробионтов в р. Рпень, а также в р. Клязьме выше и ниже города Владимира.

Так, в гидробионтах р. Рпень был исследован микроэлементный состав беспозвоночных индикаторных организмов, обнаруживаемых в створах, и рассчитаны коэффициенты накопления элементов в гидробионтах (табл. 6.3). В целом полученные данные свидетельствуют об увеличении коэффициентов накопления с ростом концентрации загрязнителя в речной воде. Однако реакция различных гидробионтов на увеличение содержания тяжелых металлов в

воде неодинакова. Для одних индикаторных организмов (беззубки, перловицы, прудовик-катушка) наблюдается увеличение коэффициентов накопления по мере повышения концентрации поллютанта в среде до определенного предела, превышение которого делает среду непригодной для существования данного вида; для других гидробионтов (большая и малая ложноконские пиявки) фиксируется уровень загрязнения среды, при котором происходит уменьшение коэффициента накопления токсикантов, что, вероятно, свидетельствует об адаптационных возможностях для выживания вида в условиях высокого загрязнения среды.

Таблица 6.3

Коэффициенты накопления химических элементов в гидробионтах

| Номер<br>створа | Вид<br>гидробионта                  | Содержание химических элементов в теле гидробионтов, мг/кг |                       |                  |                 | Коэффициент накопления<br>$K = C_r / C_v$ , мг/мг |                  |                  |                 |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|---------------------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
|                 |                                     | Fe <sup>3+</sup>                                           | Cu <sup>2+</sup><br>+ | Zn <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | Fe <sup>3+</sup>                                  | Cu <sup>2+</sup> | Zn <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> |
| 1               | Беззубка<br>перловица               | 15                                                         | 0,06                  | 0,26             | 0,55            | 170                                               | 210              | -                | 0,1             |
| 2               | То же                               | 53                                                         | 0,34                  | 0,81             | 14              | 530                                               | 680              | -                | 1,9             |
| 5               | То же                               | 330                                                        | 1,5                   | 5,3              | 91              | 1900                                              | 390              | 52000            | 2,8             |
| 2               | Прудовик<br>катушка                 | 17                                                         | 1,5                   | 1,9              | 14              | 170                                               | 3060             | -                | 1,9             |
| 5               | То же                               | 428                                                        | 33                    | 12               | 140             | 2500                                              | 8300             | 12550            | 4,4             |
| 2               | Большая и малая ложноконские пиявки | 350                                                        | 6,8                   | 23               | 9,5             | 3500                                              | 1300             | -                | 1,2             |
| 6               | То же                               | 860                                                        | 84                    | 230              | 110             | 1150                                              | 1050             | 3600             | 2,0             |

Накопление тяжелых металлов в организмах гидробионтов определяется сложными процессами их поглощения, распределения, детоксикации и выведения. Наблюдаются значительные различия как в накоплении металлов в организмах рыб разных видов, так и в различных органах и тканях рыб одного вида, что, очевидно, связано с различными условиями обитания, особенностями питания и особенностями метаболизма. Вне зависимости от вида преимущественное на-

копление меди происходит в печени рыб, накопление цинка происходит как в печени, так и в жабрах и чешуе, никель и свинец преимущественно депонируются в чешуе. Характерно отсутствие накопления хрома в органах и тканях рыб даже при весьма высоком его содержании в абиотических средах, не обнаруживается также заметного накопления в мышцах и органах рыб кадмия.

Полученные нами результаты определения содержания тяжелых металлов в образцах рыб из р. Клязьма (табл. 6.4) свидетельствуют о невысоком в целом содержании тяжелых металлов в мышцах рыб, не превышающем в большинстве случаев ПДК для рыбных продуктов.

Таблица 6.4

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях леща, отловленного в р. Клязьма (мг/кг сырой массы)

| Элемент          | Ткани и органы | Выше г. Владимира | Ниже г. Владимира |
|------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| $\text{Cu}^{2+}$ | Мышцы          | 0,58              | 0,81              |
|                  | Печень         | -                 | 13,0              |
|                  | Жабры          | 24,4              | 0,61              |
|                  | Чешуя          | 1,54              | -                 |
| $\text{Zn}^{2+}$ | Мышцы          | 1,85              | 3,34              |
|                  | Печень         | -                 | 17,5              |
|                  | Жабры          | 30,4              | 8,50              |
|                  | Чешуя          | 30,6              | -                 |
| $\text{Ni}^{2+}$ | Мышцы          | 1,62              | 0,43              |
|                  | Печень         | -                 | 1,92              |
|                  | Жабры          | 3,7               | 4,20              |
|                  | Чешуя          | 4,43              | -                 |
| $\text{Pb}^{2+}$ | Мышцы          | 0,52              | 0,57              |
|                  | Печень         | -                 | 1,22              |
|                  | Жабры          | 3,33              | 1,72              |
|                  | Чешуя          | 5,30              | -                 |
| $\text{Cd}^{2+}$ | Мышцы          | 0,056             | 0,041             |
|                  | Печень         | -                 | 0,157             |
|                  | Жабры          | 0,259             | 0,108             |
|                  | Чешуя          | 0,323             | -                 |

«-» – отсутствие данных, погрешность анализа  $\pm (5 - 10) \%$

Сравнение содержания тяжелых металлов в органах и тканях одновозрастных рыб, отловленных на различных участках р. Клязьма, показывает, что в точках отбора проб выше и ниже города Владимира по течению реки разница в содержании тяжелых металлов в гидробионтах незначительна. Учитывая достаточно однородный характер фотоизображения водной поверхности на космоснимках, полученных при дистанционном зондировании, можно заключить, что характер загрязнения данного участка реки в большей степени определяется техногенной нагрузкой в верхнем ее течении, чем непосредственным влиянием города.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что особенности техногенного загрязнения рек, выявленные методами химического анализа воды, проявляются в изменении видового разнообразия речной фауны, накоплении ряда тяжелых металлов в организмах гидробионтов, а также находят отражение в изменении характера фотоизображения водной поверхности на космоснимках.

Комплексное использование методов гидрохимического, биологического и дистанционного мониторинга позволяет оценить техногенную нагрузку на водные экосистемы и степень их деградации.

## **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Дайте классификацию загрязнений окружающей среды.
2. Схематично покажите большой круговорот воды (гидрологический цикл).
3. Из чего складываются запасы пресной воды?
4. Оцените водные ресурсы России.
5. Как Вы понимаете процесс эвтрофикации водоема?
6. Какие основные источники антропогенного загрязнения гидросферы Вы можете назвать?
7. Водохозяйственный комплекс и перспективы его развития.
8. Классификация водопользователей.
9. Водохозяйственный баланс и его составляющие. Виды ВХБ.
10. Каковы основные источники техногенного загрязнения окружающей среды?
11. Какой ущерб окружающей среде наносят предприятия топливно-энергетического комплекса, предприятия черной и цветной металлургии, газовой и других отраслей промышленности?
12. Что означает термин предельно-допустимая концентрация (ПДК)?
13. Перечислите нормативные требования к качеству воды.
14. В чем сущность методов ионообменной очистки воды?
15. Расскажите о механических методах очистки воды. Как они используются?
16. Перечислите физико-химические методы очистки воды.
17. Какие методы биохимической очистки воды Вы знаете?
18. Каковы основные направления рационального водопользования?
19. Назовите электрохимические методы очистки сточных вод.
20. Перечислите основные стадии подготовки воды питьевого назначения.
21. В чем заключается нейтрализация сточных вод? Назовите основные реагенты, применяемые для нейтрализации кислых и щелочных сточных вод.
22. Как рассчитать степень очистки сточных вод?

23. Для каких целей применяют коагулянты и флокулянты при очистке сточных вод? Назовите наиболее распространенные коагулянты.

24. Какие методы очистки воды с помощью пористых мембран Вы знаете?

25. Назовите наиболее эффективные методы очистки нефтесодержащих сточных вод.

26. Каковы природные загрязнители источников питьевого водоснабжения?

27. Какие «экологически чистые» окислители можно применять при очистке воды питьевого назначения?

28. Какие показатели характеризуют водопотребление и водоотведение по Российской Федерации?

29. Что такое «экологический мониторинг» и что может быть объектом экологического мониторинга?

30. Каковы задачи экологического мониторинга?

31. Как подразделяется мониторинг по масштабу наблюдений и характеру обобщения информации?

32. Каковы системы мониторинга по методам наблюдения?

33. В чем заключается суть дистанционного экологического мониторинга?

34. Как классифицируются системы мониторинга?

35. Каковы особенности комплексного экологического мониторинга?

36. Для каких целей создана Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС)?

37. Каковы задачи Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ)?

38. Какие основные задачи должна решать автоматизированная система мониторинга загрязнения окружающей среды?

39. Каковы задачи производственного и общественного экологического мониторинга?

40. Что такое «точечный мониторинг»?

41. Что обозначают ПДС, ПДК? Как рассчитать ПДС?

42. Какими методическими указаниями руководствуются при организации мониторинга водных объектов?

43. Как организована стационарная сеть наблюдений качества поверхностных вод?

44. В чем заключается гидробиологический мониторинг водных экосистем?

45. Как осуществляется мониторинг загрязнения морей?

46. Как рассчитывается индекс загрязнения поверхностных вод?

47. Какие задачи решаются методами экотоксикологии?

48. Какие вещества относят к экотоксикантам (ксенобиотикам)?

49. Какое воздействие на организмы оказывают загрязняющие вещества?

50. В чем заключаются канцерогенные свойства тяжелых металлов?

51. Каковы особенности трансформации тяжелых металлов и их соединений в различных средах?

52. Какие органические соединения относятся к супертоксикантам, каковы их химические особенности?

53. Каковы особенности токсического воздействия на организмы супертоксикантов?

54. Что такое биотестирование и какие организмы используются в качестве биотестов?

55. В чем заключаются преимущества живых индикаторов?

56. Какие показатели регистрируются у различных биотестеров?

57. Как можно определить понятие «биоразнообразие» и что такое мониторинг биоразнообразия?

58. Как организуется мониторинг биоразнообразия?

59. В чем суть экологического нормирования?

60. Каковы цели медико-экологического районирования?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Общие закономерности разбавления сточных вод. Расчет ПДС\*

Разбавление сточных вод – процесс снижения концентраций загрязняющих веществ в водотоках и водоемах, протекающий вследствие перемешивания сточных вод с окружающей водной средой.

Интенсивность процесса разбавления количественно характеризуется кратностью разбавления  $n$ , которая равна отношению суммы (расходов сточной воды  $q_{\text{ст}}$  и окружающей водной среды  $Q$ ) к расходу сточной воды

$$n = \frac{Q + q_{\text{ст}}}{q_{\text{ст}}} \quad (1)$$

или отношением избыточных концентраций загрязнений в месте выпуска к аналогичным концентрациям в рассматриваемом сечении водотока:

$$n = \frac{C_{\text{ст}} - C_{\text{в}}}{C - C_{\text{в}}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{ст}}$  – концентрация загрязняющих веществ в сточной воде,  $\text{г/м}^3$ ;

$C_{\text{в}}$  – концентрация загрязняющих веществ в водоёмах до выпуска сточных вод,  $\text{г/м}^3$ ;

$C$  – концентрация загрязняющих веществ сточной воды в рассматриваемом сечении водотока после выпуска сточных вод,  $\text{г/м}^3$ .

Для водотоков выражение (1) записывается также в виде

$$n = \frac{\gamma \cdot Q_{\text{в}} + q_{\text{ст}}}{q_{\text{ст}}},$$

где  $\gamma$  – безразмерный коэффициент смешения, показывающий, какая часть расчетного расхода водотока участвует в смешении, при этом  $\gamma \leq 1$ ;

$Q_{\text{в}}$  – расчетный расход водотока,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

---

\* Методика расчета предельно-допустимых сбросов ( ПДС) веществ в водные объекты со сточными водами. – М.: Госкомитет по охране природы, 1990. – 113 с.

Распространение примесей происходит в направлении господствующих течений, и в этом же направлении кратность разбавления имеет тенденцию к увеличению. Так, в начальном сечении (в месте выпуска) кратность разбавления  $n_H = 1$  ( $Q = 0$  или  $C = C_{ст}$ , а затем по мере увеличения расходов жидкости концентрация примеси снижается, а кратность разбавления растет. В пределе, когда в процесс перемешивания вовлекаются все возможные для данного водного объекта расходы воды, наступает полное перемешивание. В условиях полного перемешивания концентрация загрязняющих веществ стремится к фоновой, т.е.  $C \rightarrow C_B$ .

Участок водоёма или водотока от места выпуска сточных вод до сечения, где произойдет их полное перемешивание, условно разделяют на три зоны:

1-я зона – начальное разбавление. Здесь процесс разбавления происходит вследствие увеличения окружной скорости жидкости турбулентным струйным потоком, образующимся при истечении сточной воды из оголовка выпуска. В конце первой зоны разность скоростей струйного потока и окружающей среды становится незначительной.

2-я зона – основное разбавление. Степень разбавления в этой зоне определяется интенсивностью турбулентного обмена.

3-я зона – в этой зоне разбавления сточной воды практически нет. Снижение концентраций загрязняющих веществ происходит в основном за счет процессов самоочищения воды.

Пусть концентрация загрязняющих веществ в 1-м створе равна  $C_1$ , во втором –  $C_2$ , при этом  $C_1 > C_2$ . Тогда начальное разбавление составит:

от места выпуска до первого створа

$$n_H = \frac{C_{ст} - C_B}{C_1 - C_B}. \quad (2)$$

Основное разбавление  $n_0$  от первого до второго створа

$$n_0 = \frac{C_1 - C_B}{C_2 - C_B}, \quad (3)$$

а общее разбавление на общем участке

$$n = \frac{C_{ст} - C_B}{C_2 - C_B}. \quad (4)$$

Решая уравнение (2) относительно  $(C_{\text{ст}} - C_{\text{в}})$ , а уравнение (3) относительно  $(C_2 - C_{\text{в}})$  и подставляя результаты в уравнение (4), получим:  $n = n_{\text{н}} \cdot n_0$ .

Таким образом, решить задачу о разбавлении сточной воды в водотоке или водоёме – означает определить концентрацию одного или нескольких загрязняющих веществ в любой точке локальной зоны водного объекта, подверженной влиянию сточных вод.

При этом нужно:

- 1) установить картину распространения загрязняющих веществ в водотоке под влиянием сброса сточных вод с учетом гидродинамических факторов;
- 2) выявить влияние естественных факторов на процесс разбавления с целью наилучшего использования местных условий для его регулирования;
- 3) определить возможность применения искусственных мероприятий для интенсификации разбавления сточных вод.

Факторы, определяющие процесс разбавления сточных вод в водотоках и водоёмах

Разбавление сточных вод в водотоках определяется комплексным влиянием следующих трех процессов:

- распределение сточных вод в начальном сечении водотока, которое зависит от конструкции выпускного сооружения;
- начальное разбавление сточных вод, протекающее под действием турбулентных струй;
- основное разбавление сточных вод, определяющееся гидродинамическими процессами водоёмов и водотоков.

Все факторы и условия, характеризующие процесс разбавления, можно разделить на две группы:

*1-я группа* – конструктивные и технологические особенности выпуска сточных вод (конструкция выпускного сооружения; число, форма и размеры выпускных отверстий; расход и скорость выпускаемых сточных вод; технология и санитарные показатели сточных вод (физические свойства, концентрация загрязняющих веществ и др.);

*2-я группа* – гидрометеорологические особенности водоёмов и водотоков (характер движения водных масс; причины, вызывающие

эти движения (сток, ветер, температура, плотность и т.д.; морфологические характеристики русла водотока или ложа водоёма; степень проточности водоёма; состав и свойства водной среды).

Например, из факторов первой группы установлено, что разбавление протекает более интенсивно при рассеивающих выпусках. Из физических свойств сточной воды наибольшее влияние на разбавление оказывают начальная плотность и температура, причем не их абсолютные значения, а разность между параметрами сточной воды и окружающей водной среды.

Из факторов второй группы существенное значение имеют вторичные течения, которые имеют место, например, на повороте русла, когда потоки движутся не только в основном, но и обратном направлении.

#### Расчет предельно-допустимого сброса (ПДС) для водотоков

$$\text{ПДС} = C_{\text{ПДС}} q^1, \text{ г/ч},$$

где  $C_{\text{ПДС}}$  – концентрация примеси в сточной водах, при которой в конкретных условиях водоотведения не превышаются нормы качества воды в расчетных (контрольных) створах, г/м<sup>3</sup>;

$q^1$  – максимальный часовой расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч.

Расчетные створы для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования находятся в 1 км выше по течению от ближайшего пункта водопользования.

Для объектов рыбохозяйственного водопользования расчетные створы располагаются не далее чем в 500 м от створа сброса сточных вод.

$$C_{\text{ПДС}i} = n \cdot (\text{ПДК}_i - C_{\text{фи}}) + C_{\text{фи}},$$

где  $n$  – кратность общего разбавления;

$n = n_n \cdot n_0$  ( $n_n$  – кратность начального разбавления;  $n_0$  – кратность основного разбавления; при решении задач принимаем  $n_n \approx 1$ );

$C_{\text{фи}}$  – фоновая концентрация примеси в водном объекте выше сброса сточных вод, г/м<sup>3</sup>:

$$n_0 = \frac{q + \gamma \cdot Q}{q},$$

$$\gamma = \frac{1 - \ell^{-a\sqrt[3]{\ell}}}{1 + \frac{Q}{q} \ell^{-a\sqrt[3]{\ell}}},$$

где  $\gamma$  – коэффициент смешения;

$q$  – расход сточной воды, м<sup>3</sup>/с;

$Q$  – расход воды в водотоке, м<sup>3</sup>/с (минимальный расход 95 %-й обеспеченности для наиболее маловодного месяца гидрологического года);

$\ell$  – расстояние по фарватеру от створа выпуска сточных вод до расчетного створа, м;

$a$  – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения:

$$a = \varphi \cdot \zeta \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad \varphi - \text{коэффициент извилистости реки};$$

$\varphi = 1 / \ell_{\text{пр}}$  ( $\ell_{\text{пр}}$  – расстояние от створа выпуска сточных вод до расчетного створа по прямой),  $\zeta$  – коэффициент, учитывающий условия выпуска сточных вод ( $\zeta = 1$  – выпуск у берега или  $\zeta = 1,5$  – выпуск в стрежень);  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $D = (V_{\text{ср}} \cdot h_{\text{ср}}) / 200$ , где  $V_{\text{ср}}$  – средняя скорость течения реки, м/с;  $h_{\text{ср}}$  – средняя глубина реки на участке от створа выпуска до расчетного створа, м.

Для приближенных расчетов принимают  $D = 0,005$  м<sup>2</sup>/с (средние условия смешения, равнинные реки);  $D = 0,02$  м<sup>2</sup>/с (интенсивные условия смешения, горные реки).

#### Расчет концентрации $C_p$ в произвольном створе

Уравнение материального баланса примеси

$$C_{\text{ст}} \cdot q = C_p \cdot (\gamma \cdot Q + q) - C_{\text{ф}} \cdot \gamma \cdot Q.$$

$$\text{Отсюда: } C_p = \frac{C_{\text{ст}} \cdot q + C_{\text{ф}} \cdot \gamma \cdot Q}{\gamma \cdot Q + q}, \text{ Г/м}^3$$

$\gamma$  – коэффициент смешения на участке от створа выпуска сточных вод до расчетного створа.

#### Определение приоритетных загрязняющих веществ и источников их сброса

Приоритетные загрязняющие вещества можно определить по максимальной величине отношения  $\Sigma C_{pi} \gamma_i / \text{ПДК}_i$

$$\frac{\sum C_{pij}}{\text{ПДК}_i - C_{\Phi i}} = \sum \frac{C_{c_{ij}} - C_{\Phi i}}{(\text{ПДК}_i - C_{\Phi i}) n_{0j}},$$

$$C_{pij} = \frac{C_{c_{ij}} - C_{\Phi i}}{n_{0j}}$$

где  $j = 1, 2, 3 \dots n$  – номер источника.

Приоритетные источники сброса устанавливаются по величине отношения  $C_{pij}/\text{ПДК}_i$ , где  $C_{pij}$  – концентрация  $i$ -й примеси, сбрасываемой  $j$ -м источником в расчетном створе, г/м<sup>3</sup>;  $\text{ПДК}_i$  может быть ПДК  $i$ -й примеси в водотоке хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения или рыбохозяйственного назначения основного водотока, г/м<sup>3</sup>.

Источники с  $C_{pij}/\text{ПДК}_i < (0,05 \div 0,1)$  из дальнейших расчетов можно исключить (незначительный вклад в загрязнение расчетного створа).

**Временные методические указания  
по комплексной оценке качества  
поверхностных и морских вод\***

1. *Расчет индекса загрязненности вод (ИЗВ)* для поверхностных вод проводится только по строго ограниченному количеству ингредиентов. Результаты анализов по каждому из показателей осредняются (определяется среднеарифметическое значение). Число анализов для определения среднего значения должно быть не менее 5. Если в расчете среднеарифметического принимались значения, выходящие за пределы обычного ряда наблюдений (в результате аварийного сброса загрязняющих веществ), в тексте должна быть соответствующая оговорка.

Расчет ИЗВ проводится по формулам:

$$- \text{ИЗВ для поверхностных вод} = \frac{\sum \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}}{6},$$

где 6 – строго лимитируемое количество показателей (ингредиентов), берущихся для расчёта, включая показатели: растворенный кислород и БПК<sub>5</sub>, имеющие наибольшие значения независимо от того, превышают они ПДК или нет;

$$- \text{ИЗВ для морских вод} = \frac{\sum \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}}{4},$$

где 4 – строго лимитируемое количество показателей (ингредиентов), берущихся для расчета, включая растворенный кислород, имеющих наибольшие значения независимо от того, превышают они ПДК или нет. Для морских вод расчет ИЗВ проводят не по отдельным станциям, а по районам контроля.

Для представления качества вод в виде единой оценки показатели выбираются независимо от лимитирующего признака вредности, при равенстве концентраций предпочтение отдается веществам, имеющим токсикологический признак вредности.

---

\* Методические рекомендации по формализованной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. – М.: Госкомметрологии, 1988.

Учитывая, что показатель биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) является интегральным показателем наличия легкоокисляемых органических веществ (ПДК для БПК полного – 3 мг О<sub>2</sub>/л), а также то, что с увеличением содержания легкоокисляемых органических веществ (уменьшением содержания растворенного кислорода) качество вод снижается более резко, ПДК для этих показателей принимается следующая (табл. П2.1).

Таблица П2.1

| Потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> )         | Величина мг О <sub>2</sub> /л принимается за ПДК       |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| До 3 мг О <sub>2</sub> /л включительно            | 3                                                      |
| Более 3 до 15 мг О <sub>2</sub> /л                | 2                                                      |
| Свыше 15 мг О <sub>2</sub> /л                     | 1                                                      |
| Для растворенного кислорода при содержании, мг/л: | Величина мг О <sub>2</sub> /л, принимается за норматив |
| Свыше 6                                           | 6                                                      |
| Менее 6 до 5                                      | 12                                                     |
| Менее 5 до 4                                      | 20                                                     |
| Менее 4 до 3                                      | 30                                                     |
| Менее 3 до 2                                      | 40                                                     |
| Менее 2 до 1                                      | 50                                                     |
| Менее 1 до 0                                      | 60                                                     |

Степень превышения концентрации растворенного кислорода над ПДК рассчитывается по формуле: *ПДК/содержание*

Пример расчета (табл. П2.2)

Таблица П2.2

| Результаты наблюдений              |                                         |         |         |                                                                                 |
|------------------------------------|-----------------------------------------|---------|---------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Наименование вещества (показателя) | Концентрации среднеарифметические в ПДК |         |         | Примечание                                                                      |
|                                    | 1985 г.                                 | 1986 г. | 1987 г. |                                                                                 |
| Азот аммонийный                    | 1,1                                     | 0,9     | 12,0    | В результате аварийного сброса максимальная концентрация достигла уровня 28 ПДК |
| Азот нитритный                     | 3,0                                     | 1,1     | 8,0     |                                                                                 |
| Нефтепродукты                      | 2                                       | 6       | 0,5     |                                                                                 |
| Фенолы                             | 3                                       | 2       | 4       | 4                                                                               |
| Растворенный кислород              | 0,75                                    | 2,19    | 4,44    | 4,44                                                                            |
| БПК <sub>5</sub>                   | 2                                       | 3,5     | 6       | 6                                                                               |
| ИТОГО                              | Σ 11,854                                | 15,69   | 34,9    | 34,9                                                                            |

Концентрация растворенного кислорода по годам рассчитывается следующим образом.

Среднегодовая концентрация в 1984 г. составляла 8 мг/л.

$$\text{Расчет } \frac{6}{8} = 0,75.$$

В 1986 г. среднегодовая концентрация снизилась до 5,5 мг/л.

$$\text{Расчет } \frac{12,0}{5,5} = 2,19.$$

В 1987 г. содержание растворенного кислорода снизилось до 4,5 мг/л.

$$\text{Расчет } \frac{2}{4,5} = 4,44.$$

БПК<sub>5</sub> в 1985 г. равнялось 4 мг О<sub>2</sub>/л, в 1986 г. увеличилось до 7 мг О<sub>2</sub>/л, в 1987 г. увеличилось до 12 мг О<sub>2</sub>/л.

Расчет соответственно

$$\text{для 1985 г. } \frac{4}{2} = 2, \quad \text{для 1986 г. } \frac{7}{2} = 3,5, \quad \text{для 1987 г. } \frac{12}{2} = 6.$$

$$\text{ИЗВ}_{1985} = \frac{11,85}{6} = 1,99. \quad \text{ИЗВ}_{1986} = \frac{15,69}{6} = 2,61. \quad \text{ИЗВ}_{1987} = \frac{34,34}{6} = 5,82.$$

2. *Учет водности при расчете ИЗВ.* Данный расчет имеет определенные недостатки и допущения, однако при его единообразном применении ошибки будут не столь велики. Предварительно определяется коэффициент отношения фактического среднегодового расхода к среднему многолетнему расходу

$$K = \frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{среднемноголетний}}}.$$

Затем полученную величину ИЗВ умножаем на коэффициент водности. Например, водность в 1985 г. составляла 185 м<sup>3</sup>/с, в 1986 г. 150 м<sup>3</sup>/с, в 1987 г. – 100 м<sup>3</sup>/с; среднегодовой расход – 90 м<sup>3</sup>/с. Проводим расчеты:

$$K_{1985} = \frac{185}{90} = 2,05, \quad K_{1986} = \frac{150}{90} = 1,66, \quad K_{1987} = \frac{100}{90} = 1,11.$$

$$\text{ИЗВ}_{1985} = 1,99 \cdot 2,05 = 4,07, \quad \text{ИЗВ}_{1986} = 2,61 \cdot 1,66 = 4,33,$$

$$\text{ИЗВ}_{1987} = 5,82 \cdot 1,11 = 6,46.$$

ИЗВ с учетом водности будем обозначать звездочкой ИЗВ\*<sub>1985</sub>.

Учет водности при расчете ИЗВ проводится обязательно.

3. В редких случаях, когда наблюдается нарушение норм качества вод по показателю рН, в расчет ИЗВ (концентрации среднеарифметические в ПДК) подставляются следующие величины:

при величине рН      более 8,5 до 9 и менее 6,5    до 6 - 2,  
                                  более 9 до 9,5 и менее 6      до 5 - 5,  
                                  более 9,5 и менее 5 – 20.

В расчет ИЗВ можно включать величину превышения норм на взвешенные вещества, что имеет особое значение для Колымского УГКС. При этом следует иметь в виду, что расчет, который приводится ниже, приемлем только для взвешенных веществ естественного происхождения (взмучивание воды в результате работы драг, земснарядов и т.п.). Степень превышений концентраций взвешенных веществ над ПДК рассчитывается следующим образом: концентрации делятся на ПДК, за которую принимается среднее многолетнее содержание взвешенных веществ за гидрологическую фазу, увеличенное на 30 %, в период которой производился отбор проб, эти отношения складываются и делятся на количество произведенных замеров, полученная величина используется для расчета ИЗВ.

Например, средняя величина мутности в половодье равна 140 мг/л, при отборе проб получена величина – 320 мг/л.

Расчет  $\frac{320}{140 + 28} = 1,9$ . В меженный период средняя мутность составляет 25 мг/л, в отобранной пробе количество взвешенных веществ определено 300 мг/л.

Расчет  $\frac{300}{25 + 5} = 10$ . В расчет ИЗВ включается величина (концентрации среднеарифметические в ПДК), равная  $\frac{1,9 + 10}{2} = 5,95$ .

Учет водности при расчете ИЗВ по взвешенным веществам не проводится.

4. *Критерии загрязненности вод по ИЗВ* и критерии улучшения (ухудшения) качества вод.

Для проведения сравнения и определения динамики изменения качества вод используются данные, приведенные в табл. П2.3.

Таблица П2.3

| Класс качества воды   | Текстовое описание  | Величина ИЗВ         | Изменение величины ИЗВ в процентах для определения тенденции качества вод |
|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Для поверхностных вод |                     |                      |                                                                           |
| I                     | Очень чистая        | Менее или равно 0,3  | 100                                                                       |
| II                    | Чистая              | Более 0,3 до 1       | Более 50                                                                  |
| III                   | Умеренно грязная    | Более 1 до 2,5       | Более 30                                                                  |
| IV                    | Загрязненная        | Более 2,5 до 4       | Более 25                                                                  |
| V                     | Грязная             | Более 4 до 6         | Более 20                                                                  |
| VI                    | Очень грязная       | Более 6 до 10        | Более 15                                                                  |
| VII                   | Чрезвычайно грязная | Более 10             | Более 10                                                                  |
| Для морских вод       |                     |                      |                                                                           |
| I                     | Очень чистая        | Менее или равно 0,25 | 100                                                                       |
| II                    | Чистая              | Более 0,25 до 1      | Более 50                                                                  |
| III                   | Умеренно грязная    | Более 1 до 2         | Более 30                                                                  |
| IV                    | Загрязненная        | Более 2 до 4         | Более 25                                                                  |
| V                     | Грязная             | Более 4 до 6         | Более 20                                                                  |
| VI                    | Очень грязная       | Более 6 до 10        | Более 15                                                                  |
| VII                   | Чрезвычайно грязная | Более 10             | Более 10                                                                  |

*Примечание:* при переходе качества воды в другой класс процент изменения величины ИЗВ не учитывается.

Расчет изменения величины ИЗВ проводится в процентах  $(ИЗВ_{1985} - ИЗВ_{1986}) / ИЗВ_{1985} \cdot 100$ .

Сравнение величин ИЗВ, полученных в качестве примера, с данными табл. П2.3 показывает, что ИЗВ с учетом водности, равный 4,07, в 1985 г. относит данный водный объект к грязным (V класс), в 1986 г. вода водного объекта осталась в том же классе грязных водных объектов, разность между ИЗВ по годам составляет 9,6 % (менее 20), т.е. качество вод осталось на прежнем уровне.

### Концентрации загрязняющих веществ. Единицы измерения

Концентрации загрязняющих водную среду веществ обычно приводятся в следующих единицах:

г/л ( $\text{г/дм}^3$ ) с соответствующими приставками милли- ( $10^{-3}$ ) или микро- ( $10^{-6}$ ); моль/л ( $\text{моль/дм}^3$ ) с теми же приставками; проценты массовые (%) или промилле (‰) — соответственно граммы вещества в 100 г (%) или в 1 кг (‰) раствора;

*ppm* — миллиграммы вещества в килограмме исследуемого раствора; для пресной воды можно считать, что 1 *ppm* соответствует 1 мг/л;

*ppb* — микрограммы вещества в 1 кг исследуемого раствора; для пресной воды 1 *ppb* соответствует 1 мкг/л.

## Приложение 4

### Гигиенические требования к качеству питьевой воды по САНПиНу 2.1.4.559-96

| <i>Микробиологические и паразитологические показатели</i>                         |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Показатель                                                                        | Норматив    |
| Термотолерантные колиформные бактерии, число в 100 мл                             | Отсутствие  |
| Общие колиформные бактерии, число в 100 мл                                        | Отсутствие  |
| Общее микробное число, число образующихся колоний бактерий в 1 мл                 | Не более 50 |
| Колифаги, число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл                            | Отсутствие  |
| Споры сульфитредуцирующих клостридий, число спор в 20 мл                          | Отсутствие  |
| Цисты лямблий, число цист в 50 мл                                                 | Отсутствие  |
| <i>Органолептические показатели</i>                                               |             |
| Запах, баллы                                                                      | 2           |
| Привкус, баллы                                                                    | 2           |
| Цветность, градусы Pt-Co-шкалы                                                    | 20 (35)     |
| Мутность, ЕМФ (единица мутности по формазину) или мг/дм <sup>3</sup> (по каолину) | 1,5(2)      |

По согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы допускается увеличение цветности воды до 35 °, мутности (в паводковый период) — до 2 мг/дм<sup>3</sup>.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                           | 3  |
| 1. Основные положения.....                                                                              | 5  |
| Библиография.....                                                                                       | 7  |
| 2. Загрязнение гидросферы.....                                                                          | 7  |
| 2.1. Характеристика загрязнений и их классификация.....                                                 | 7  |
| 2.2. Вода в биосфере. Гидрологический цикл .....                                                        | 8  |
| Библиографический список .....                                                                          | 17 |
| 3. Влияние отраслей хозяйства на состояние окружающей среды<br>в Российской Федерации .....             | 17 |
| 3.1. Общая характеристика структуры промышленного<br>техногенеза.....                                   | 17 |
| 3.2. Электроэнергетика.....                                                                             | 20 |
| Библиографический список .....                                                                          | 22 |
| 4. Защита гидросферы от промышленных загрязнений.....                                                   | 23 |
| 4.1. Нейтрализация сточных вод .....                                                                    | 25 |
| 4.2. Отстаивание.....                                                                                   | 28 |
| 4.3. Сорбция и ионный обмен .....                                                                       | 30 |
| 4.4. Очистка воды с помощью пористых мембран .....                                                      | 32 |
| 4.5. Очистка нефтесодержащих сточных вод.....                                                           | 39 |
| 4.6. Биологическая очистка сточных вод.....                                                             | 41 |
| 4.7. Электрохимическая очистка сточных вод .....                                                        | 51 |
| 4.8. Рациональное использование воды .....                                                              | 58 |
| 4.9. Охрана поверхностных и подземных источников<br>водоснабжения населения России питьевой водой ..... | 62 |
| Библиографический список .....                                                                          | 69 |
| 5. Мониторинг водных объектов .....                                                                     | 70 |
| 5.1. История развития службы наблюдений .....                                                           | 70 |
| 5.2. Государственный водный кадастр.....                                                                | 72 |
| 5.3. Виды наблюдений за качеством поверхностных вод .....                                               | 77 |
| Библиографический список .....                                                                          | 82 |
| 6. Оценка техногенной трансформации экосистем малых рек<br>методами экологического мониторинга .....    | 84 |
| Вопросы и задания для самоконтроля и самостоятельной работы.....                                        | 91 |
| Приложения .....                                                                                        | 94 |

*Учебное издание*

**ТРИФОНОВА** Татьяна Анатольевна  
**СЕЛИВАНОВА** Нина Васильевна

**ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

*Учебное пособие*

Подписано в печать 09.06.10.

Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 6,28. Тираж 75 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
600000, Владимир, ул. Горького, 87