Лекция 4. Чрезвычайные ситуации экологического характера. Загрязнения гидросферы

4.1 Общие понятия

Существование биосферы и человека всегда было основано на использовании воды. Человечество постоянно стремилось к увеличению водопотребления, оказывая на гидросферу огромное многообразное давление.

На нынешнем этапе развития техносферы, когда в мире еще в большей степени возрастает воздействие человека на биосферу, а природные системы в значительной степени утратили свои защитные свойства, очевидно, необходимы новые подходы, «осознание реальностей и тенденций, появившихся в мире в отношении природы в целом и ее составляющих» (Лосев, 1989), В полной мере это относится к осознанию такого страшного зла, каким является в наше время загрязнение и истощение поверхностных и подземных вод.

Под **загрязнением водоемов** понимают снижение их биосферных функций и экологического значения в результате поступления в них вредных веществ (Криксунов и др., 1995).

Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических свойств (нарушение прозрачности, окраски, запахов, вкуса), увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов, сокращении растворенного в воде кислорода воздуха, появлении радиоактивных элементов, болезнетворных бактерий и других загрязнителей .

Россия обладает одним из самых высоких водных потенциалов в мире — на каждого жителя России приходится свыше 30 000 $м^3$/год воды. Однако в настоящее время из-за загрязнения или засорения около 70% рек и озер России утратили свои качества как источника питьевого водоснабжения, в результате около половины населения потребляют загрязненную недоброкачественную воду (Государственный доклад «Вода питьевая», 1995).

Нарушено исторически сложившееся равновесие в водной среде Байкала — уникальнейшем озере нашей планеты, которое, по подсчетам ученых, могло бы обеспечить чистой водой все человечество в течение почти полустолетия. Только за последние 15 лет загрязнено более 100 $км^3$ байкальской воды. На акваторию озера ежегодно поступает более 8500 т нефтепродуктов, 750 т нитратов, 13 тыс. т хлоридов и других загрязнителей. Ученые полагают, что только размеры озера и огромный объем водной массы, а также способность биоты участвовать в процессах самоочищения спасают экосистему Байкала от полной деградации.

Главные загрязнители вод. Установлено, что более 400 видов веществ могут вызвать загрязнение вод. В случае превышения допустимой нормы хотя бы по одному из трех показателей вредности: санитарно-токсикологическому, общесанитарному или органолептическому, вода считается загрязненной.

Различают химические, биологические и физические загрязнители (П. Бертокс, 1980). Среди *химических загрязнителей* к наиболее распространенным относят нефть и нефтепродукты, СПАВ (синтетические поверхностно-активные вещества), пестициды, тяжелые металлы, диоксины и др. (табл. 14.1). Очень опасно загрязняют воду *биологические загрязнители,* например вирусы и другие болезнетворные микроорганизмы, и *физические* — радиоактивные вещества, тепло и др.

Основные виды загрязнения вод. Наиболее часто встречается химическое и бактериальное загрязнение. Значительно реже наблюдается радиоактивное, механическое и тепловое загрязнение.

Таблица 1

Главные загрязнители воды

Химические загрязнители	**Биологические загрязнители**	**Физические загрязнителн**
Кислоты	Вирусы	Радиоактивные элементы
Щелочи	Бактерии	Взвешенные твердые частицы
Соли	Другие болезнетворные организмы	Тепло
Нефть и нефтепродукты	Водоросли	Органолептические(цвет, запах)
Пестициды	Лигнины	Шлам
Диоксины	Дрожжевые и плесневые грибки -	Песок
Тяжелые металлы		Ил
Фенолы		Глина
Аммонийный и		
нитритный азот		
СПАВ		

Химическое загрязнение — наиболее распространенное, стойкое и далеко распространяющееся. Оно может быть *органическим* (фенолы, нафтеновые кислоты, пестициды и др.) и *неорганическим* (соли, кислоты, щелочи), *токсичным* (мышьяк, соединения ртути, свинца, кадмия и др.) и нетоксичным. При осаждении на дно водоемов или при фильтрации в пласте вредные химические вещества сорбируются частицами пород, окисляются и восстанавливаются, выпадают в осадок, и т. д., однако, как правило, полного самоочищения загрязненных вод не происходит. Очаг химического загрязнения подземных вод в сильно проницаемых грунтах может распространяться до 10 км и более.

Бактериальное загрязнение выражается в появлении в воде патогенных бактерий, вирусов (до 700 видов), простейших, грибов и др. Этот вид загрязнений носит временный характер.

Весьма опасно содержание в воде, даже при очень малых концентрациях, радиоактивных веществ, вызывающих *радиоактивное загрязнение.* Наиболее вредны «долгоживущие» радиоактивные элементы, обладающие повышенной способностью к передвижению в воде (стронций-90, уран, радий-226, цезий и др.). Радиоактивные элементы попадают в поверхностные водоемы при сбрасывании в них радиоактивных отходов, захоронении отходов на дне и др. В подземные воды уран, стронций и другие элементы попадают как в результате выпадения их на поверхность земли в виде радиоактивных продуктов и отходов и последующего просачивания в глубь земли вместе с атмосферными водами, так и в результате взаимодействия подземных вод с радиоактивными горными породами.

Челябинский «Маяк»

Катастрофа называется Кыштымской ввиду того, что г. Озёрск был засекречен и отсутствовал на картах до 1990 г. Кыштым — ближайший к нему город.

29 сентября 1957 года в 16.20 из-за выхода из строя системы охлаждения произошёл взрыв ёмкости объёмом 300 кубических метров, где содержалось около 80 м³ высокорадиоактивных ядерных отходов. Взрывом, оцениваемым в десятки тонн в тротиловом эквиваленте, ёмкость была разрушена, бетонное перекрытие толщиной 1 метр весом 160 тонн отброшено в сторону, в атмосферу было выброшено около 20 млн кюри радиации. Часть радиоактивных веществ были подняты взрывом на высоту 1-2 км и образовали облако, состоящее из жидких и твёрдых аэрозолей. В течение 10-11 часов радиоактивные вещества выпали на протяжении 300—350 км в северо-восточном направлении от места взрыва (по направлению ветра). В зоне радиационного загрязнения оказалась территория нескольких предприятий комбината «Маяк», военный городок, пожарная часть, колония заключённых и далее территория площадью 23000 кв.км. с населением 270 000 человек в 217 населённых пунктах трёх областей: Челябинской, Свердловской и Тюменской. Сам

Челябинск-40 не пострадал. 90 процентов радиационных загрязнений выпали на территории ЗАТО (закрытого административно территориального образования химкомбината «Маяк»), а остальная часть рассеялась дальше.

В ходе ликвидации последствий аварии 23 деревни из наиболее загрязнённых районов с населением от 10 до 12 тысяч человек были отселены, а строения, имущество и скот уничтожены. Для предотвращения разноса радиации в 1959 г. решением правительства была образована на наиболее загрязнённой части радиоактивного следа санитарно-защитная зона, где всякая хозяйственная деятельность была запрещена, а с 1968 г на этой территории образован Восточно Уральский государственный заповедник. Сейчас зона заражения именуется Восточно-Уральским Радиоактивным Следом (ВУРС).

Для ликвидации последствий аварии привлекались сотни тысяч военнослужащих и гражданского населения, получивших значительные дозы облучения.

(c) http://ru.wikipedia.org/wiki/Кыштымская_трагедия

Механическое загрязнение характеризуется попаданием в воду различных механических примесей (песок, шлам, ил и др.). Механические примеси могут значительно ухудшать органолептические показатели вод.

Применительно к поверхностным водам выделяют еще их загрязнение (а точнее, засорение) твердыми отходами (мусором), остатками лесосплава, промышленными и бытовыми отходами, которые ухудшают качество вод, отрицательно влияют на условия обитания рыб, состояние экосистем.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими водами. Так, например, известно, что на площадке Кольской атомной станции, расположенной за Полярным кругом, через 7 лет после начала эксплуатации температура подземных вод повысилась с 6 до 19 °С вблизи главного корпуса. При повышении температуры происходит изменение газового и химического состава в водах, что ведет к размножению анаэробных бактерий, росту гидробионтов и выделению ядовитых газов — сероводорода, метана. Одновременно происходит «цветение» воды, а также ускоренное развитие микрофлоры и микрофауны, что способствует развитию других видов загрязнения. По существующим санитарным нормам температура водоема не должна повышаться более чем на 3 ^{o}С летом и 5 °С зимой, а тепловая нагрузка на водоем не должна превышать 12-17 кДж/м^3.

4.2 Нормирование качества воды

Несмотря на различные величины параметров для каждого вида воды (питьевая, в водоемах зон рекреации, в рыбохозяйственных водоемах, в сточных водах и др.)» основные требования можно объединить в следующие группы:

1. Общесанитарные признаки. Безопасность воды в эпидемическом отношении определяется косвенными показателями: количеством микробов в 1 мл воды (общее микробное число для питьевой воды — до 100) и содержанием бактерий группы кишечной палочки (палочек Коли) в 1 л. Последний параметр называется Коли-индекс (для питьевой воды в водопроводе — до 3; в водоемах зон рекреации-до 10000). Величина, обратная Коли-индексу, называется Коли-титр (для питья — не менее 300 мл на одну палочку)

Паразитологические показатели оценивают количеством патогенных микроорганизмов (от дизентерийных амеб до холерных вибрионов, вирусов лептоспироза и др.). Они не должны обнаруживаться в 25 л питьевой воды.

2. **Санитарно-токсикологические.** Показатели токсичности воды приводятся в виде ПДК тех веществ, которые могут встретиться в исходной воде или добавляться в нее искусственно. Это достаточно широкий перечень как неорганических, так и органических компонентов, к которым относятся алюминий, барий, бериллии, ртуть, свинец, хлороформ, дихлорэтан, бензпирен и др. Для питьевой воды, например, содержание в мг/л должно быть не более: бериллия — 0,0002; свинца — 0,05; ртути — 0,001 и т. д. Причем при обнаружении в воде нескольких веществ однонаправленного действия их концентрация С проверяется по $ПДК_1$ и суммируется так же, как и для воздуха при определении $ПДВ_Г$ (см. зависимость (1)).

3. К основным физико-химическим показателям, определяющим **органолептические свойства воды**, относят привкус, запах, мутность, цветность, а также ПДК компонентов, которые ухудшают органолептические свойства воды. Привкус, запах, цветность определяются по специальным шкалам. Для питьевой воды, к примеру, эти показатели «на глаз» не должны ощущаться. Мутность для той же воды — не более 1,5 мг/л (для сравнения: мутность речной воды в р. Сыр-Дарья достигает 1500 мг/л, в р. Дон — до 50 мг/л). Перечень веществ, влияющих на органолептические свойства воды, постоянно расширяется. В настоящее время к нему относят железо, марганец, медь, сульфаты, хлориды, фенолы, хлор и др. Так, для питьевой воды сухой остаток — не более 1000 мг/ л, хлориды — 350 мг/л, железо — 0,3 мг/л, цинк — 5 мг/л, общая жесткость — 7 мг-экв/л и др.

Органолептические свойства воды во многом связаны с ее кислотностью или щелочностью. Степень кислотности (или щелочности) должна быть не слишком велика, т. е. реакция воды — близка к нейтральной. Это оценивается величиной водородного показателя pH. Для питьевой воды он должен лежать в пределах от 6 до 9 (по стандарту 1973 г. требования были даже жестче-от 6,5 до 8,5).

Органическое загрязнение воды определяют косвенным путем — по количеству кислорода, необходимого для окисления органических примесей в одном литре воды. Чем больше требуется кислорода, тем грязнее вода. Применяются два показателя: биологическая потребность в кислороде за определенное время — БПК (БПК$_5$ — за 5 суток, БПК$_{20}$ — за 20 суток) и химическая потребность в кислороде — ХПК. Причем ХПК — более полная оценка загрязнения, при определении которой вовлекаются в реакцию даже трудноокисляемые органические вещества. Величины БПК и ХПК особенно важно учитывать для сточных вод. Если БПК/ХПК меньше 0,5, то сточные воды считаются перенасыщенными трудиоокисляемыми (а значит и трудноудаляемыми) соединениями. По международным стандартам 1982 г., при ХПК 100 мг/ л вода считается чрезвычайно загрязненной.

Качество воды, во многом зависящее от количества растворенного в ней кислорода, можно оценить двояко: по насыщению воды кислородом в процентах от максимально возможного при данной температуре и по содержанию кислорода в одном литре. По международным стандартам 1982 г. вода высокого качества должна иметь эти величины не менее 60% и 4 мг/л соответственно. Во многих стандартах последних лет этот параметр не оговаривался, так как при норме параметров предыдущих пяти групп кислородные показатели выполняются практически всегда.

Нормирование качества воды поверхностных водоемов также производится по параметрам, которые описаны выше. Но оно имеет ряд особенностей. Так, в соответствии с Санитарными

правилами и нормами «Охрана поверхностных вод от загрязнений» (СанПиН 4630-88) установлено две категории водоемов (или их участков):

а) питьевого и культурно-бытового назначения;

б) рыбохозяйственного назначения.

Для первой категории вода должна соответствовать нормативам на расстоянии не менее 1 км от места водозабора. Для второй категории вода должна быть нормативной везде, кроме района сброса сточных вод (но не далее 500 м от него).

Ввиду многообразия вредных и токсичных веществ в водоемах их объединяют в группы и каждую нормируют по лимитирующему показателю вредности -ЛПВ. Для водоемов первой категории выделяют три вида ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический. Они примерно соответствуют описанным выше группам. Для рыбохозяйственных водоемов используют еще два вида ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный. Причем здесь многие параметры, которые в первой категории водоемов относятся к общесанитарным, являются токсикологическими (цинк, например) или рыбохозяйственными (фенолы, например), так как значительно влияют на жизнь в водоемах.

Требованиями СанПиН запрещается сбрасывать в водоемы сточные воды, если технологически этого можно избежать; если сточные воды содержат вещества, для которых не установлены ПДК.

4.3 Экологические последствия загрязнения гидросферы

Загрязнение водных экосистем представляет огромную опасность для всех живых организмов и, в частности, для человека.

Пресноводные экосистемы. Установлено, что под влиянием загрязняющих веществ в пресноводных экосистемах отмечается падение их устойчивости вследствие нарушения пищевой пирамиды и ломки сигнальных связей в биоценозе, микробиологического загрязнения, эвтрофирования и других крайне неблагоприятных процессов. Они снижают темпы роста гидробионтов, их плодовитость, а в ряде случаев приводят к их гибели.

Наиболее изучен процесс *эвтрофирования водоемов.* Этот естественный процесс, характерный для всего геологического прошлого планеты, обычно протекает очень медленно и постепенно, однако в последние десятилетия, в связи с возросшим антропогенным воздействием, скорость его развития резко увеличилась.

Процессы антропогенной эвтрофикации охватывают многие крупные озера мира — Великие Американские озера, Балатон, Ладожское, Женевское и др., а также водохранилища и речные экосистемы, в первую очередь малые реки.

Помимо избытка биогенных веществ на пресноводные экосистемы губительное воздействие оказывают и другие загрязняющие вещества: тяжелые металлы (свинец, кадмий, никель и др.), фенолы, СПАВ и др. Так, например, водные организмы Байкала, приспособившиеся в процессе длительной эволюции к естественному набору химических соединений притоков озера, оказались неспособными к переработке чуждых природным водам химических соединений (нефтепродуктов, тяжелых металлов, солей и др.). В результате отмечено обеднение гидробионтов, уменьшение биомассы зоопланктона, гибель значительной части популяции байкальской нерпы и др.

Морские экосистемы. Скорости поступления загрязняющих веществ в Мировой океан в последнее время резко возросли. Ежегодно в океан сбрасывается до 300 млрд $м^3$ сточных вод, 90% которых не подвергается предварительной очистке. Морские экосистемы подвергаются все большему антропогенному воздействию посредством химических токсикантов, которые, аккумулируясь гидробионтами по трофической цепи, приводят к гибели консументов даже высоких порядков, в том числе и наземных животных — морских птиц, например. Среди химических токсикантов наибольшую опасность для морской биоты и человека представляют нефтяные углеводороды (особенно бенз(а)пирен), пестициды и тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий и др.).

По Ю. А. Израэлю (1985), экологические последствия загрязнения морских экосистем выражаются в следующих процессах и явлениях:

— нарушении устойчивости экосистем;

— прогрессирующей эвтрофикации;

— появлении «красных приливов»;

— накоплении химических токсикантов в биоте;

— снижении биологической продуктивности;

— возникновении мутагенеза и канцерогенеза в морской среде;

— микробиологическом загрязнении прибрежных районов моря.

При непосредственном контакте человека с бактериально загрязненной водой, а также при проживании или нахождении близ водоема различные паразиты могут проникнуть в кожу и вызвать тяжелые заболевания, особенно характерные для тропиков и субтропиков. В современных условиях увеличивается опасность и таких эпидемических заболеваний как холера, брюшной тиф, дизентерия и др.

Истощение вод следует понимать как недопустимое сокращение их запасов в пределах определенной территории (для подземных вод) или уменьшение минимально допустимого стока (для поверхностных вод). И то и другое приводит к неблагоприятным экологическим последствиям, нарушает сложившиеся экологические связи в системе человек — биосфера.

Практически во всех крупных промышленных городах мира, где подземные воды длительное время эксплуатировались мощными водозаборами, возникли значительные депрессионные воронки (понижения) с радиусами до 20 км и более. Так, например, усиление водоотбора подземных вод в Москве привело к формированию огромной *районной депрессии* с глубиной до 70—80 м. Все это, в конечном счете, приводит к значительному истощению подземных вод.

Интенсивная эксплуатация подземных вод в районах водозаборов и мощный водоотлив из шахт, карьеров приводят к изменению взаимосвязи поверхностных и подземных вод, к значительному ущербу речному стоку, к прекращению деятельности тысяч родников, многих десятков ручьев и небольших рек. Кроме того, в связи со значительным снижением уровней подземных вод наблюдаются и другие негативные изменения экологической обстановки: осушаются заболоченные территории с большим видовым разнообразием растительности, иссушаются леса, гибнет влаголюбивая растительность — гигрофиты и др.

Длительная интенсификация подземных водозаборов в определенных геолого-гидрогеологических условиях может вызвать медленное оседание и деформации земной

поверхности. Последнее негативно сказывается на состоянии экосистем, особенно прибрежных районов, где затапливаются пониженные участки и нарушается нормальное функционирование естественных сообществ организмов и всей среды обитания человека.

Истощение поверхностных вод проявляется в прогрессирующем снижении их минимально допустимого стока. На территории России поверхностный сток воды распределяется крайне неравномерно. Около 90% общего годового стока с территорииРоссии выносится в Северный Ледовитый и Тихий океаны, а на бассейны внутреннего стока (Каспийское и Азовское море), где проживает свыше 65% населения России, приходится менее 8% общего годового стока.

Именно в этих районах наблюдается истощение поверхностных водных ресурсов и дефицит пресной воды продолжает расти. Связано это не только с неблагоприятными климатическими и гидрологическими условиями, но и с активизацией хозяйственной деятельности человека, которая приводит ко все более возрастающему загрязнению вод, снижению способности водоемов к самоочищению, истощению запасов подземных вод, а следовательно, к снижению родникового стока, подпитывающего водотоки и водоемы.

Серьезнейшая экологическая проблема — восстановление водности и чистоты *малых рек* (т. е. рек длиной не более 100 км), наиболее уязвимого звена в речных экосистемах. Именно они оказались наиболее восприимчивыми к антропогенному воздействию. Непродуманное хозяйственное использование водных ресурсов и прилегающих земельных угодий вызвало их истощение (а нередко и исчезновение), обмеление и загрязнение.

К очень серьезным негативным экологическим последствиям приводит и ***изъятие на хозяйственные цели большого количества воды*** из впадающих в водоемы рек. Так, уровень некогда многоводного Аральского моря начиная с 60-х гг. катастрофически понижается в связи с недопустимо высоким перезабором воды из Амударьи и Сырдарьи. В результате объем Аральского моря сократился бол^{р}е чем наполовину, уровень моря снизился на 13 м, а соленость воды (минерализация) увеличилась в 2,5 раза. Осушенное дно Аральского моря становится сегодня крупнейшим источником пыли и солей. В дельте Амударьи и Сырдарьи на месте гибнущих тугайных лесов и тростниковых зарослей появляются бесплодные солончаки. Трансформация фитоценозов на берегу Аральского моря и в дельтах Амударьи и Сырдарьи происходит на фоне высыхания озер, проток, болот и повсеместного снижения уровня грунтовых вод, обусловленного падением уровня моря.

К другим весьма значительным видам воздействия человека на гидросферу, кроме истощения подземных и поверхностных вод, следует отнести создание крупных водохранилищ, коренным образом преобразующих природную среду на прилегающих территориях

Создание крупных водохранилищ, особенно равнинного типа, для аккумуляции и регулирования поверхностного стока приводит к разнонаправленным последствиям (рис. 2) в окружающей природной среде. Необходимо учитывать, что создание водохранилищ путем перегораживания русла водотоков плотинами чревато серьезными негативными последствиями для большинства гидробионтов. Из-за того, что многие нерестилища рыб оказываются отрезанными плотинами, резко ухудшается или прекращается естественное воспроизводство многих лососевых, осетровых и других проходных рыб.

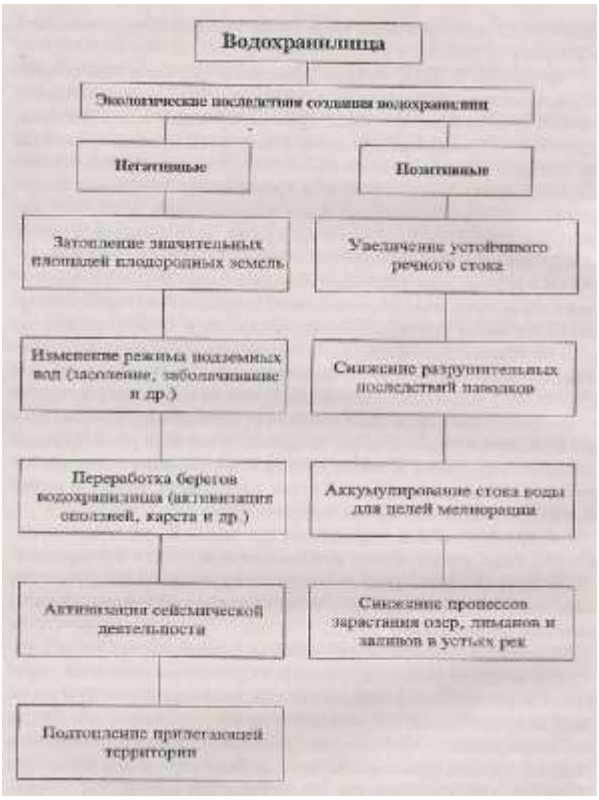

Рис. 2. Экологические последствия создания водохранилищ

4.4 Источники воздействия на водные объекты

Процессы загрязнения *поверхностных вод* обусловлены различными факторами. К основным из них относятся: 1) сброс в водоемы неочищенных сточных вод; 2)смыв ядохимикатов ливневыми осадками; 3) газодымовые выбросы; 4) утечки нефти и нефтепродуктов.

Наибольший вред водоемам и водотокам причиняет *выпуск* в них *неочищенных сточных вод* — промышленных, коммунально-бытовых, коллекторно-дренажных и др. (рис. 1). Промышленные сточные воды загрязняют экосистемы самыми разнообразными компонентами (табл. 2, Государственный доклад..., 1995) в зависимости от специфики отраслей промышленности. Следует заметить, что в настоящее время объем сброса промышленных сточных вод во многие водные экосистемы не только не уменьшается, но и продолжает расти. Так, например, в 1995 г. в оз. Байкал, вместо планируемого прекращения сброса сточных вод из ЦБК (целлюлозно-бумажного комбината) и перевода их на замкнутый цикл водопотребления, было сброшено сточных вод на 21% больше, чем в 1994 г.

Таблица 2

Приоритетные загрязнители водных экосистем по отраслям промышленности

Отрасль промышленности	**Преобладающий вид загрязняющих компонентов**
Нефтегазодобыча, нефтепереработка	Нефтепродукты, СПАВ, фенолы, аммонийные соли, сульфиды
Целлюлозно-бумажный комплекс, лесная промышленность	Сульфаты, органические вещества, лигнины, смолистые и жирные вещества, азот
Машиностроение, металлообработка, металлургия	Тяжелые металлы, взвешенные вещества, фториды, цианиды, аммонийный азот, нефтепродукты, фенолы, смолы
Химическая промышленность	Фенолы, нефтепродукты, СПАВ, ароматические углеводороды, неорганика
Горнодобывающая , угольная	Флотореагенты, неорганика, фенолы, взвешенные вещества
Легкая, текстильная, пищевая	СПАВ, нефтепродукты, органические красители, другие органические вещества

Коммунально-бытовые сточные воды в больших количествах поступают из жилых и общественных зданий, прачечных, столовых, больниц, и т. д. В сточных водах этого типа преобладают различные органические вещества, а также микроорганизмы, что может вызвать бактериальное загрязнение.

Огромное количество таких опасных загрязняющих веществ, как пестициды, аммонийный и нитратный азот, фосфор, калий и др., смываются с сельскохозяйственных территорий, включая площади, занимаемые животноводческими комплексами (рис. 3). По большей части они попадают в водоемы и в водотоки без какой-либо очистки, а поэтому имеют высокую концентрацию органического вещества, биогенных элементов и других загрязнителей.

Значительную опасность представляют газо-дымовые соединения (аэрозоли, пыль и т. д.), оседающие из атмосферы на поверхность водосборных бассейнов и непосредственно на водные поверхности. Плотность выпадения, например, аммонийного азота на европейской территории России оценивается в среднем 0,3 т/км^2, а серы от 0,25 до 2,0 т/км^2.

Огромны масштабы нефтяного загрязнения природных вод. Миллионы тонн нефти ежегодно загрязняют морские и пресноводные экосистемы при авариях нефтеналивных судов, на нефтепромыслах в прибрежных зонах, при сбросе с судов балластных вод и т. д.

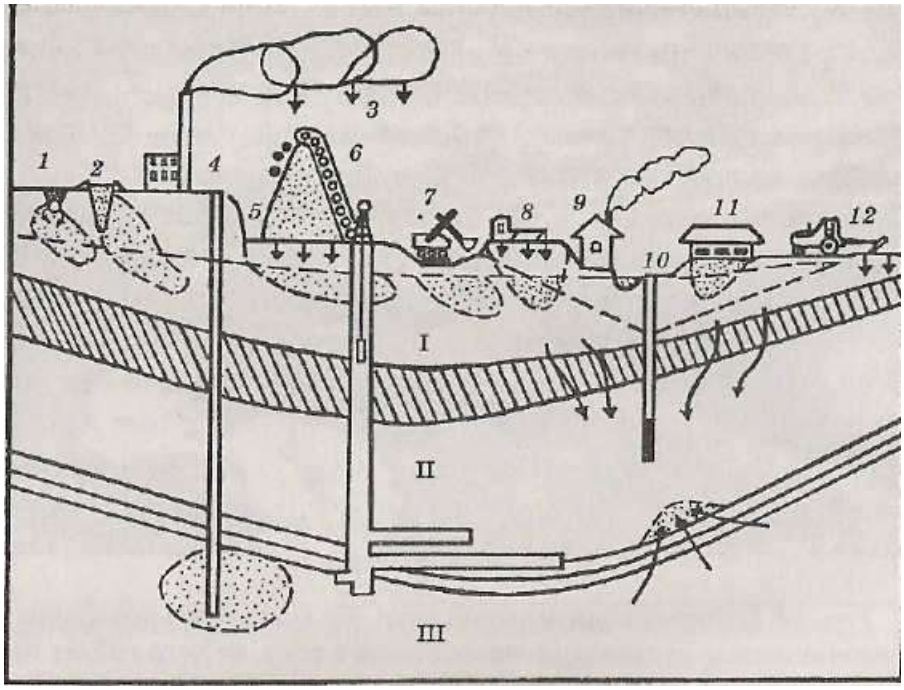

Рис. 3.

Схема источников загрязнения подземных вод (по В.А. Шемелиной, 1989):

I — грунтовые воды, II — напорные пресные воды, III — напорные соленые воды:
1 — трубопроводы, 2 — хвостохранилище, *3* — дымовые и газовые выбросы, *4* — подземные захоронения промстоков, *5* — шахтные воды, *6* — терриконы, 7— карьерные воды, *8* — заправочные станции, *9* — бытовое загрязнение, *10* — водозабор, подтягивающий соленые воды, *11* — объекты животноводства, *12* — внесение удобрений и пестицидов

Кроме поверхностных вод постоянно загрязняются и *подземные воды,* в первую очередь в районах крупных промышленных центров. Источники загрязнения подземных вод весьма разнообразны (рис. 1).

Загрязняющие вещества могут проникать к подземным водам различными путями: при просачивании промышленных и хозяйственно-бытовых стоков из хранилищ, прудов-накопителей,

отстойников и др., по затрубному пространству неисправных скважин, через поглощающие скважины, карстовые воронки и т. д.

К естественным источникам загрязнения относят сильно минерализованные (соленые и рассолы) подземные воды или морские воды, которые могут внедряться в пресные незагрязненные воды при эксплуатации водозаборных сооружений и откачке воды из скважин.

Важно подчеркнуть, что загрязнения подземных вод не ограничиваются площадью промпредприятий, хранилищ отходов **и** т. д., а распространяются вниз по течению потока на расстояния до 20—30 км и более от источника загрязнения. Это создает реальную угрозу для питьевого водоснабжения в этих районах.

Следует также иметь в виду, что загрязнение подземных вод негативно сказывается и на экологическом состоянии поверхностных вод, атмосферы, почв, других компонентов природной среды. Например, загрязняющие вещества, находящиеся в подземных водах, могут выноситься фильтрационным потоком в поверхностные водоемы и загрязнять их. Как подчеркивают многие ученые, круговорот загрязняющих веществ в системе поверхностных и подземных вод предопределяет единство природоохранных и водоохранных мер и их нельзя разрывать. В противном случае меры по охране подземных вод вне связи с мерами по защите других компонентов природной среды будут неэффективными.

Системный подход к изучению качества воды водных объектов предусматривает рассмотрение их как открытые системы, в которых происходит обмен энергией и веществом с ОС. Качество поверхностных вод определяется 2 группами факторов: внешними воздействиями в виде *аллохтонных* (поступающих извне водного объекта) источников загрязнения и внутриводоемными прессами, включающими в себя процессы самоочищения и образования *автохтонных* (порожденных в самом водном объекте) источников загрязнения. Внешние источники воздействия классифицируются по происхождению, локализации, продолжительности воздействия, виду носителя загрязняющих компонентов и виду загрязнения.

По происхождению источники загрязнения делятся на *природные* и *антропогенные.* К природным источникам загрязнения относятся *атмосферные* (атмосферные осадки), *гидросферные* (озера, притоки, грунтовые и подземные воды, формирующие сток водного объекта) и *литосферные* (подверженные эрозии и выщелачиванию склоны русл). Основными антропогенными источниками загрязнения являются *промышленные* (выпуски производственных сточных вод, загрязненные территории предприятий, свалки промышленных отходов), *коммунальные* (выпуски хозяйственно-бытовых сточных вод, территории населенных пунктов, свалки бытовых отходов), *сельскохозяйственные* (пахотные поля, огороды, животноводческие предприятия) и *транспортные* (транспортные средства, автодороги, трубопроводы). Указанные источники воздействия, за исключением сельскохозяйственных, типичны для городских водных объектов. Сельскохозяйственные источники загрязнения находятся в пригородной зоне. Литосферные источники в пределах городов частично изолированы облицовкой берегов.

По локализации источники воздействия на водные объекты делятся на *точечные,* площадь контакта которых с водным объектом существенно меньше площади загрязненной зоны этого объекта; *линейные,* площадь контакта которых с водным объектом представляет собой линию, и

площадные, влияние которых проявляется рассредоточение по площади водного объекта. Примером точечных источников загрязнения могут служить выпуски сточных вод из систем водоотведения или небольшие притоки. Линейные источники воздействия встречаются в виде стока с поверхности водосбора, выпусков сточных вод через специальное рассеивающее устройство (рассеивающий выпуск). Площадные источники воздействия: акватории портов, стоянки маломерных моторных судов, места донной добычи полезных ископаемых – песка, гравия, нефти, газа и др.

По продолжительности воздействия источники загрязнения бывают *постоянными, периодическими* и *эпизодическими.*

Носители загрязняющих веществ, как правило, сточные, инфильтрационные и подземные воды, возвратные воды орошения и дренажные воды, поверхностный сток с загрязненной территории, атмосферные осадки.

Источники воздействия на водный объект могут приводить к его *химическому, физическому* и *биологическому* загрязнению. Химическое загрязнение проявляется через сверхнормативное содержание веществ в поверхностных водах. Для физического загрязнения характерно повышение температуры воды за счет поступления в водный объект подогретых вод (тепловое загрязнение) или наличие радионуклидов (радиоактивное загрязнение). Биологическое воздействие на водный объект сопровождается поступлением в него болезнетворных микробов, яиц гельминтов, мелких водорослей, дрожжевых и плесневых грибов (гидрофлорное загрязнение).

Наиболее существенный вклад в загрязнение водных объектов вносят аллохтонные источники, особенно *антропогенного* происхождения. Основными из них являются выпуски сточных вод промышленных предприятий, выпуски городских сточных вод, транспортные источники загрязнения и поверхностный сток с загрязненных территорий.

На протяжении длительного периода *выпуски сточных вод промышленных предприятий* являлись самой существенной причиной загрязнения водных объектов. Более существенную роль в загрязнении городских водных объектов приобрел загрязненный поверхностный сток с урбанизированных территорий и территорий промышленных площадок. Количество, состав и содержание загрязняющих веществ в промышленных сточных водах чрезвычайно разнообразны и определяются характером технологических процессов, составом очистных сооружений и рядом других факторов. Ориентировочный состав представлен в табл. 1.

Таблица 1.

Ориентировочный состав сточных вод для основных отраслей промышленности

Отрасль	**Показатель**	**Концентрация, г/м^3**
Черная металлургия	Взвешенные вещества	200-500
	Окалина	3000-20 000
	Железо	300-500
	Фенолы	700-1000
	Смолы и масла	700-1000
	Железный купорос	до 700
	Серная кислота	до 300
Цветная металлургия	Взвешенные вещества	100-8000
	Цветные металлы	1,5-170
Нефтепромыслы	Взвешенные вещества	150-11 000
	Хлориды	500-180 000
	Нефтепродукты	100—5000

	Железо	10-150
	Сероводород	25-400
Текстильное производство	Взвешенные вещества	250-40 000
	Животный жир	8000-12 000
	$БПК_{20}$	600-20 000
	ПАВ	50-120
Коксохимические заводы	Взвешенные вещества	300-500
	$БПК_5$	800-3000
	Аммиак	200-3000
	Фенолы	400-1800
	Смолы и масла	300-500
	Цианиды и роданиды	100-400
Нефтеперерабатывающие	Взвешенные вещества	до 300
заводы с нефтехимическими	Нефтепродукты	150-15 000
производствами	$БПК_5$	150-7000
Целлюлозно-бумажные	Взвешенные вещества	400-2000
заводы	$БПК_5$	100-2000
Машино- и автомобиле-	Взвешенные вещества	100-200
строение	Цианиды	70-120
	Хром	40-60
	Кислоты	70-100
	Нефтепродукты и масла	25-40

Загрязняющие вещества в них могут содержаться в грубодисперсном состоянии (крупность частиц более 0,1 мм), в виде эмульсии или суспензии (крупность частиц от 0,1 мкм до 0,1 мм), в коллоидном состоянии (частицы крупностью от 0,001 до 0,1 мкм) или в растворенном виде. Информация о количестве и составе сточных вод представляется каждым предприятием в формах государственной статистической отчетности.

Городские сточные воды представляют собой смесь хозяйственно-бытовых сточных вод города и производственных сточных вод (табл. 2). Обычно они проходят очистку на городских очистных сооружениях. В отличие от промышленных сточных вод хозяйственно-бытовые имеют сравнительно стабильный состав. Для них характерны преобладание органических загрязняющих веществ над минеральными (примерное соотношение органических и минеральных веществ в неочищенных сточных водах составляет 5:1) и устойчивый температурный режим на уровне 15-20° С круглогодично.

При наличии городских очистных сооружений информация о количестве и составе городских сточных вод представляется в формах государственной статистической отчетности очистных сооружений.

Таблица 2.

Ориентировочный состав городских сточных вод

Показатель	**Содержание, г/м^3**		
	до очистки	**механическая очистка**	**биологическая очистка**
Минеральный состав	800	680	530
Взвешенные вещества	250	120	12
Азот аммонийный	**30**	**30**	15
Азот общий	**45**	**35**	25
Фосфаты	15	15	**12**
Хлориды	**35**	**35**	**34**
ПАВ	10	**9**	**4**
$БПК_{полн}$	**280**	150	15
$БПК_5$	200	135	10

4.5 Системы водоотведения и очистки сточных вод

Водоснабжение должно обеспечить круглосуточную подачу воды населению и промышленным предприятиям в необходимом количестве и по качеству, соответствующему требованиям государственного стандарта. С этой целью городская администрация и предприятия, эксплуатирующие системы водообеспечения, постоянно развивают сети водоснабжения, включают в эксплуатацию новые источники питьевой воды, расширяют станции водоподготовки. Заботой городских властей является сокращение использования питьевой воды для производственных нужд, уменьшение непроизводительных расходов воды. Вместе с тем в летний период необходимо обеспечивать систематическую поливку газонов, зеленых насаждений и проезжей части.

Наряду с централизованным водоснабжением в городах все большее развитие получает децентрализованное снабжение населения водой улучшенного качества, добываемой из глубоких подземных горизонтов, а также из самоизливающихся источников.

Вода, использованная населением и промышленными предприятиями, а также дождевые, талые и поливомоечные воды по системам водоотведения после очистки поступают в водные объекты. Очистка сбросных вод производится на общегородских очистных сооружениях. Пропускная способность и эффективность их работы должны соответствовать общему объему водопотребления города и характеру поступающих на очистку вод. Одной из важных задач городских властей является развитие системы водоотведения и расширение общегородских очистных сооружений в соответствии с ростом объемов водопотребления. Наряду с многоэтажной застройкой системы водоотведения должны охватывать и районы индивидуальной застройки, так как традиционно используемые выгребные ямы, предназначенные для временного накопления жидких бытовых отходов, служат источником загрязнения подземных вод и не соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Отходы жизнедеятельности человека, вода, использованная для бытовых нужд и в технологических процессах, а также дождевые и талые воды с городской территории удаляются через систему водоотведения и подаются на общегородские очистные сооружения. При отсутствии или перегрузке юродских очистных сооружений в водные объекты вынужденно сбрасываются неочищенные или недостаточно очищенные сточные воды, что приводит к загрязнению водного объекта на значительном протяжении. При ограниченной производительности городских очистных сооружений дождевые и талые воды частично или полностью сбрасываются в водные объекты без очистки, вместе с ними может сбрасываться и часть общегородских сточных вод.

1. Системы водоотведения

Система водоотведения, называемая еще канализационной системой, включает следующие основные элементы: внутренние водоотводящие системы в жилых зданиях или производственных помещениях; внутриквартальные или внутриплощадочные водоотводящие сети; внешние (внеплощадочные) водоотводящие сети; регулирующие резервуары; насосные станции и напорные трубопроводы; очистные сооружения; выпуски очищенных сточных вод в водные объекты; аварийные выпуски сточных вод в водные объекты. Водоотводящие системы подразделяются на

общесплавные, раздельные и *комбинированные.* В свою очередь раздельные системы подразделяются на *полные раздельные, неполные раздельные* и *полураздельные.*

Коллектора общесплавной системы могут устраиваться ливневыпуски для непосредственного сброса в реку части стока, пропускаемого по системе водоотведения. Это делается с целью уменьшения размеров и количества коллекторов в концевой части системы и соответствующего ее удешевления.

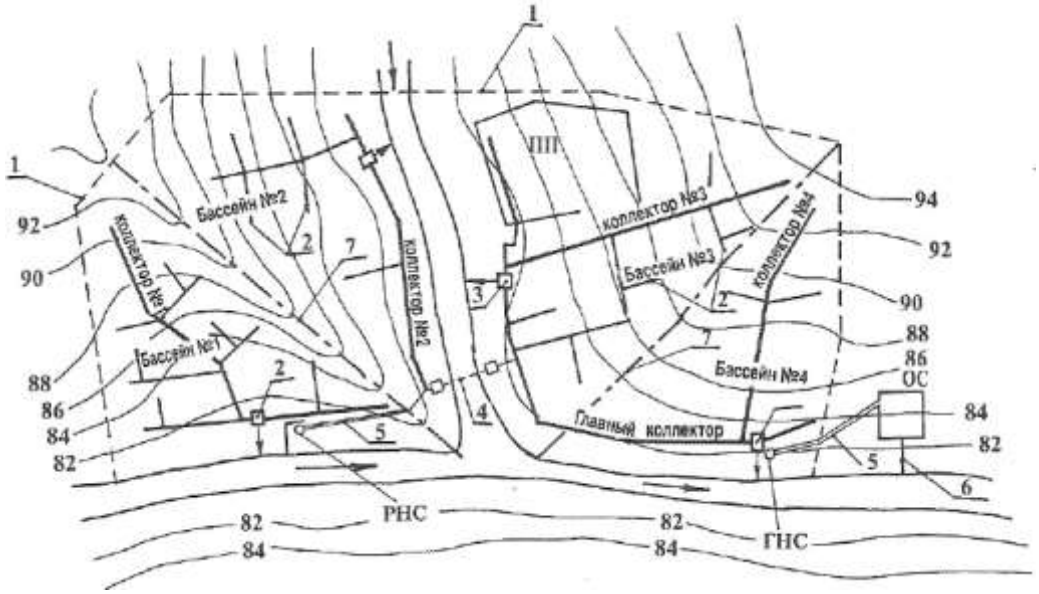

Рис. 4.

Общесплавная схема водоотведения:

РНС – районная насосная станция; **ГНС** – главная насосная станция; ОС – очистные сооружения; ПП – промышленное предприятие

1 – граница города; 2 – наружная (внешняя) водоотводящая сеть трубопроводов; 3 – ливневыпуски; 4 – дюкер; 5 – напорные трубопроводы; 6 – выпуск очищенных сточных вод; 7 – линии водоразделов

Ливневыпуски устраиваются таким образом, чтобы исключить возможность переполнения главного коллектора во время сильного дождя. Конструкция и размещение ливневыпусков обеспечивают включение их в работу, т.е. сброс вод в реку, не ранее, чем через 30 минут после начала интенсивного ливня. За это время наиболее загрязненная часть поверхностного стока с городской территории по общесплавному коллектору поступает на городские очистные сооружения, а менее загрязненная часть при наполнении главного коллектора начнет поступать непосредственно в реку. Понятно, что выпуск неочищенных сточных вод в реку связан с ее возможным загрязнением. Поэтому размеры выходных отверстий ливневыпусков и соответственно расход сбрасываемых через них неочищенных вод определяются исходя из ассимилирующей способности водотока. Применение общесплавной системы водоотведения целесообразно при наличии в городе полноводной реки.

Полная раздельная система водоотведения имеет два или больше коллекторов, предназначенных для отдельного отвода сточных вод определенной категории **(рис.** 5).

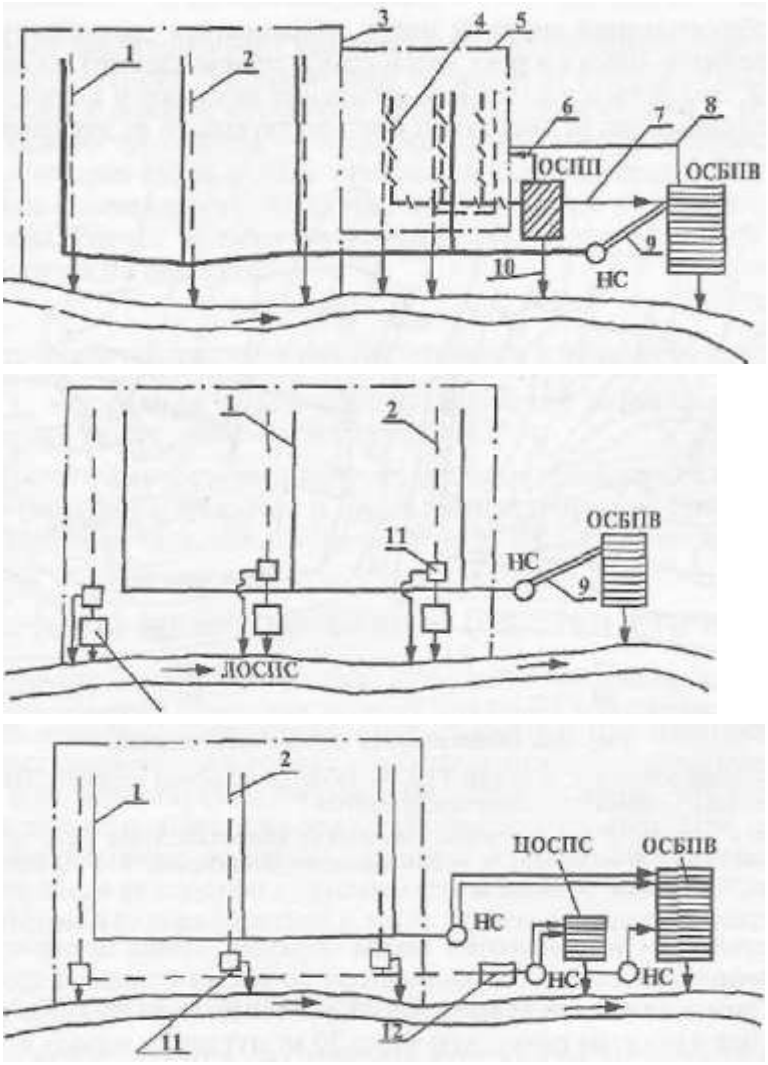

Рис. 5. Полная раздельная система водоотведения:

а — без очистки поверхностного стока; б и в — с очисткой поверхностного стока соответственно на локальных и централизованных очистных сооружениях;

ОСБПВ — очистные сооружения бытовых и производственных вод;

ОСПП — очистные сооружения промышленного предприятия;

ЛОСПС — локальные очистные сооружения поверхностного стока;

ЦОСПС — централизованные очистные сооружения поверхностного стока;

НС — насосная станция;

1 — бытовая сеть; 2 — ливневая сеть; 3 — граница города; 4 — производственная сеть; 5 — граница промышленного предприятия; 6 — возврат воды на производство после очистки; 7 — подача воды для доочистки на очистные сооружения города; 8 — подача очищенных вод на промышленное предприятие; 9 — напорные трубопроводы; 10 — выпуск очищенных производственных сточных вод в водоем; 11 — разделительные камеры; 12 — регулирующий резервуар

Хозяйственно-бытовые сточные воды отводят на общегородские очистные сооружения, где производят их очистку до кондиций, удовлетворяющих условиям сброса в водные объекты. Очистку производственных сточных вод осуществляют на специальных очистных сооружениях данного промышленного объекта или группы таких объектов. После очистки производственные сточные воды могут быть использованы для технического водоснабжения, поданы на общегородские очистные сооружения для доочистки или сброшены в водный объект. Талые и

дождевые воды по коллектору ливневой канализации подаются на очистку и в дальнейшем используются для технического водоснабжения или сбрасываются в водные объекты.

Неполная раздельная система водоотведения предусматривает отвод хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод по единому коллектору. Отвод дождевых вод производится отдельно *по* коллекторам, лоткам или канавам. Как правило, неполная раздельная система используется для небольших объектов водоотведения и является первоначальным этапом создания полной раздельной системы.

Полураздельная система водоотведения предусматривает отвод смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод по одному общему коллектору, а дождевых вод — по другому. Дождевые и производственно-бытовые коллекторы по трассе водоотведения пересекаются **(рис.** 3.8). В месте пересечения устанавливаются разделительные камеры, с помощью **которых** дождевой сток полностью или частично из дождевого коллектора попадает в главный. При сравнительно малых расходах дождевых вод они полностью поступают в главный коллектор. При больших расходах дождевых вод в главный коллектор поступает лишь часть дождевого стока, протекающего по нижней (донной) части дождевого коллектора. Это наиболее загрязненная часть дождевого стока, отводимого с прилегающей территории в начальный период дождя, когда происходит смыв основной массы загрязняющих веществ. Поступающая в последующий период менее загрязненная часть дождевого стока через распределительную камеру отводится в водный объект без очистки. В смеси с дождевыми водами частично сбрасываются и сточные воды.

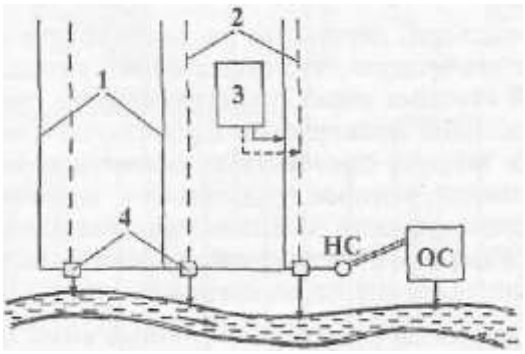

Рис. 3.8. Полураздельная система водоотведения:

1 — производственно-бытовая сеть; 2 — ливневая сеть; 3 — промышленное предприятие; 4 — разделительные камеры

Комбинированная система водоотведения представляет собой совокупность общесплавной системы с полной раздельной. Такая система формируется по мере развития и реконструкции канализационной сети города. В старой части города может функционировать общесплавная система водоотведения, а в районах новостроек создается полная раздельная система.

2. Общегородские очистные сооружения

Вода, поступающая в городскую систему водоотведения, обычно представляет собой смесь хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. По системе водоотведения эти воды подаются на общегородские очистные сооружения. Если позволяет производительность этих сооружений, сюда же поступают частично или полностью дождевые и талые воды. Полный комплекс общегородских очистных сооружений включает блоки: механической и биологической очистки, доочистки, обеззараживания, обработки осадка **(рис.** 3.9).

Механическая очистка обеспечивает удаление из сточных вод крупных включений, взвешенных и плавающих примесей. В состав блока механической очистки входят решетки, иногда с дробилками, песколовки, преаэраторы и первичные отстойники.

Решетки предназначены для улавливания крупных включений, которые при необходимости измельчаются в дробилках. На решетках достигается практически полное извлечение из очищаемых сточных вод крупных включений. Извлеченные крупные включения вывозятся на полигон бытовых отходов.

В *песколовках,* представляющих собой емкости определенных размеров, благодаря резкому уменьшению скорости течения очищаемой жидкости происходит осаждение взвешенных веществ. В песколовках удаляется из сточной воды примерно 40—60% мелких механических примесей. Из песколовок осадок подается на песковые площадки. После высыхания он может быть использован для планировочных работ.

В *преаэраторах* происходит первичное насыщение сточных вод кислородом путем подачи сжатого воздуха, что существенно улучшает процесс биологической очистки. В сточных водах, поступающих из систем водоотведения, растворенный кислород практически отсутствует. Смешение очищаемых вод с пузырьками воздуха способствует отделению нефтепродуктов и других плавающих примесей, которое происходит в *первичных отстойниках,* называемых также нефтеловушками. Степень удаления плавающих примесей составляет 60—80%. Всплывшие нефтепродукты специальными скребками собираются в бочки и направляются на регенерацию или на сжигание.

Из первичных отстойников очищаемые сточные воды поступают в блок *биологической очистки,* где происходит деструкция органических соединений, поддающихся биохимическому окислению. Из сооружений биологической очистки наибольшее распространение получили *аэротенки.* Они представляют собой железобетонные, реже кирпичные или металлические удлиненныеемкости, где происходит контакт очищаемых сточных вод с *активным илом* при одновременном насыщении их кислородом воздуха. Активный ил представляет собой специально культивируемое сообщество микроорганизмов, пищей для которых служат органические вещества, содержащиеся в сточных водах. Нормальное содержание активного ила в очищаемых сточных водах составляет 2 г/л (по сухому веществу). Для интенсификации процесса деструкции органических соединений в аэротенки постоянно нагнетается сжатый воздух в соотношении 10:1 — к объему очищаемой жидкости. Аэротенки в блоке биологической очистки располагаются таким образом, чтобы очищаемая сточная вода, проходя через них последовательно один за другим, находилась в контакте с активным илом в течение 18—20 часов. Температура воды в аэротенках должна быть не ниже +5° С и не выше 40° С. Степень деструкции в аэротенках органических веществ, поддающихся биохимическому окислению, составляет около 90%.

Очищенные в аэротенках сточные воды поступают во *вторичные отстойники,* где происходит оседание активного ила, который попал сюда из аэро-тенков вместе с водой. Микроорганизмы активного ила при оседании адсорбируют своей чешуйчатой поверхностью мельчайшие взвеси, оставшиеся в очищаемых сточных водах после прохождения песколовок и первичных отстойников, а также ионы тяжелых металлов. Степень извлечения металлов за счет адсорбции микроорганизмами колеблется от 10 до 60%.

После вторичных отстойников городские сточные воды считаются прошедшими биологическую очистку и могут быть сброшены в поверхностные водные объекты. Перед сбросом в обязательном порядке производится их *обеззараживание* путем обработки хлорной водой. Приготовление хлорной воды производится в *хлораторнол* растворением активного хлора в воде. После хлорирования сбросная вода должна пройти дегазацию, так как попадание активного хлора в водный объект может привести к гибели рыбы. Дегазация сбросных вод происходит в каналах и быстротоках по пути следования от места хлорирования до места выпуска в водный объект. В некоторых странах вместо хлорирования применяют озонирование. И тот, и другой способы обеззараживания воды имеют свои преимущества и недостатки. В нашей стране для обеззараживания сточных вод применяют в основном хлорирование.

Если качество очистки сточных вод не удовлетворяет условиям их сброса в водные объекты или сточные воды после очистки предполагается использовать для технического водоснабжения или пополнения городских рек, то в этих случаях организуется их доочистка. При пополнении стока городских рек очищенными сточными водами доочистка должна обеспечить придание им свойств и состава, присущих природным речным водам. Для доочистки сточных вод используют фильтры с зернистой загрузкой, установки пенной и напорной флотации, коагуляцию и флокуляцию, сорбцию**,** озонирование, установки для извлечения из воды соединений фосфора и азота. Для придания очищенным сточным водам качеств природной воды их доочистка проводится в каскаде биологических прудов или на биоинженерных сооружениях типа биоплато.

В процессе биологической очистки сточных вод образуется большое количество осадка, представляющего собой отмерший или избыточный активный ил, который удаляется из аэротенков и вторичных отстойников. Ил имеет влажность 97—98% и очень плохо отдает воду. С целью обезвоживания его сначала обрабатывают в метантенках или аэробных стабилизаторах, затем подвергают механическому обезвоживанию в гидроциклонах, центрифугах, вакуум-фильтрах или фильтр-прессах, после чего направляют на иловые площадки для окончательного высушивания.

В *метантенках,* представляющих собой герметичные цилиндрические резервуары, в течение нескольких часов при температуре 33—53° С происходит сбраживание ила. При обработке в метантенке ил теряет свою водоудер-живаюшую способность, его влажность снижается до 92—94%. В процессе сбраживания выделяется газ, главным образом метан, с теплотворной способностью до 5000 ккал/м^3. Из 1 кг осадка (по сухому веществу) образуется около 1 м^3 газа плотностью 1 кг/м^3. Получаемый газ используется обычно в котельных сооружений биологической очистки.

В *аэробных стабилизаторах,* представляющих собой обычные аэротенки, активный ил подвергается усиленной аэрации в течение нескольких суток. Расход воздуха при этом составляет до 2 м^3/час на 1 м^3 вместимости стабилизатора. Влажность ила снижается на 2—3%, он в значительной мере теряет свою водоудерживающую способность.

При механическом обезвоживании влажность осадка может быть снижена до 65—70%, а объем его, по сравнению с сырым осадком (влажностью 98%), уменьшен в 15—20 раз.

Окончательное высушивание осадка происходит на *иловых площадках.* Площадки представляют собой выровненные участки (карты) площадью 0,25— 2 га, обвалованные невысокими (0,7—1 м) дамбами. Здесь в природных условиях в течение нескольких месяцев (до

года) происходит высушивание и компостирование (перегнивание) илового осадка. Компостированный иловый осадок является хорошим органическим удобрением. Ограничения в его применении могут быть связаны со сверхнормативным содержанием соединений тяжелых металлов.

3. Методы очистки производственных сточных вод

Очистка производственных сточных вод организуется с делью использования их в системах оборотного, последовательного или замкнутого водоснабжения, обеспечения условий приема в городские системы водоотведения или сброса в водные объекты.

Вода, использованная в технологическом процессе, содержит примеси в виде: взвешенных частиц размером от 0,1 мкм и более, образующих суспензии; нерастворяемых в воде капелек другой жидкости, образующих эмульсии; коллоидных систем с частицами размером от 1 мкм до 1 нм и растворенных в воде веществ в молекулярной или ионной форме. Примеси, содержащиеся в технологической воде, часто являются ценным сырьем или готовой продукцией.

Методы очистки сточных вод подразделяются на механические, физико-химические и биологические.

Механические методы очистки обеспечивают извлечение из очищаемых вод взвешенных и плавающих примесей. Наиболее простой способ удаления этих примесей — отстаивание, в процессе которого взвешенные ве-щества оседают на дно, а плавающие примеси всплывают на поверхность отстойников. Отстойники устраиваются горизонтальные, вертикальные и радиальные **(рис. 6).**

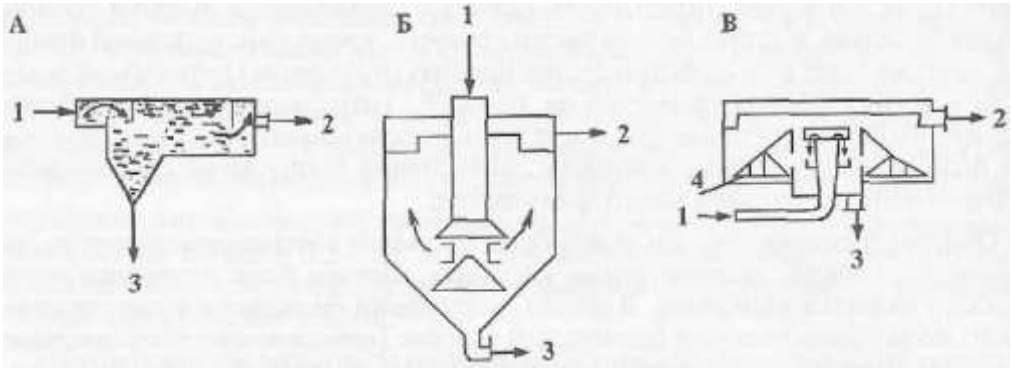

Рис. 6. Отстойники:

А — горизонтальный; Б — вертикальный; В — радиальный 1 — загрязненная вода; 2 — очищенная вода; 3 — осадок (шлам); 4 — скребковый механизм

В *горизонтальном* отстойнике длина в 8—12 раз больше его глубины. Отстойники бывают непрерывного или периодического действия. В отстойниках непрерывного действия отделение примесей происходит благодаря резкому уменьшению скорости движения очищаемой жидкости (до 0,005— **0,01** м/с). Продолжительность прохождения жидкости через отстойник составляет 1—3 часа. Эффективность осветления воды — от 40 до 60%. В отстойниках периодического действия продолжительность отстоя жидкости составляет несколько часов, после чего происходит удаление всплывших примесей, осветленной воды и осадка. Затем процесс повторяется.

Глубина (высота) *вертикального* отстойника в несколько раз превышает его горизонтальный размер. Разделение твердой и жидкой фаз происходит за счет уменьшения скорости потока и изменения его направления на 180°. Вертикальные отстойники более компактны, однако их эффективность на 10—20% ниже, чем у горизонтальных.

В конструкции *радиального* отстойника реализован принцип действия вертикального и горизонтального отстойников. В центральной его части происходит смена направления потока очищаемой жидкости, а от центра к периферии он работает в режиме горизонтального отстойника. Это позволяет получать достаточно компактные сооружения большой производительности. Эффективность осветления в радиальных отстойниках достигает 60%. Глубина их колеблется от 1,5 до 5 м, диаметр — от 15 до 60 м.

В зависимости от вида удаляемых плавающих примесей отстойники могут называться нефтеловушками, жироуловителями и т.п. Эффективность удаления из воды плавающих примесей составляет 95—96%. Всплывшие примеси удаляются с поверхности специальными приспособлениями и направляются на утилизацию.

Для удаления из воды волокнистых примесей (частичек шерсти, ниток, асбеста и др.) используется *дисковый волокноуловитель,* представляющий собой вращающийся перфорированный диск, по которому тонким слоем стекает очищаемая жидкость.

Для повышения эффективности процесса осветления к очищаемой в отстойниках жидкости добавляют *коагулянты* — вещества, которые при взаимодействии с водой образуют хлопьеобразные частицы размером 0,5—3 мм с развитой поверхностью, обладающие также небольшим электрическим зарядом. При оседании эти хлопья захватывают из жидкости взвешенные и коллоидные частицы. В качестве коагулянтов применяются сернокислый алюминий, хлорное железо и др. Расход их составляет от 40 до 700 кг/м^3 очищаемой жидкости. Высокие дозы относятся к физико-химической очистке технологических вод, обеспечивающей удаление хрома и цианидов, а также обесцвечивание воды.

Интенсификации процесса коагуляции способствует добавка *флокулян-тов* — веществ, обеспечивающих агрегирование пластин коагулянтов и ускоряющих тем самым их осаждение. В качестве флокулянтов применяют клейкие вещества: крахмал, декстрин, силикатный клей. Весьма эффективным является синтетический флокулянт — полиакриламид (ПАА), широко использующийся также при подготовке питьевой воды. Доза применения ПАА колеблется от 0,5 до 25 г/м^3 очищаемой жидкости. Внедряются в практику и другие коагулянты и флокулянты на основе активных полимеров, дозы применения которых в десятки раз меньше.

Тонкодисперсные частички, которые не удается извлечь из жидкости в отстойниках, могут быть удалены с помощью *фильтрования.* Процесс фильтрования заключается в прохождении жидкости через пористую преграду, на которой осаждаются мелкодисперсные частицы. В качестве фильтрующего слоя используются зернистые материалы (песок, гранитная или мраморная крошка, керамзит и др.), ткани и нетканые полотна (хлопчатобумажные, шерстяные, синтетические, из асбеста, стекловолокна и др.), металлические сетки, перфорированные пластины, пористая керамика. Для ускорения процесса фильтрование производится под давлением или с помощью вакуума. Для извлечения нефтепродуктов, масел и других эмульгированных примесей применяются фильтры из полиуретана. Эффективность удаления взвешенных и эмульгированных примесей методом фильтрования достигает 99% и более.

В *гидроциклонах* и *центрифугах* разделение жидкой и твердой фаз производится под воздействием центробежных сил.

Для удаления взвешенных веществ используются напорные гидроциклоны **(рис.** 3.12). Для удаления плавающих примесей применяются открытые гидроциклоны. Гидроциклон представляет

собой металлический аппарат, состоящий из цилиндрической и конической частей. Диаметр цилиндрической части — от 100 до 700 мм, высота примерно равна диаметру. Угол конусности составляет 10—20°. Внутри аппарата имеются струенаправ-ляющие лопасти в виде винтовой спирали. Поданная под давлением жидкость, двигаясь по спирали к сливу, отделяется от взвешенных веществ. Частьжидкости с большим содержанием взвесей удаляется из гидроциклона, а осветленная вода под действием образовавшегося вакуума движется вверх и изливается через верхнее отверстие. В открытом (безнапорном) гидроциклоне удаление осветленной воды происходит через боковые отверстия, а всплывающие примеси извлекаются с помощью сифона. Гидроциклоны, по сравнению с другими устройствами для механической очистки вод, отличаются высокой производительностью, компактностью, экономичны в изготовлении и эксплуатации. Эффективность очистки от взвешенных и плавающих примесей составляет примерно 70%.

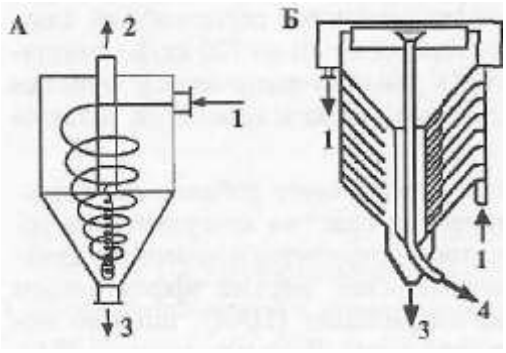

Рис. 7. Гидроциклоны:

А — вертикальный напорный; Б — многоярусный открытый

1 — загрязненная вода; 2 — очищенная вода; 3 — осадок (шлам); *4* — плавающие примеси (нефтепродукты, масла)

Центрифугирование является эффективным методом разделения суспензий и эмульсий. Центрифуги изготовляются периодического и непрерывного действия с автоматической выгрузкой осадка и осветленной жидкости (фуга-та). При центрифугировании достигается достаточно высокая степень обезвоживания осадка и получается относительно чистый фугат. Центрифуги потребляют большое количество электроэнергии, создают высокие шумовые нагрузки и небезопасны в эксплуатации.

Физико-химические методы очистки обеспечивают удаление из воды, как правило, растворенных веществ, неподдающихся или плохо поддающихся биологической очистке, а также веществ, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на коллекторы или другие элементы систем водоотведения.

Наиболее простым и распространенным методом физико-химической очистки является *нейтрализация,* которая заключается в подкислении щелочных вод (с pH>8,5) и подщелачивании вод с pH<6,5. При наличии на производстве кислых и щелочных вод нейтрализация достигается их смешением. При отсутствии одной из категорий вод нейтрализация осуществляется путем добавки реагента. Для нейтрализации кислых вод лучше всего использовать отходы щелочей — гидроокиси натрия или калия, не дающие осадка. При использовании гидроокиси кальция в виде известкового молока образуется шлам, который необходимо удалять, обезвреживать и утилизировать. Нейтрализация кислых вод достигается также фильтрованием их через слой известняка, доломита, магнезита, шлака или золы.

Для нейтрализации щелочных вод используется отработанная серная кислота. Высокоэффективным методом нейтрализации щелочных вод является продувка через них газовых выбросов, содержащих оксиды серы, углерода, азота и другие кислотообразующие окислы. Таким образом обеспечивается одновременно эффективная очистка дымовых газов.

Реагентная обработка применяется для очистки вод от цианидов, рода-нидов, ионов тяжелых металлов и ряда других примесей. Вид применяемого реагента определяется составом примесей, подлежащих удалению из воды. Так, разложение цианидов достигается обработкой воды жидким хлором или веществами, выделяющими активный хлор, — хлорной известью, гипохдори-дом кальция или натрия.

Окислением удается добиться деструкции таких соединений, как альдегиды, фенолы, анилиновые красители, серосодержащие органические вещества и др. В качестве окислителей применяют кислород, озон, перекись водорода, пиролюзит. В процессе окисления происходит разложение вредных примесей до простых окислов или образование соединений, поддающихся биохимическому разложению.

Извлечение из воды ионов ртути, хрома, кадмия, свинца, никеля, меди, мышьяка основано на переводе их из раствора в нерастворимый осадок. С этой целью очищаемую воду обрабатывают соединениями натрия или кальция — сульфитом, бисульфитом или сульфидом, карбонатами или гидроокисью. Образующийся шлам удаляют, утилизируют или складируют.

Одним из высокоэффективных методов очистки является *ионный обмен,* который представляет собой процесс взаимодействия очищаемой жидкости с зернистым материалом, обладающим способностью заменять ионы, находящиеся на поверхности зерен, на ионы противоположного заряда, содержащиеся в растворе. Такие материалы называются ионитами. Ионитными свойствами обладают природные минералы — цеолиты, апатиты, полевые шпаты, слюда, различные глины. Синтезировано большое число высокоэффективных ионитов, обладающих селективными свойствами. К ним относятся си-ликагели, алюмогели, пермутиты, сульфоугли и ионообменные смолы — синтетические высокомолекулярные органические соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с фиксированными на ней ионообменными функциональными группами. Иониты не растворяются в воде, обладают достаточной механической прочностью, обеспечивают возможность их регенерации с получением ценных веществ, извлекаемых из очищаемых вод. Существуют ионообменные установки периодического и непрерывного действия Установки периодического действия работают как фильтры с зернистой загрузкой в виде гранул ионитов. При насыщении поверхности гранул ионами вещества, извлекаемого из воды, производится их регенерация слабым раствором (2—8%) щелочи или кислоты. В установках непрерывного действия гранулы ионитов и очищаемая жидкость движутся противотоком, постоянно перемешиваясь. В процессе работы часть гранул подаются на регенерацию и заменяются новыми. Благодаря высокой механической прочности и способности к регенерации гранулы ионитов имеют довольно продолжительный срок службы. Ионный обмен является, по существу, универсальным методом очистки вод. Для извлечения практически любого вещества из воды можно подобрать соответствующий ионит или группу ионитов. Эффективность ионообменной очистки достигает 95—99%.

Флотационная очистка применяется для удаления из воды поверхностно-активных веществ (ПАВ), нефтепродуктов, жиров, смол и др. Процесс флотации заключается в сорбировании содержащихся в воде примесей поверхностью пузырьков воздуха, нагнетаемого в очищаемую жидкость. В практике очистки вод используются напорные, безнапорные, вакуумные и электрофлотационные установки. Наибольшее распространение получили напорные установки **(рис. 3.15).** В таких установках вода сначала насыщается воздухом под давлением, а затем подается в открытый резервуар, где происходит выделение пузырьков и сорбирование ими содержащихся в воде примесей. Иногда сжатый воздух подается в нижний слой жидкости, находящейся в резервуаре (флотаторе). Для повышения эффективности очистки воздух подается через пористые (фильтросные) пластины. При вакуумной флотации в флотаторе создается разряжение, способствующее образованию пузырьков воздуха. Для безнапорной флотации используются эрлифтные установки, которые позволяют существенно (в 2—4 раза) снизить затраты электроэнергии на флотационную очистку. Повышению эффективности очистки вод при флотации способствует наличие синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ). Образуемая ими густая стойкая пена повышает степень извлечения из воды эмульгированных и диспергированных примесей. При флотации одновременно достигается дегазация очищаемых вод и насыщение их кислородом.

При электрофлотации образование пузырьков газа происходит вследствие электролиза воды. На аноде выделяется кислород, на катоде — водород. Однако этот метод очистки из-за больших затрат электроэнергии и роста ее стоимости практически не используют. По этим же причинам все реже применяют некогда широко распространенные *электрохимические методы* очистки вод: анодное окисление и катодное восстановление, электрокоагуляция, электродиализ. Электрохимические методы очистки основаны на пропускании постоянного электрического тока через очищаемую жидкость. Кислород, выделяемый на аноде, окисляет органические примеси. В качестве анодов используют электролитические неразлагаемые материалы: графит, магнетит, диоксиды свинца, марганца или рутения, наносимые на титановую основу. На катодах происходит выделение водорода и оседание ионов металлов с образованием нерастворимых гидроксидов. Катоды изготавливаются из стали или алюминия.