

В. Г. ОРЛОВ

КОНТРОЛЬ
КАЧЕСТВА
ПОВЕРХНОСТНЫХ
ВОД



Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

К О Н Т Р О Л Ь КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

*Утверждено ученым советом института
в качестве учебного пособия*

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М. И. КАЛИНИНА



ЛЕНИНГРАД
1988

Орлов В. Г., Скакальский Б. Г., Бесценная М. А., Шварцман А. Я., Меерович Л. Н. Контроль качества поверхностных вод. Учебное пособие. Л., изд. ЛПИ, 1988, 140 с. (ЛГМИ).

В учебном пособии рассматриваются организационные, юридические и технико-экономические вопросы, связанные с рациональным использованием и охраной вод суши от загрязнения. Изложены вопросы нормирования качества воды, системы контроля, методы обобщения гидрохимической информации. Рассмотрены экономические аспекты проблемы охраны водных ресурсов. Приведены сведения о существующих правилах и требованиях по охране водных ресурсов от загрязнения. Даны примеры расчета характеристик качества поверхностных вод с учетом гидрологических факторов.

Пособие предназначено для слушателей факультета повышения квалификации работников Госкомгидромета при ЛГМИ, а также может быть рекомендовано студентам специальности «Гидрология суши» и специалистам, работающим в области охраны вод суши.

Табл. 28. Ил. 21. Библ. 22.

Рецензенты: кафедра гидравлики ЛИСИ; доц., канд. техн. наук А. И. Шишкин (ЛТИ).

Ответственный редактор А. М. Владимиров.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Начиная с 1982 г. при Ленинградском гидрометеорологическом институте работает факультет повышения квалификации (ФПК) для работников Госкомгидромета СССР. На факультете ежегодно большая группа работников подразделений Госкомгидромета знакомится с проблемой охраны природной среды, в частности, с охраной вод суши, по программе, утвержденной Минвузом РСФСР и Управлением кадров и учебных заведений Госкомгидромета СССР. Программа включает в себя актуальные вопросы использования водных ресурсов для нужд народного хозяйства, а также последние разработки по контролю качества поверхностных вод и методам расчета показателей качества воды.

В составлении программы курса принимали участие ведущие специалисты кафедры гидрологии суши ЛГМИ и Государственного гидрологического института (Лаборатория качества вод). Авторы стремились изложить основные вопросы программы с учетом последних достижений науки в области оценки качества поверхностных вод, познакомить слушателей с вопросами правовой охраны вод, способами оценки водоохранных мероприятий и ущерба от непредвиденных антропогенных влияний на природную среду, а также дать основные методы расчета показателей качества воды. Учитывая, что часть слушателей не имеет специального гидрометеорологического образования и также достаточных сведений из области гидрохимии, авторы сочли возможным некоторые наиболее специфические вопросы программы изложить более детально.

Введение, главы 1, 4, 6 написаны канд. геогр. наук В. Г. Орловым, главы 2, 4, 5 — канд. геогр. наук Б. Г. Скакальским; глава 3 — канд. техн. наук М. А. Бесценной, глава 7 — канд. техн. наук А. Я. Шварцман и канд. техн. наук Л. Н. Мееровичем.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом природные ресурсы нашей планеты все интенсивнее используются для нужд человечества. Особенно это относится к водным ресурсам, так как ни одна отрасль хозяйства не может развиваться без воды, а интенсификация промышленности год от года растет. Водные ресурсы уже не могут в полной мере удовлетворить все возрастающие потребности, что иногда

становится сдерживающим фактором в развитии экономики. С каждым годом проблемы водообеспеченности обостряются, под влиянием хозяйственной деятельности изменяется гидрологический режим естественных водных объектов, качественный состав воды в них. Поэтому по мере возрастания воздействия человека на качественные и количественные характеристики речного стока и процесс его формирования особую остроту приобретают проблемы рационального использования водных ресурсов, охрана от истощения и загрязнения рек, озер, водохранилищ и внутренних морей. И проблемы эти затрагивают все отрасли народного хозяйства и стороны государственного устройства страны.

Что касается генеральной линии охраны вод, то она определена Конституцией СССР, Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик, «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», целым рядом постановлений ЦК КПСС и СМ СССР.

Основная задача здесь заключается в необходимости удовлетворения потребностей населения и народного хозяйства в водных ресурсах необходимого качества не только сейчас, но и в отдаленном будущем, сохранении водных объектов для настоящих и будущих поколений.

В связи с этим возрастают затраты на охрану природы в бюджете страны. Так общая сумма затрат на охрану природы и рациональное использование природных ресурсов составила в 1981—1984 гг. — 34 млрд. руб., в 1981—1985 гг. — 43 млрд. руб., в 1981—1986 гг. — 53 млрд., а в 1986 г. — 10 млрд. руб. При этом на охрану и рациональное использование водных ресурсов в 1971—1975 гг. израсходовано 5,4 млрд. руб., в 1976—1980 — 8,3 млрд. руб. (СССР в цифрах. Краткий статистический сборник. М.: Финансы и статистика 1980—1986 гг.). Доля расходов на осуществление в стране мер по охране и рациональному использованию водных ресурсов составляет 75 % от общих капиталовложений на природоохранные нужды.

В комплексе мер, которые осуществляются в нашей стране по защите водных ресурсов от загрязнения и истощения, большая роль принадлежит созданной системе мониторинга качества поверхностных вод. В настоящее время контроль качества поверхностных вод осуществляется примерно в 5000 пунктах, охватывающих более 2000 водных объектов.

Целенаправленная деятельность Партии и Правительства по охране и рациональному использованию водных ресурсов на 13-ю пятилетку и до 2000 г. позволит прекратить сброс неочищенных сточных вод в водные объекты страны, сэкономить за счет внедрения водооборотных систем в промышленности свежую воду, сохранить водные богатства.

Нельзя забывать, что охрана окружающей природной среды является глобальной проблемой. Человечество отдает себе отчет о тех серьезных последствиях для будущего поколения, которые

ожидаются от антропогенного загрязнения природы нашей Земли. Усилия какой-то одной страны в снижении загрязнений или их предотвращении малоэффективны, поскольку в других странах будут возрастать уровни загрязнения. Поэтому проблемы комплексного использования и охраны водных ресурсов уже давно вышли за пределы государственных границ и приобрели международное значение. Многие актуальные вопросы водохозяйственной деятельности человечества находятся в центре внимания Организации Объединенных Наций (ООН), ее комиссий и специализированных организаций: Организации по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), Всемирной метеорологической организации (ВМО), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Международной организации по водным ресурсам (МАВР), Международной организации по исследованиям в области загрязнения вод (МАИЗВ), Международной гидрологической программы и многих других научных и инженерно-технических организаций, в которых активное участие принимают советские специалисты.

В области охраны окружающей среды Советским Союзом заключено много двухсторонних и многосторонних международных соглашений. Одним из них является многостороннее сотрудничество стран — членов СЭВ в рамках Совещания руководителей водохозяйственных органов. Основные задачи этого сотрудничества: разработка принципов и методов эффективного комплексного использования водных ресурсов в интересах различных отраслей народного хозяйства, исследование наиболее совершенных способов охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения; координация планов основных научно-исследовательских работ в области водного хозяйства и др. Успешно ведется сотрудничество по вопросам использования охраны пограничных вод. При этом проводится обмен информацией по гидрологическому режиму рек и чистоты пограничных вод.

В последние годы существенно расширились связи в области охраны окружающей среды с рядом капиталистических стран. Так, в 1974 г. подписана Конвенция по охране морской среды Балтийского моря. Аналогичные соглашения имеются по Черному, Средиземному и Каспийскому морям. Развиваются совместные исследования в области охраны окружающей среды, в частности водных ресурсов, между СССР и США, Великобританией, Францией, Италией и другими странами.

Успешному решению совместных задач в деле охраны природы способствует своевременная и научно обоснованная информация о состоянии биосферы, которую получают по системе мониторинга в глобальном масштабе, с использованием последних достижений науки и техники. И в первую очередь это относится к дистанционным космическим методам исследования Земли, в частности, атмосферы и гидросферы.

Космические методы позволяют получать объективную информацию о зонах осадков, влажности почвы, состоянии сельскохозяйственных культур, уровне загрязнения океанических вод нефтепродуктами и др.

Общие усилия человечества должны дать положительный эффект в деле охраны природы, сберечь ее для будущих поколений.

Глава 1. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СССР И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ. ПРАВОВАЯ ОХРАНА ВОД

1.1. Водные ресурсы СССР

Водные ресурсы являются частью естественных ресурсов планеты. А под естественными ресурсами понимают все вещества природы, которые вовлекались, вовлекаются или будут вовлекаться человеком в процесс материального производства при данном уровне развития его производительных сил. Возможность отнесения к ресурсам определяется степенью изученности, технической вооруженностью общества, экономической целесообразностью эксплуатации этих ресурсов. В гидрологической литературе к понятию «водные ресурсы» относятся все находящиеся в свободном состоянии (химически не связанные) воды нашей планеты, т. е. воды поверхностного и подземного стока, почвенная влага, воды горных и полярных ледников, морские и атмосферные воды, воды искусственных водных объектов. В отличие от других видов природных ресурсов вода обладает рядом существенных отличий: она незаменима, не имеет административных границ, постоянно находится в движении, связывая все сферы Земли (атмосферу, биосферу, литосферу). В результате круговорота в природе общее количество воды не уменьшается, хотя имеет место перераспределение воды в пространстве и во времени.

В последние годы водные ресурсы приобрели ранг экономического ресурса, который необходимо планировать на перспективу. По скорости возобновления природные воды могут быть подразделены на медленно возобновляемые (вековые или статистические запасы) и ежегодно возобновляемые или водные ресурсы. Потребность народного хозяйства в основном удовлетворяется за счет ежегодно возобновляемых водных ресурсов.

По величине водных ресурсов наша страна занимает одно из первых мест в мире. Суммарный запас пресных вод в СССР оценивается в $45\,000\text{ км}^3$ (без подземных вод). Водные ресурсы всех рек СССР равны $4740\text{ км}^3/\text{год}$, что немного менее 10 % суммарного стока рек земного шара. В среднем с 1 км^2 территории СССР стекает порядка $6,2\text{—}6,3\text{ л/с}$ воды, что составляет в год 200 тыс. м^3 . Это приблизительно столько же, сколько в США и КНР и немного меньше, чем в Канаде.

Занимая второе место в мире (после Бразилии) по величине возобновляемых водных ресурсов, Советский Союз значительно

уступает многим странам по удельным водным ресурсам, т. е. отнесенным к единице площади. Так, СССР уступает примерно в 5 раз Бразилии, в 6 раз Норвегии, в 5 раз Югославии, в 2,5 раза Индии и т. д.

При планировании использования водных ресурсов необходимо учитывать водообеспеченность территории как средний модуль стока л/с с 1 км², который зависит от природных особенностей территории, или как количество воды в м³, приходящееся на одного жителя. По водообеспеченности на территории СССР выделяются три зоны, характеристика которых дана в табл. 1.1.

Зоны по степени водообеспеченности

Таблица 1.1

Зона водообеспеченности	Удельные водные ресурсы с 1 км ² , л/с	Площадь зоны, %	Водные ресурсы	
			км ³	% от общих ресурсов
Высокая	> 6	48	3450	80
Средняя	от 6 до 2	25	780	18
Низкая и очень низкая	< 2	27	120	2

Наиболее обеспечены водными ресурсами северо-западные, северные и восточные районы страны — 80 % всех водных ресурсов. На более обжитые районы ЕТС приходится менее 20 %, а в аридных районах всего 2 % от общих водных ресурсов. Более детальное распределение речного стока по различным районам СССР приводится в табл. 1.2.

Обеспеченность стоком различных районов СССР

Таблица 1.2

Территория	Распределение, %	
	население	речной сток
СССР в целом	100	100
Сибирь и Дальний Восток	12,5	74
Север и Северо-Запад ЕТС	5	12
Центр, Урал и Предуралье, Поволжье, Юго-Восток ЕТС, Предкавказье	36,5	7
Украина и Молдавия	21	1,5
Белоруссия и Прибалтика	7	1
Закавказье	5	1
Казахстан и Средняя Азия	13	3

Характеристика водных ресурсов и водообеспеченности союзных республик, а также экономических районов СССР дана в табл. 1.3 и 1.4.

В табл. 1.5. приводятся средние сезонные значения стока в процентах от годового в различных районах СССР.

В нашей стране насчитывается около 3 млн. рек и речек длиной от 0,5 км (табл. 1.6). В озерах сосредоточена большая часть запасов пресных вод нашей страны. У нас около 3 млн. озер, из которых 95 % пресных. Суммарная площадь водного зеркала всех озер около 500 тыс. км². Это почти 2 % всей территории страны.

Таблица 1.3

Водные ресурсы и водообеспеченность союзных республик на уровень 1980 г.

Союзная республика	Площадь, тыс. км ²	Водные ресурсы, км ³ /год		Обеспеченность речным стоком, тыс. м ³ /год	
		местного формирования	суммарные	местного формирования, на 1 жителя в год*	суммарный (средний)
РСФСР	17075,4	4043	4270	28,8	30,4
Украинская	603,7	52,4	209,8	1,04	4,17
Белорусская	207,6	34,1	55,8	3,50	5,73
Узбекская	447,3	9,5	107,6	0,57	6,5
Казахская	2717,3	69,4	125,4	4,55	8,2
Киргизская	198,5	48,7	48,7	13,1	13,1
Таджикская	143,1	47,4	95,3	11,5	23,1
Туркменская	488,1	1,13	70,9	0,38	23,6
Молдавская	33,7	1,31	12,7	0,33	3,16
Латвийская	63,7	15,2	31,9	6,00	12,5
Литовская	65,2	12,8	23,2	3,70	6,7
Эстонская	45,1	10,9	15,6	7,3	10,4
Грузинская	69,7	53,3	61,2	10,4	12,0
Армянская	29,8	6,19	8,96	1,95	2,6
Азербайджанская	86,6	7,78	28,0	1,23	4,44
СССР	22274,9	4414	4740	16,4	17,6

* Население взято на 01.01.1982 г. (Население СССР. Справочник. М. 1983.

Таблица 1.4

**Водные ресурсы экономических районов СССР
на уровень 1980 г.**

Экономический район	Площадь, тыс. км ²	Водные ресурсы, км ³ /год	
		местного формирования	суммарные
Северный	1466,3	494	511,6
Северо-Западный	196,5	47,7	89,4
Центральный	485,1	88,6	112,6
Центрально-Черноземный	167,7	16,1	21,0
Волго-Вятский	263,3	47,8	151,8
Приволжский	536,4	31,5	270
Северо-Кавказский	355,1	44,0	69,3
Уральский	824,7	122,7	129
Западно-Сибирский	2427,2	513	585
Восточно-Сибирский	4122,8	1097	1132
Дальневосточный	6215,9	1538	1812
Прибалтийский	189,1	41,6	70,9
Белорусский	207,6	34,1	55,8
Юго-Западный	269,4	39,2	77,0
Южный	113,4	1,97	193,8
Донецко-Приднепровский	220,9	11,2	65,9
Закавказский	186,1	67,3	77,7
Казахстанский	2717,3	69,4	125,4
Среднеазиатский	1277,1	106,4	131,0
Молдавский	33,7	1,31	12,7

Таблица 1.5

Сезонное распределение речного стока

Район	Сезонный сток, % годового стока		
	весна	лето — осень	зима
Южная часть Заволжья, Южное Приуралье, Северный и Центральный Казахстан	90—95	4—8	1—2
Восточная Сибирь	70—80	15—25	5
Север ЕТС (кроме озерных рек) и Прибалтика	55—65	25—35	10—20
Запад и Юго-Запад ЕТС	30—50	30—35	20—35
Западная Сибирь	45—55	35—45	10
Крайний Север и Северо-Восток Сибири	40—50	45—55	5
Дальний Восток, Камчатка, Забайкалье, Яно-Индигоирский район	30—40	55—65	

Таблица 1.6

Реки СССР

Градации	Длина рек, км	Количество
Самые малые	Менее 10	2812587
	11—25	113074
Малые	26—50	24110
	51—100	8623
Средние	101—200	2857
	201—300	630
	301—500	357
Большие	501—1000	197
	Более 1000	63
ВСЕГО:		2963398

В последние годы все большую роль приобретают искусственные водоемы — водохранилища. Динамика роста водохранилищ представлена в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Динамика создания водохранилищ в СССР
(объем не менее 100 млн. м³)

Годы заполнения	Количество водохрани- лищ	Объем, км ³		Площадь водного зеркала, км ²	
		полный	полезный	включая площадь подпертых озер	за исклю- чением под- пертых озер
До 1958	68	201	119	38080	24440
1958—1972	89	629	290	78300	40660
1973—1985	58	320	142	20190	17570
ВСЕГО	215	1150	551	136570	82670

1.2. Использование водных ресурсов

История современного общества показывает, что по мере экономического и социального развития общества потребность в воде и ее использование в народном хозяйстве непрерывно возрастают.

В нашей стране в основе водопользования лежит государственная собственность на воду. Общее водопользование осуществляется в порядке, установленном Основами водного законодательства и во многих случаях требует оплаты. Количество потребляемой воды зависит от вида водопользования, от тех функций, которые вода выполняет при ее использовании.

Динамика водопотребления различными отраслями хозяйства в СССР дана в табл. 1.8. Из таблицы видно, что общее водопотребление в СССР растет. За последние два десятилетия оно увеличилось почти втрое. Изменилась и структура водопотребления. В настоящее время основной водопотребитель — сельское хозяйство (около 54 %). Потребление воды промышленностью составляет 27 %. Потребление воды в течение года крайне неравномерно и характеризуется сезонным, месячным и внутрисуточным потреблением.

Динамика водопотребления в СССР (км³/год)
по данным И. А. Шикломанова [14]

Таблица 1.8

Водопотребитель	Годы							
	1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Коммунальное хозяйство	$\frac{1,6}{0,6}$	$\frac{3,0}{0,9}$	$\frac{3,5}{8,9}$	$\frac{5,0}{1,0}$	$\frac{9,7}{1,7}$	$\frac{20}{2,6}$	$\frac{33}{3,4}$	$\frac{42}{4,0}$
Промышленность	$\frac{1,0}{0,1}$	$\frac{7,0}{0,5}$	$\frac{10}{0,8}$	$\frac{25}{1,7}$	$\frac{66}{2,8}$	$\frac{108}{5,7}$	$\frac{185}{10,8}$	$\frac{220}{12}$
Сельское и рыбное хозяйство	$\frac{40}{26}$	$\frac{77}{47}$	$\frac{89}{53}$	$\frac{105}{64}$	$\frac{149}{90}$	$\frac{236}{139}$	$\frac{317}{181}$	$\frac{420}{238}$
Водохранилища	$\frac{0}{0}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{18}{18}$	$\frac{21}{21}$	$\frac{22}{22}$
Сумма (с округлением)	$\frac{43}{27}$	$\frac{88}{49}$	$\frac{104}{57}$	$\frac{145}{77}$	$\frac{239}{108}$	$\frac{380}{170}$	$\frac{560}{220}$	$\frac{700}{280}$

Примечание. В числителе — полное, в знаменателе — безвозвратное водопотребление.

Кратко остановимся на использовании водных ресурсов отдельными отраслями народного хозяйства.

Коммунальное хозяйство. Здесь вода расходуется для удовлетворения питьевых и других нужд населения, для бытового обслуживания, отопления домов, полива и т. д. Особенность коммунально-бытового водопотребления — высокая требовательность к качеству воды и стабильность ее подачи. Ограничения и перебои

в подаче воды недопустимы. Это положение закреплено в Основах водного законодательства.

Один из показателей потребления воды коммунальным хозяйством — удельное водопотребление (суточный объем воды на 1 жителя в литрах). Эта величина зависит от степени благоустройства города, численности населения, климатических условий.

Общий расход воды (л/с) на коммунально-бытовые нужды населенного пункта может быть определен по формуле

$$Q = \frac{N q_n k_{\text{ч}} k_{\text{сут}}}{86,4 \cdot 10^3},$$

где N — численность населения; q_n — среднесуточная норма потребления воды, л/сут (на 1985 г. она равна 363 л/сут); $k_{\text{ч}}$, $k_{\text{сут}}$ — коэффициенты неравномерности — часовой и суточный.

Промышленность. В системе водного хозяйства страны промышленность выступает одним из основных потребителей воды. Вода здесь используется для выпуска продукции, как теплоноситель, как растворитель, средство транспортировки и т. д. Расходование воды промышленными предприятиями целиком зависит от характера производства, от схемы водоснабжения. По объему водопотребления отрасли промышленности делятся на водоемкие и неводоемкие. При этом вводятся понятия удельная водоемкость производства, или удельное водопотребление, и общая водоемкость предприятия. В количественном отношении — это расход воды на единицу промышленной продукции, который зависит от мощности предприятия, схемы технологического процесса и режима использования воды. Табл. 1.9 характеризует величины удельного водопотребления в отдельных отраслях промышленности. Величина удельного водопотребления, как видим, даже для выпуска одной и той же продукции различна. И здесь оказывает влияние не только технология производства, но и климатические условия.

Таблица 1.9

Удельное водопотребление в отдельных отраслях промышленности (тонн воды на 1 т продукции)

Вид продукции	Расход воды
Синтетическое волокно	2500—5000
Синтетический каучук	2000—3500
Искусственные ткани	4000
Никель	500
Медь	160—200
Чугун	400—800
Бумага	600
Азотные удобрения	

Наиболее водоемкими являются такие отрасли, как химическая, целлюлозно-бумажная, черная и цветная металлургия.

Критерием рациональности использования воды в промышленности служат коэффициенты оборота и использования воды, которые рассчитываются по формулам

$$K_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{заб}} 100\%,$$

$$K_{исп} = \frac{Q_{заб} - Q_{ст}}{Q_{заб}^*},$$

где $Q_{об}$ и $Q_{заб}$ — количество воды, находящейся в обороте и забираемой из источника; $Q_{заб}^*$ — количество воды забираемой из источника водоснабжения без учета воды, поступающей в систему водоснабжения вместе с сырьем; $Q_{ст}$ — количество сточных вод промышленного предприятия.

Энергетика — следующий крупный потребитель воды. Современные тепловые электростанции мощностью 1—1,2 млн. кВт потребляют 1,2—1,6 км³ воды в год (40—50 м³/с воды). Учитывая такой объем потребляемой воды, ТЭС располагают вблизи крупных водных объектов и обеспечивают прямоточной системой водоснабжения.

Новым потребителем воды являются атомные электростанции. Их водопотребление близко к ТЭС, однако удельные расходы охлаждающей воды увеличиваются в 1,8—2,0 раза.

Особое место занимают гидроэлектростанции, с которыми связано регулирование стока, межбассейновые переброски и т. д. На 1977 г. в СССР эксплуатировалось 206 ГЭС с общей мощностью более 43 млн. кВт при среднегодовой выработке энергии около 160 млрд. кВт.

В последние годы появился интерес к гидроаккумулирующим станциям (ГАЭС), главное назначение которых состоит в покрытии суточных нагрузок.

Сельское хозяйство — постоянный водопотребитель в основном с безвозвратным водопотреблением. Вода расходуется на орошение, обводнение и сельскохозяйственное водоснабжение. На 1985 г. в СССР орошаемых площадей более 20 млн. га. Нормы орошения (м³/га) зависят от сельскохозяйственной культуры и географической зоны:

хлопчатник	5000—8000
сахарная свекла	2500—6000
зерновые	1500—3500
овощи	1200—4000
рис	800—15000

В целом на орошение используется более 200 км³ воды, при этом более 120 км³ потребляется безвозвратно.

1.3. Правовая охрана природы

1.3.1. Вопросы правовой охраны природы

При современном росте промышленного производства в условиях научно-технической революции проблема охраны окружающей природной среды стала одной из важнейших общегосударственных задач, что нашло отражение в документах съездов нашей партии, в планах пятилетнего развития страны.

Наибольшие антропогенные воздействия на природную среду происходят в процессе материального производства. Поэтому охрана природы осуществляется в первую очередь в сфере производственной деятельности путем обеспечения рационального использования природных ресурсов.

В вопросах охраны природы и использовании ее богатств поддерживается правопорядок и режим законности для всех. На современном этапе можно сказать, что в политике нашей партии и государства возникло новое направление — экологическая политика, основы которой были заложены еще В. И. Лениным. В экологической политике нашего государства можно выделить три главных направления: профилактика, устранение прошлых ошибок и сохранение в неприкосновенности особо ценных природных объектов.

Первое направление связано с предупреждением возникновения вредных антропогенных воздействий на природу. Оно распространяется на всю экономику, для ее организации формируются свои формы и методы организационно-правового характера. Создана специальная экологическая экспертиза проектов. **Второе направление** — борьба за исправление ранее допущенных экологических ошибок, устранение производственных воздействий на природу, которые были допущены в то время, когда не уделялось должного внимания проблемам охраны природы. И наконец, **третье направление** экологической политики нашего государства — принятие мер для сохранения человечеству уникальных природных комплексов путем создания национальных парков, заповедников, заказников, т. е. таких мест природы, где естественные процессы проходят при отсутствии влияния человеком. Правильное сочетание основных направлений экологической политики является гарантией успеха в деле охраны природы.

Советское природоохранительное законодательство представляет собой совокупность нормативно-правовых актов, определяющих порядок и условия охраны природы в СССР, деятельности государственных, общественных организаций в области охраны природной среды, права и обязанности природопользователей, их ответственность за нарушение природоохранных правил. Природоохранительное законодательство является юридической основой правовой охраны природы в СССР. Общие природоохранительные требования закреплены в Конституции СССР, союзных и автономных республик.

Общее руководство в проведении всех мероприятий по охране природы осуществляют высшие органы государственной власти и государственного управления Союза ССР: Верховный Совет СССР, Президиум Верховного Совета СССР и Совет Министров СССР. Текущее оперативное регулирование и контроль в области охраны природной среды возложены на ряд министерств и ведомств. На Государственный Комитет СССР по гидрометеорологии возложены наблюдения за состоянием атмосферного воздуха, водоемов и поверхности земли (мониторинг) с предоставлением соответствующей информации государственным органам.

В целях координации и контроля природоохранительных работ различных органов созданы Комиссии Президиумов Совета Министров СССР и Советов Министров союзных республик по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

Вопросы охраны природы находятся под контролем прокуратуры, суда и арбитража. Эти органы добиваются строгого выполнения законодательства об охране природы. Эти же вопросы входят в круг ведения органов народного контроля.

Таким образом, в нашей стране создан аппарат государственного управления по обеспечению рационального использования и сохранению природных богатств.

1.3.2. Правовая охрана вод

Забота о природе неотделима от бережного отношения к воде. Особенно это относится к районам, где запасы водных ресурсов ограничены. Чрезмерное расходование воды тяжело отражается на экономике, а значит, и на природе. Поэтому необходимо обеспечить рациональное использование и охрану вод всеми доступными нашему обществу средствами, включая и правовые.

Наиболее детально вопросы правовой охраны вод от загрязнения и истощения освещены в Основах водного законодательства, в различных нормативных актах и постановлениях. Среди последних хотелось бы отметить в области водных ресурсов следующие: постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 21.07.1977 г. «О мерах по дальнейшему обеспечению охраны и рационального использования природных богатств бассейна озера Байкал»; от 28.09.1978 г. «О мерах по охране и рациональному использованию природных ресурсов озера Севан»; «Положение о государственном контроле за использованием и охраной вод», утвержденное постановлением Совета Министров СССР от 22.06.1979 г.; постановление Совета Министров СССР от 1.08.1977 г. «О порядке ведения Государственного водного кадастра»; от 16.11.1977 г. «О дополнительных мерах по охране Каспийского моря от загрязнения»; от 5.04.1978 г. «О возмещении убытков, причиненных проведением водохозяйственных мероприятий, прекращением или изменением условий водопользования» от 2.10.1978 г. «О порядке организации и координации

мероприятий, обеспечивающих надлежащее техническое состояние и благоустройство водохранилищ и о выполнении этих мероприятий»; от 8.10.1980 г. «Об усилении охраны малых рек от загрязнения, засорения и истощения и о рациональном использовании их водных ресурсов»; от 1984 г. «О дополнительных мерах по обеспечению охраны и рационального использования водных и других ресурсов бассейна озер Ладожского, Онежского и Ильмень» и другие.

Несмотря на принятые постановления, проблема охраны вод остается сложной и во многом не решенной. Экономика развивается, для ее нужд происходит увеличение изъятия воды. Так, с 1950 г. по настоящее время ежегодное водопотребление воды в стране возросло с 86 до 320 км³ и продолжает расти. Не решена задача полного устранения промышленного загрязнения водоемов. И здесь необходимо назвать постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 1.12.1978 г. «О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов», согласно которому надлежит: усилить контроль за проектированием, строительством новых и реконструкцией действующих предприятий в части соблюдения «Правил» охраны окружающей природной среды от загрязнения вредными выбросами; обеспечить широкое применение малоотходной технологии, безводных технологических процессов, оборотного водоснабжения, бессточных систем водоснабжения и других прогрессивных методов защиты окружающей среды от загрязнения.

При рассмотрении мероприятий по охране вод от загрязнения необходимо обращать внимание на планируемое увеличение объема производства продукции и рост мощностей канализационных и водоочистных систем. Если здесь нет согласованности, то неизбежна перегрузка систем по очистке вод и налицо загрязнение водоемов.

Еще один этап мероприятий по охране вод — своевременное и доброкачественное строительство систем и сооружений по очистке сточных вод. Но введение в строй современной системы оборотного водоснабжения и очистки сточных вод еще не дает гарантии от загрязнения водных объектов. Необходимо обеспечить правильную эксплуатацию этих систем — технически грамотно и наиболее эффективно. Нарушение этих требований может служить причиной экологических катастроф на водных объектах, а это уже связано с ответственностью виновных лиц и возмещением причиненного ущерба.

1.3.3. Правовая охрана малых рек

Согласно ГОСТ 19179-73. «Гидрология суши. Термины и определения» малая река — это река, бассейн которой располагается в одной географической зоне и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны, а водосборный бассейн не превышает 2000 км².

С точки зрения протяженности самая малая и малая река имеют длину до 100 км. В СССР на долю малых рек приходится 99,9 % общего числа водотоков, а суммарная их длина около 91 % общей длины всех рек. Еще до недавнего времени вопросы охраны вод рассматривали в основном на крупных водных объектах, забывая о малых реках, хотя еще проф. Б. Е. Поляков в 1945 г. говорил о значении малых рек.

В результате промышленного, хозяйственного и жилищного освоения территорий малые реки меняли свой режим, загрязнялись, а многие из них просто перестали существовать. В какой-то степени это можно связать с отсутствием в то время правового положения о малых реках.

В 1970 г. по инициативе Всероссийского общества охраны природы возникло движение под девизом «Малым рекам — полноводность и чистоту!» В задачу этого движения входило: учет малых рек, а также усиление контроля за сбросом сточных вод и других отходов в русла малых рек и прилегающих к ним территорий. Совет Министров СССР 8.10.1980 г. принимает постановление «Об усилении охраны малых рек от загрязнения, засорения и истощения и о рациональном использовании их водных ресурсов». В постановлении указывается, что реки протяженностью до 200 км являются малыми. В структуре Министерства мелиорации и водного хозяйства РСФСР создано новое подразделение — Служба малых рек. В январе 1981 г. Совет Министров РСФСР утвердил своим постановлением «Положение о водоохраных полосах (зонах) малых рек РСФСР», которое распространяется на реки длиной от 10 до 200 км. В соответствии с этим Положением водоохранной зоной является территория, прилегающая к акваториям малых рек, на которой устанавливается специальный режим в целях предотвращения загрязнения, засорения, истощения и заиления водных объектов. В состав водоохранной зоны могут включаться поймы рек, надпойменные террасы, бровки и крупные склоны коренных берегов, а также балки и овраги, непосредственно впадающие в речную долину. В пределах водоохранной зоны по берегам малых рек выделяется прибрежная полоса, представляющая собой территорию строгого ограничения хозяйственной деятельности. Наименьшая ширина (м) водоохранной зоны устанавливается от среднесезонного уреза воды в летний период в следующих размерах:

для рек длиной до 50 км	100
для рек длиной до 100 км	200
для рек длиной свыше 100 км	300

В водоохраных зонах малых рек запрещается:

- применение опыления ядохимикатами;
- размещение складов для хранения ядохимикатов и минеральных удобрений, площадок для заправки аппаратуры ядохи-

микатами, животноводческих комплексов, ферм, мест захоронения и складирования навоза, свалок мусора, а также устройство взлетно-посадочных полос для ведения авиационно-химических работ;

— строительство новых и расширение действующих промышленных предприятий;

— стоянка, заправка топливом, мойка и ремонт автотранспорта;

— мочка льна, конопля, мочал, кож;

— проведение, без соответствующего согласования, замыва пойменных озер и стариц.

Размер прибрежных полос на малых реках устанавливается в зависимости от характеристики прилегающих к водоемным угодьям (пашни, сенокосы и т. д.) и крутизны склонов согласно табл. 1.10.

Таблица 1.10

Размер прибрежных полос на малых реках

Вид угодий, прилегающих к водоему	Ширина прибрежной полосы (м) при крутизне прилегающих склонов		
	обратный и нулевой уклон	до 3°	более 3°
Пашня	15—30	35—55	55—100
Пастбища и сенокосы	15—25	25—35	35—50
Лес, кустарник	35	35—55	55—100

Примечание. Максимальные значения относятся к наиболее эродируемым почвогрунтам.

На горных реках ширина прибрежной полосы определяется в каждом конкретном случае с соответствующей службой. В пределах населенных пунктов размер прибрежной полосы устанавливается исходя из конкретных условий планировки и застройки участка. В районах приусадебных, дачных и садовых участков, примыкающих к малым рекам, прибрежная полоса может не устанавливаться при условии такого использования земельных участков, которое исключает вредное влияние на малые реки.

Прибрежные зоны, как правило, должны быть заняты древесно-кустарниковой растительностью. В пределах прибрежной полосы запрещается: распашка земель, выпас и организация летних лагерей скота, применение ядохимикатов и удобрений, производственное строительство, строительство баз отдыха и палаточных городков.

Для ручьев и мелких рек длиной до 10 км ширина водоохранной зоны может быть равна 15 м.

Поддержание в надлежащем состоянии водоохранных зон и прибрежных полос малых рек с соблюдением режима использования их территории возлагается на руководителей организаций, в ведении которых находятся земельные угодья, расположенные в пределах водоохранных зон и прибрежных полос. Контроль за установлением указанных зон и полос, а также за соблюдением их режима возлагается на Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР, его органы на местах, Советы Министров автономных республик, крайисполкомы и облисполкомы. Виновные в нарушении рассмотренных требований в отношении водоохранных зон и прибрежных полос малых рек несут ответственность согласно действующему законодательству.

Глава 2. ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД. ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

2.1. Общие сведения

В своем естественном состоянии вода на Земле представляет достаточно сложный раствор различных минеральных и органических веществ, который и принято называть природной водой в отличие от химически чистой H_2O . В зависимости от размеров частиц растворенного вещества растворы могут быть истинными или коллоидными. Истинные растворы содержат растворенное вещество с молекулярной степенью дисперсности (в виде ионов или недиссоциированных молекул) с размерами частиц меньше $n \cdot 10^{-9}$ м. В коллоидных растворах вещество распределено в виде групп молекул (коллоидные частицы) с размерами частиц в интервале $n \cdot 10^{-9} — n \cdot 10^{-7}$ м. Водные системы, содержащие вещество с частицами больших размеров, не являются растворами, их относят к грубодисперсным системам (суспензии, эмульсии).

В гидрохимии под химическим составом природных вод понимают весь комплекс растворенных минеральных и органических веществ, находящихся в ионно-молекулярном и коллоидном состоянии.

В химическом составе природных вод принято выделять следующие группы:

1. Главные ионы, определяющие в основном величину минерализации воды: анионы хлоридные (Cl^-), сульфатные (SO_4^{2-}), гидрокарбонатные (HCO_3^-), карбонатные (CO_3^{2-}), катионы натрия (Na^+), калия (K^+), магния (Mg^{2+}), кальция (Ca^{2+});

2. Биогенные вещества: нитраты (NO_3^-), нитриты (NO_2^-), аммоний (NH_4^+), фосфаты (PO_4^{3-}), кремний (Si), а также органические соединения азота и фосфора;

3. Органические вещества — комплекс истинно растворенных и коллоидных органических соединений, общее содержание которых определяется по органическому углероду (C_{org}) или по косвенным характеристикам: цветности, окисляемости биохроматной и перманганатной;

4. Растворенные газы (кислород O_2 , углекислый газ CO_2 , сероводород H_2S и др.);

5. Микроэлементы — элементы, содержащиеся в природных водах в очень малых концентрациях, в микрограммах на литр (мкг/л); среди них различают подгруппы:

- типичные катионы (Li^+ , Pb^+ , Cs^+ , Be^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} и др.);
- алефотерные комплексообразователи (Cr, Mo, V, Mn);
- типичные анионы (Br^- , J^- , F^- , B);
- радиоактивные элементы.

6. Ионы водорода, концентрация которых, выраженная через показатель $pH = -\log[H^+]$, определяет кислотно-щелочное равновесие водных растворов.

Помимо перечисленных выше ингредиентов, для суждения о составе воды используют определения ряда характеристик, из которых наиболее известны жесткость (обусловленная наличием солей щелочноземельных металлов), щелочность (обусловленная содержанием анионов слабых кислот), агрессивность (свойство разрушать металлы, бетон, известковые материалы при воздействии на них растворенными веществами).

Для изучения и оценки антропогенного влияния на химический состав и качество природных вод в настоящее время определяют ряд дополнительных показателей и техногенных компонентов состава вод. Наиболее распространенные из них перечислены ниже.

Одним из наиболее важных является определение величины биохимического потребления кислорода — БПК (mgO_2/l). Оно расходуется на окисление микроорганизмами содержащихся в воде органических веществ в основном нестойких, легкоусвояемых, значительная часть которых поступает в водные объекты с бытовыми и производственными сточными водами. Наиболее широко применяется определение этой величины после 5-суточной инкубации пробы воды — БПК₅. Поскольку экспериментальное определение полного потребления кислорода на биохимическое окисление (БПК_п) затруднительно, на практике его чаще определяют расчетным путем по соотношению $БПК_p = 1,4 + 1,6 БПК_5$ (конкретное значение коэффициента зависит от состава сточных вод) или в лабораторных условиях после 20-суточной инкубации (БПК₂₀).

Широко распространенным загрязняющим веществом являются нефтепродукты. Они представляют непостоянную, чрезвычайно разнообразную смесь низко- и высокомолекулярных предельных, непредельных, ароматических углеводов, а также ненасыщен-

ных гетероциклических соединений типа смол, асфальтенов. Углевodородная фракция нефтепродуктов, которая определяется аналитически, составляет 70—90 % от суммы всех веществ, содержащихся в продуктах ее переработки. При оценке нефтяного загрязнения водных объектов особенно важно учитывать разнообразные миграционные формы нефтепродуктов: пленочную, растворенную, эмульгированную, сорбированную.

Весьма широко в природных водах распространены фенольные соединения, большая часть которых поступает со сточными водами химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности, но некоторая часть образуется в результате естественных процессов биохимической трансформации органических веществ.

Фенолы представляют обширный класс химических соединений, обычно подразделяемый на группу летучих с водяным паром фенолов (карболовая кислота, крезолы, ксиленолы, тимал, гваякол) и нелетучие фенолы (резорцин, пирокатехин, гидрохинон и др.). Наиболее токсичны летучие фенолы, которые обычно и принято контролировать, выражая их суммарное содержание в форме простейшего фенола C_6H_5OH (карболовой кислоты).

Появление синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) полностью обусловлено влиянием антропогенных факторов. Они представляют обширную группу соединений, молекулы которых состоят из малополярного радикала R (например, алкила и нескольких полярных групп. Среди СПАВ различают анионоактивные, катионоактивные и неионогенные вещества. Большая часть выпускаемых промышленностью СПАВ представлена анионоактивными, которые в воде образуют отрицательно заряженные органические ионы. Присутствие СПАВ в воде ухудшает ее органолептические свойства и газовый режим.

Весьма обширный класс техногенных веществ представляют пестициды (ядохимикаты), используемые в сельском и лесном хозяйстве для борьбы с болезнями и вредителями растений. Различают две основные группы пестицидов: хлорорганические (ДДТ, ГХИГ, пропаназ и др.) и фосфорорганические (карбофос, хлорофос и др.). Представители 1-ой группы обычно хорошо растворимы. Фосфорорганические пестициды труднорастворимы в воде и мигрируют в виде суспензий и в сорбированной форме.

2.2. Классификация природных вод по минерализации и химическому составу

Большое разнообразие химических веществ, содержащихся в воде различных объектов гидросферы — от атмосферных осадков до Мирового океана и глубинных подземных вод, — делает весьма трудной задачу систематизации данных о концентрациях растворенных минеральных и органических веществ. Такую систе-

матизацию проводят обычно на основе той или иной схемы гидрохимической классификации. В настоящее время общепризнанной является следующая классификация природных вод по величине минерализации, г/кг:

пресные	1,0
солончатые	1—25
с морской соленостью . . .	25—50
рассолы	50

Верхняя граница пресных вод определяется вкусовым порогом восприятия человеком солености (свыше 1 г/л). Граница между солончатыми и водами с морской соленостью установлена в 25 г/кг по совпадению здесь температуры замерзания и максимальной плотности воды. Граница между водами морской солености и рассолами установлена в 50 г/кг в связи с тем, что в морях, как правило, не наблюдается водных масс с большим содержанием солей.

Применительно к пресноводным объектам существует более дробная градация вод по степени минерализации; мг/л:

ультрапресные	до 100
маломинерализованные	до 200
среднеминерализованные	200—500
с повышенной минерализацией	500—1000

Из большого числа предложенных разными авторами гидрохимических классификаций в СССР наибольшее распространение среди гидрохимиков получила классификация О. А. Алекина. В ней весьма удачно сочетается принцип деления по преобладающим анионам и катионам с делением по соотношениям между ними.

К преобладающим ионам относятся ионы с наибольшим относительным содержанием (%) в пересчете на количество вещества эквивалента (% экв.) Все природные воды делятся по преобладающему аниону на три класса (рис. 2.1): гидрокарбонатные и карбонатные ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), сульфатные (SO_4^{2-}) и хлоридные (Cl^-) воды.

К гидрокарбонатным водам относится большая часть пресных вод озер, рек, водоносных горизонтов зоны активного водообмена. К хлоридному классу принадлежат обычно высокоминерализованные воды океана, морей, соленых озер, многие виды подземных вод. Воды сульфатного класса являются промежуточными между рассмотренными выше классами и обычно связаны с осадочными породами.

Каждый класс делится по преобладающему катиону на три группы: кальциевую, магниевую и натриевую. Далее каждая группа подразделяется на четыре типа вод, определяемых соотношениями между ионами (в эквивалентных концентрациях).

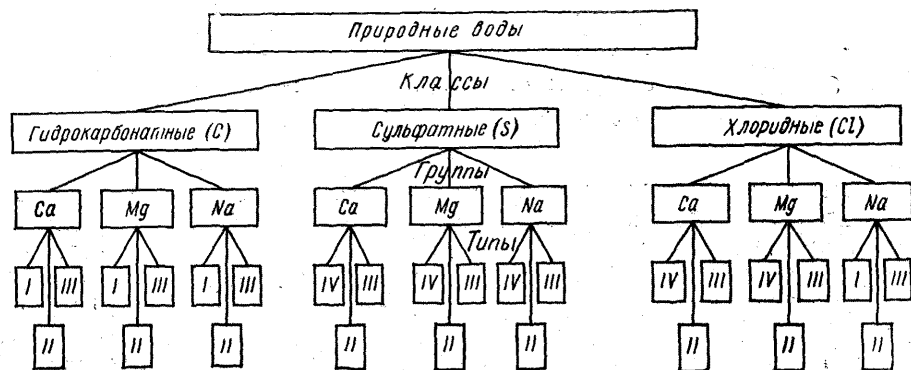


Рис. 2.1. Схема классификации природных вод по преобладающему аниону и катиону и соотношению между главнейшими ионами.

I тип — с соотношениями $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$; формирование состава происходит за счет химического выветривания изверженных горных пород или при ионном обмене в почвенно-грунтовой толще Ca^{2+} и Mg^{2+} на Na^+ ; водам этого типа обычно свойственна невысокая минерализация.

II тип — с соотношением $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$, состав вод генетически связан с осадочными породами и продуктами выветривания коренных пород; характерен для речных, озерных и подземных вод с малой и умеренной минерализацией.

III тип — с соотношением $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ или $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$; состав вод является продуктом процессов метаморфизации, характерен для сильно минерализованных вод (морей, океанов, соленых озер, рассолов).

IV тип — с соотношением $\text{HCO}_3^- = 0$, что свойственно кислым водам (болотным, вулканическим, рудничным, шахтным), величина pH для вод такого типа не может быть выше 5.

2.3. Основные факторы формирования состава природных вод

Под формированием химического состава воды принято понимать совокупность процессов, приводящих к образованию того или иного состава растворенных в ней минеральных и органических веществ.

Факторы, определяющие состав воды, подразделяют на прямые, непосредственно действующие на воду, обогащающие ее рас-

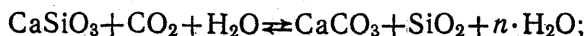
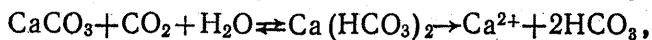
творенными веществами или, напротив, выделяющие их из воды, и косвенные, определяющие условия взаимодействия воды с веществами.

К прямым факторам относятся:

а) горные породы и минералы, являющиеся первоисточниками состава природных вод. В результате протекания разнообразных процессов химического выветривания воды обогащаются солями CaCO_3 , MgCO_3 , NaHCO_3 , KHCO_3 , K_2SO_4 , MgSO_4 , NaCl и рядом других. При этом основным действующим агентом является вода, и взаимодействие с изверженными породами протекает по схеме гидролиза, например, для минерала альбита в виде реакции



Примером углекислотного выветривания осадочных горных пород, протекающего при участии углекислого газа, являются реакции

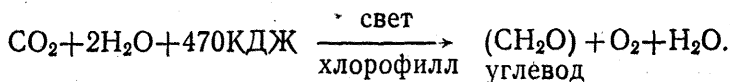


б) почвенный покров, обогащающий фильтрующиеся водные растворы минеральными и органическими компонентами, образующимися в почве в результате жизнедеятельности растительных и животных организмов. Интенсивность поступления веществ из почвы в воду и их состав определяются во многом типом почвы. При просачивании через торфяные или подзолистые почвы вода обогащается в основном органическими веществами, повышается ее цветность и окисляемость. Черноземные, каштановые и особенно солончаковые почвы существенно повышают минерализацию инфильтрующейся воды. Существенным фактором изменения ионного состава воды при ее просачивании через почву является протекание обменных реакций между ионами воды и ионами почвенного поглощающего комплекса (ПК). Входящие в состав ПК отрицательно заряженные коллоидные частицы обуславливают поглощение из почвенного раствора катионов, в связи с чем в природных водах происходит преимущественно катионный обмен. Между ПК и водным раствором устанавливается подвижное равновесие типа $2\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}(\text{ПК}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{Na}^+(\text{ПК})$. При увеличении концентрации Na^+ в воде равновесие сдвигается вправо и, наоборот, влево при ее уменьшении или при возрастании концентрации ионов Ca^{2+} . Аналогично происходят обменные реакции между другими видами ионов. По энергии обмена катионы располагают в следующий убывающий ряд (по К. К. Гедройцу): $\text{H}^+ > \text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$. Наибольшей обменной емкостью отличаются черноземные почвы;

в) биологический фактор связан с воздействием на химический состав воды жизнедеятельности растительных и животных организмов.

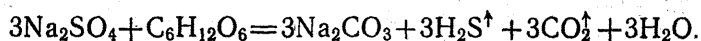
Избирательное поглощение ионов растениями влияет на состав воды и pH. Известна, например, способность ряда растений (галофитов) накапливать хлориды (полюнь) или сульфаты (кермек). Корни растений, выделяя в воду CO_2 , способствуют переводу в раствор карбонатов и других малорастворимых веществ.

Фотосинтетическая деятельность растений обогащает водную среду органическим веществом (первичной продукцией) — кислородом с соответствующим уменьшением CO_2 согласно основному уравнению фотосинтеза:

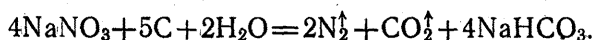


Важная роль в процессах метаморфизации химического состава природных вод принадлежит микроорганизмам, осуществляющим разложение органических соединений вплоть до простых минеральных веществ (Ca , H_2O , CH_4 и др.), а также многоступенчатые процессы биохимического окисления и восстановления многих химических элементов.

В природных водных объектах наиболее распространены бактерии сульфатредуцирующие (окисляющие серу до сульфатов) и десульфатизирующие (восстанавливающие сульфаты до H_2S), бактерии азотного цикла (аммонификаторы: денитрификаторы, нитрификаторы) и многие другие. Так, например, процесс десульфатизации, приводящий к снижению концентрации сульфатных ионов, протекает в анаэробных условиях при наличии органических веществ по схеме



Содержание нитратов в воде может уменьшаться за счет денитрификации:



К прямым факторам относят также и хозяйственную деятельность человека, формирующую техногенные потоки миграции многих химических элементов, в результате чего природный химический состав водных объектов может претерпевать резкие изменения. Подробно этот процесс рассматривается в 3 главе.

Косвенные факторы определяют интенсивность воздействия на природные воды перечисленных выше прямых факторов. К их числу прежде всего относят обычно климат, рельеф, водный режим. Все косвенные факторы тесно связаны между собой и в целом определяют условия окружающей среды, где происходит формирование химического состава вод. Все же можно отметить, что климатом определяется общий фон распределения влаги и тепла, влияющий на протекание гидрохимических процессов; с рельефом

связаны особенности водно-солевого режима почв и стекания атмосферных осадков. Водный режим рек и водоемов влияет на миграцию химических элементов, процессы смешения и разбавления генетически разных водных масс и в значительной мере определяет гидрохимический режим водного объекта.

2.4. Формирование химического состава речных вод

Речные воды являются продуктом географических ландшафтов, с которыми генетически связан их химический состав. Пространственное разнообразие состава речных вод определяется условиями их формирования в различных природных зонах и локальными особенностями разных физико-географических районов, а изменения химического состава во времени — со сменой типов водного питания речной сети в течение года, на что впервые обратил внимание выдающийся гидролог В. Г. Глушков. Эти вопросы были рассмотрены в работах гидрохимика П. П. Воронкова, который предложил в общем процессе формирования химического состава речных вод различать два основных направления: а) путем растворения горных пород, почв и минералов, газов атмосферы и почв; б) путем смешения вод различного генезиса.

Для вод местного стока основным процессом формирования является растворение минеральных и органических веществ, находящихся в почвенно-грунтовой толще водосборов. Для вод больших и средних рек преобладающим процессом является смешение.

Согласно П. П. Воронкову, местный сток представляет собой воды, образующиеся из атмосферных осадков, выпавших на поверхность достаточно однородного водосбора (ландшафта), и сформировавшие химический состав в процессе стекания в его пределах. При таянии снежного покрова или выпадении жидких осадков эти воды могут поступать в речные системы по следующим основным путям: а) по поверхности переувлажненных склонов; б) из временных водоносных горизонтов, образующихся на относительных водоупорах почво-грунтовой толщи; в) из грунтовой толщи в соответствии с гидравлическими уклонами постоянных водоносных слоев.

Химический состав атмосферных осадков, стекающих указанными путями, более или менее резко изменяется и становится своеобразным в зависимости от того, в каких слоях почвенно-грунтовой толщи заканчивается его формирование до поступления в речную сеть. Отсюда следует, что гидрохимический режим водотоков является отображением процесса смены преобладающего вида водного питания другим, который затем также становится преобладающим. Это позволяет по особенностям химического состава вод устанавливать тот путь, который они прошли при формировании данной части атмосферных осадков и, следовательно, определять их происхождение. Такой метод изучения процесса формирования стока в сущности аналогичен методу мече-

ных атомов (ионов), нашедшему широкое применение в гидрогеологии при решении соответствующих задач.

На основании привлечения современных гидрологических сведений и детальных гидрохимических исследований П. П. Воронковым (1955) было предложено, в соответствии с указанными выше путями стекания атмосферных осадков, различать следующие генетические категории вод (по происхождению):

1) **поверхностно-склоновые** — стекают по поверхности склонов, когда соответствующий почвенный слой находится в состоянии полной влагоемкости;

2) **почвенно-поверхностные** — стекают по микроручейковой сети и представляют собой смесь вод, стекающих по поверхности склонов и дренируемых из почвенного слоя соответственно глубине эрозионного вреза микроручейков;

3) **почвенно-грунтовые** — поступают из почвенно-грунтовой толщи (зоны аэрации), где в периоды обильного увлажнения водосбора возникают временные водоносные пласты («верховодка»), сюда же относятся и воды так называемого «берегового регулирования»;

4) **грунтовые** — поступают из постоянно существующих водоносных горизонтов, залегающих на первом от поверхности земли сплошном водоупоре.

Генетические категории вод, составляющие местный сток, могут быть выделены на гидрографе, исходя из физических условий образования на водосборе вод различного происхождения в определенные периоды года и закономерностей поступления этих вод в русловую сеть с учетом различия их химического состава. Данный способ генетического расчленения гидрографа (П. П. Воронков, 1955, 1963) применяется для количественной оценки генетических составляющих местного стока. В качестве примера на рис. 2.2 показано генетическое расчленение гидрографа стока р. Пялицы, впадающей в Белое море в юго-восточной части Кольского полуострова. Водосбор этой реки до створа у д. Пялицы составляет 946 км² при длине русла 92 км. В зимний период расход воды в реке обеспечивается поступлением грунтовых вод и в период наблюдений (1960 г.) составлял около 1,5 м³/с. Сток реки в это время отличается более или менее выраженным постоянством, а минерализация воды достигает максимальных величин (около 100 мг/л) при хорошо выраженном преобладании ионов HCO_3^- и Ca^{2+} . Устойчивое потепление и вызванный этим переход средней суточной температуры воздуха через 0° в данном году наступил 14 апреля. С этого времени началось непрерывное поступление талых вод в русловую систему р. Пялицы. Поверхностные слои почвенно-грунтовой толщи находились еще в мерзлом состоянии, и, следовательно, талые воды могли поступать в русло только стекая по промерзшей поверхности почвы. Повышение расходов воды в реке началось 15 апреля, и с этого дня в речном

стоке начинает быстро увеличиваться количество вод поверхностно-склонового происхождения и соответственно уменьшаться доля грунтовых вод. Указанное изменение в соотношении составляющих речного стока подтверждается изменением химического состава воды. Так, например, можно заметить резкое уменьшение минерализации воды и быстрое изменение в соотношении главных ионов — увеличение относительного содержания (% экв) ионов Cl^- и SO_4^{2-} , являющихся характерными ингредиентами вод снежного покрова данного района, и соответственное уменьшение содержания ионов HCO_3^- .

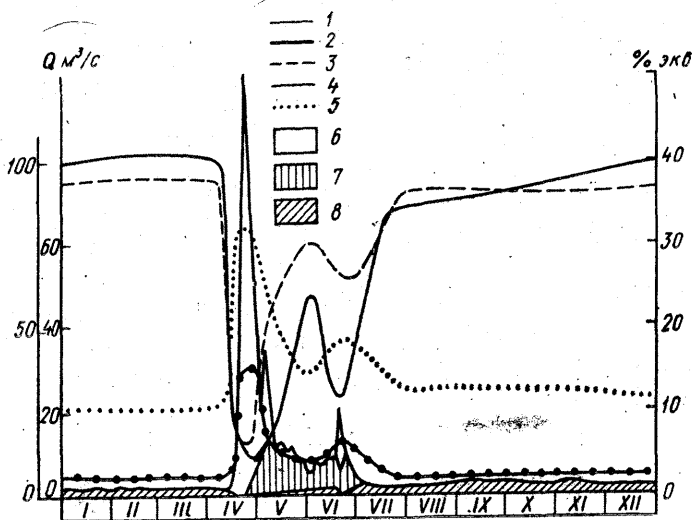


Рис. 2.2. Гидрохимический режим р. Пялица — д. Пялица ($F=946 \text{ км}^2$, 1960 г.) как отображение смены типов водного режима.

1 — $Q \text{ м}^3/\text{с}$; 2 — минерализация (ΣU); 3 — HCO_3^- ; 4 — SO_4^{2-} ; 5 — Cl^- ; 6 — воды склонового происхождения (поверхностно-склоновые и почвенно-поверхностные); 7 — воды почвенно-грунтового происхождения; 8 — воды грунтового происхождения

При расчленении гидрографа дождевого паводка учитывалось, что прекращение образования на водосборе склоновых вод определяется окончанием стокообразующей части дождя.

Образование на водосборах поверхностно-склоновых и почвенно-поверхностных вод происходит при обильном увлажнении почвенного покрова в периоды весеннего снеготаяния и выпадения дождей, когда в верхнем слое почвы достигается состояние полной влагоемкости. Преобладание этих вод в речной сети становится наиболее резко выраженным во время прохождения пика

половодья (паводков). Почвенно-грунтовые воды начинают поступать в русловую систему в начале спада половодья и паводков и, судя по особенностям химического состава воды, достигают преобладания в период, переходный от половодья (паводка) к межени. В остальное время года преобладающими в русловой сети являются грунтовые воды, причем в наиболее «чистом» виде они находятся здесь в периоды низкой межени.

Изучение местного стока по наблюдениям в замыкающем створе можно проводить лишь на таких малых водосборах, которые соответствуют определенным условиям, позволяющим выявлять химическое своеобразие вод его составляющих. В данной главе приводятся критерии достаточно малых водосборов (по П. П. Воронкову), в основу которых положены требования синхронности развития на водосборе основных гидрологических процессов и физико-географической его однородности.

Очевидно, что те водотоки, водосборы которых не соответствуют указанным условиям, не могут характеризовать особенности местного стока данного района. Такие водотоки (средние и крупные реки) следует изучать как самостоятельные водные объекты, поскольку они не поддаются обобщениям, так как в течение всего года питаются смесью вод различного происхождения. Таким образом, есть основание ресурсы поверхностных вод суши (в широком их понятии) той или иной достаточно обширной территории рассматривать состоящими из местного стока, изучаемого на основе малых рек, и вод остальных водных объектов, выходящих за рамки местного стока.

Составляющие местный сток воды различного происхождения в периоды преобладающей их роли на водосборе отличаются определенной сплошностью (повсеместностью), что и является физическим обоснованием для широкого обобщения количественных их характеристик в виде карт с изолиниями. Естественно, что в таком случае путем интерполяции можно получать необходимые сведения о гидрохимическом режиме неизученных малых водотоков.

Получение количественных характеристик генетических категорий местного стока путем расчленения соответствующего гидрографа имеет то преимущество, что постоянно развивающаяся сеть постов гидрометслужбы обеспечивает возможность количественной оценки местного стока обширных территорий страны. Другим достоинством упомянутого метода является возможность получения достоверных средних характеристик, поскольку указанные наблюдения ведутся в течение более или менее длительного времени, чем и обеспечивается накопление соответствующих материалов.

Количество вод различного происхождения для одного и того же водосбора может существенно колебаться от года к году вследствие изменчивости гидрометеорологических условий.

В Государственном гидрологическом институте в течение ряда лет проводилось обобщение материалов многолетних сетевых наблюдений Госкомгидромета на малых водосборах различных природных зон [21]. Путем генетического расчленения гидрографов стока рек, выполненного с привлечением данных по минерализации и химическому составу, определены объемы вод различного происхождения: склоновых (поверхностно-склоновых и почвенно-поверхностных), почвенно-грунтовых и грунтовых [22]. На основании полученного таким образом материала для среднего по гидрометеорологическим условиям года ниже дается количественная характеристика вод генетических категорий стока, формирующихся на водосборах тундровой, лесной, лесостепной и степной ландшафтных зон ЕТС, и выявляются их основные зональные черты. Характеристики генетических категорий местного стока рассчитаны примерно для пятисот малых речных водосборов.

Анализируя полученный материал, прежде всего необходимо отметить, что во всех ландшафтных зонах главной (по объему) генетической категорией местного стока являются воды склонового происхождения (поверхностно-склоновые и почвенно-поверхностные), составляющие в среднем от 40 до 90 % суммарного годового стока малых рек (табл. 2.1). Основным периодом существования на водосборе склоновых вод и преимущественного питания ими русловой сети во всех зонах является период весеннего снеготаяния. В западных районах подзоны смешанных лесов, лесостепной и степной зон существенное количество склоновых вод образуется и в другие периоды года: при выпадении обильных дождей или во время сильных зимних оттепелей (до 30—40 % от годового слоя склоновых вод). Преобладание склоновых вод в годовом объеме руслового стока наиболее резко выражено на водосборах степной зоны (более 70 %), а наименее — в лесной зоне (40—50 %). Столь большое значение для степной зоны вод микроручьевой сети может быть объяснено недостаточной увлажненностью почвогрунтов зоны аэрации в межень, в частности, в предвесенний период. Последнее приводит к тому, что в этой зоне талые и дождевые воды в значительной мере расходуются на повышение влажности почвогрунтов и лишь небольшой избыток над наименьшей влагоемкостью поступает в русловую сеть (воды почвенно-грунтового и грунтового происхождения). Вместе с тем по абсолютной величине (в мм слоя) наибольшее количество склоновых вод формируется на водосборах тундры и подзоны тайги (преимущественно 150—200 мм), что несомненно связано с высокой степенью общей влагонасыщенности водосборов данных территорий. По мере продвижения на юг, в соответствии с общим изменением климатических условий в сторону сухости, слой стока вод склонового происхождения постепенно уменьшается до 100—75 мм в подзоне смешанных лесов и до 50—10 мм в год в степной зоне.

Таблица 2.1

Обобщенные зональные характеристики генетических категорий вод местного стока (для среднего года)

Ландшафтная зона	Генетическая категория вод						Годовой слой стока, мм
	склоновые (поверхностно-склоновые и почвенно-поверхностные)		почвенно-грунтовые		грунтовые		
	мм слоя	% от общего стока	мм слоя	% от общего стока	мм слоя	% от общего стока	
Тундровая	250—150	50—65	90—110	20—30	80—150	15—25	340—450
Лесная							
подзона тайги	125—200	50—65	75—125	20—35	50—100	15—30	250—400
подзона смешанных лесов	50—150	40—60	25—75	20—30	50—100	20—35	150—300
Лесостепная	40—80	50—65	10—30	15—20	10—50	15—35	70—150
Степная	10—50	65—90	5—10	10—20	2—10	5—20	10—70

Воды почвенно-грунтового происхождения наибольшее значение имеют на водосборах тундры и тайги, где они часто являются второй по объему генетической категорией (20—30 % от общего руслового стока). Этому благоприятствуют высокая естественная влажность почвенно-грунтовой толщи, уменьшающая потери инфильтрующихся вод на ее увлажнение и резко выраженная здесь неоднородность фильтрационных свойств (слоистость) почв зоны аэрации.

На территории подзоны смешанных лесов и лесостепной зоны доля почвенно-грунтовых вод несколько снижается, и они нередко уступают водам грунтового происхождения. Последние наибольшего развития (в смысле преобладания в русловой сети) достигают в лесной зоне, особенно в подзоне смешанных лесов, где составляют 30—40 %. В лесостепной зоне, несмотря на резкое уменьшение слоя стока вод грунтового происхождения, их значение в формировании общего руслового стока останется в общем столь же существенным, как и для большей части лесной зоны (20—30 %), что является следствием соответствующего резкого уменьшения стока почвенно-грунтовых вод. Для территории степной зоны характерно наименьшее значение вод грунтового происхождения в общем русловом стоке, поскольку их доля уменьшается до 10—20 % и менее.

Своеобразие химического состава вод местного стока той или иной территории в значительной степени определяется объемами вод различного происхождения, формирующихся здесь в течение года (генетических составляющих местного стока) и их соотношениями.

Для определения направленности гидрохимических процессов, протекающих в лесостепной зоне, существенный интерес представляет то обстоятельство, что доля атмосферных осадков, способных здесь промывать верхнюю часть почвенно-грунтовой толщи, составляет в среднем 12 % и, следовательно, является промежуточной относительно значений, свойственных лесной и степной зонам.

Обобщение характеристик генетических категорий, составляющих местный сток на территории ЕТС, позволяет выявить основные закономерности формирования местного стока в различных географических зонах, которые в общих чертах можно свести к следующему. Среди стокообразующих факторов наиболее четко прослеживается влияние климатических условий, вследствие чего в распространении слоя местного стока на Европейской территории Союза проявляются ясно выраженные черты географической зональности. Из данных, приведенных в табл. 2.1, видно, что величина слоя стока вод склонового происхождения на равнинной территории ЕТС в общем закономерно уменьшается от 200—250 мм в тундре и на севере лесной зоны до 20—10 мм в южных степных районах. Для русловых вод почвенно-грунтового и грунтового происхождения также характерным является постепенное уменьшение слоя стока в указанном направлении: почвенно-грунтовых вод от 200 до 10 мм и грунтовых вод — от 150 до 2 мм.

Несомненно, что указанная закономерность географической изменчивости вод генетических категорий местного стока в основном определяется зональным изменением водного баланса — годового количества выпадающих атмосферных осадков, стока и величиной испарения с поверхности водосборов.

Природная зональность обнаруживается и в пространственном изменении гидрохимических характеристик вод местного стока, где также явно проявляется наличие широтной поясности. Одна из наиболее важных характеристик качества воды — общее содержание растворенных минеральных солей (минерализация) — для вод всех генетических категорий закономерно увеличивается с севера на юг, т. е. в противоположном, относительно размеров водного стока, направлении. Минерализация склоновых вод последовательно возрастает от крайне малых значений (10—30 мг/л), характерных для водосборов тундры (и лесотундры) до 200—600 мг/л на территории степной зоны. Для почвенно-грунтовых вод имеет место зональное изменение минерализации от 30—60 мг/л (тундровая зона) до 300—1000 мг/л (степная зона). Весьма отчетливо проявляется широтная зональность и в изменении минерализации вод грунтового происхождения — от 40—

200 мг/л на водосборах севера ЕТС до 1—4 мг/л на территории степной зоны. Указанная закономерность обусловлена, главным образом, уменьшением с севера на юг степени промываемости атмосферными осадками почвенно-грунтовой толщи водосборов, количественная оценка которой была рассмотрена выше. Аналогичным образом изменяются и некоторые другие характеристики химического состава воды, в частности, ее жесткость. В то же время уменьшение содержания в водах различного происхождения органических веществ, судя по цветности и окисляемости воды, происходит в обратном направлении, т. е. с юга на север. Таким образом, содержание растворенных в воде органических соединений понижается с уменьшением слоя атмосферных осадков, промывающих почвенно-грунтовую толщу.

Наличие широтной зональности отмечается и в отношении ионного состава вод. Однако проявление зональности ионного состава носит более сложный характер, поскольку большая часть территории ЕТС относится к зонам избыточного и достаточного увлажнения и за многовековой период хорошо отмыта от легко растворимых солей. На водосборах севера ЕТС воды всех генетических категорий стока отличаются хорошо выраженным гидрокарбонатным характером. По мере продвижения к югу повышается относительное содержание в ионном составе сульфатных и хлоридных ионов, которые становятся преобладающими на водосборах степной зоны (за исключением склоновых вод, где ионы легко растворимых солей «конкурируют» с гидрокарбонатными ионами).

Следует отметить, что наличие зональности в гидрохимических характеристиках речных вод отмечалось ранее в работах О. А. Алекина, которым была составлена гидрохимическая карта рек СССР по данным анализов проб воды, отобранных в летние периоды. При этом обобщение материалов производилось для речных вод средних и больших водосборов. Основные закономерности изменения гидрохимических характеристик местного стока различных природных зон впервые были установлены в работе [21].

Вместе с тем, анализируя количественные данные о стоке вод различного происхождения, можно выявить и влияние ряда неклиматических факторов.

Здесь в первую очередь необходимо отметить влияние рельефа, которое нередко обуславливает изменение стока и часто вызывает определенное повышение или понижение слоя стока вод различного происхождения. Как правило, хорошо выраженные возвышенности (Валдайская, Среднерусская, Донецкий кряж и другие) увеличивают слой стока склоновых и почвенно-грунтовых вод на 10—30 %, тогда как на плоских низинах наблюдается уменьшение стока этих вод на 10—20 %. Весьма заметным является в ряде случаев проявление особенностей геологического строения, включая литологический состав почвогрунтов. Влияние неглубокого

залегания карстующихся горных пород (известняка, гипса) или песчаных отложений на количественные характеристики генетических категорий местного стока проявляется в резком увеличении роли грунтовой составляющей местного стока при одновременном уменьшении склонового стока. Можно заметить, что отклонения от зональных характеристик сказываются в той или иной мере и на химическом составе вод. Вместе с тем, значительная заболоченность водосборов или широкое распространение в их пределах тяжелых глинистых пород приводят к существенному преобладанию поверхностно-склонового стока по сравнению с водами, стекающими в русловую сеть другими путями. В этом случае русловые воды отличаются повышенной цветностью и окисляемостью и меньшей минерализацией.

2.5. Принципы нормирования качества воды

Сведения о качестве природных вод, формирующемся под влиянием естественных и антропогенных факторов, необходимо учитывать при использовании водных объектов для всех видов водопользования: питьевого, культурно-бытового, рыбохозяйственном, техническом и т. д. Каждый вид водопользования предъявляет свои требования к качеству воды. В связи с этим большое значение имеет его нормирование, т. е. установленные значения показателей качества по видам водопользования.

В настоящее время разработаны и официально утверждены на общегосударственном уровне нормативы качества воды лишь для культурно-бытового, питьевого и рыбохозяйственного водопользования. Имеются ведомственные требования к качеству воды для отдельных видов технического и сельскохозяйственного водоснабжения. Поставлен вопрос о необходимости разработки экологических и природоохранных нормативов, способных предотвратить деградацию водных объектов как здоровой среды жизни водных организмов и оптимизировать взаимодействие природной среды и человеческого общества.

Прежде чем рассматривать принципы нормирования качества воды, необходимо определить само понятие о качестве воды, поскольку оно не совпадает с понятием о составе водных масс. Под качеством воды понимается характеристика состава и свойств воды, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования (ГОСТ 17.1.1.01-77. «Использование и охрана вод. Основные термины и определения»). Качество природных вод представляет собой совокупность физических, химических и биологических показателей. Оно характеризуется составом и количеством растворенных и взвешенных веществ, составом и содержанием биомассы гидробионтов и микроорганизмов, температурой, плотностью воды и другими физическими показателями. Соответственно этому оценка качества воды может производиться по фи-

зическим, химическим, бактериологическим и гидробиологическим показателям.

Нормирование качества поверхностных вод в нашей стране базируется на Основах водного законодательства, в частности, на общегосударственных «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», целью которых является предупреждение и устранение загрязнения водных объектов.

Под загрязнением водных объектов принято понимать процесс изменения состава и свойств природных вод в результате деятельности человека, приводящий к ухудшению качества воды для водопользования (ГОСТ 17403-72). Следовательно, состояние загрязнения наступает только в том случае, если действие антропогенных факторов (например, сброс сточных вод) приводит к нарушению норм качества воды.

Исходные предпосылки для разработки санитарно-гигиенического нормирования качества воды включают следующие основные принципы и положения (Черкинский):

- охрана водных объектов должна рассматриваться с точки зрения социального значения проблемы — создания благоприятных условий водопользования в интересах здоровья людей и развития народного хозяйства;

- вредное влияние сточных вод зависит от многих факторов (исходное состояние водного объекта, количество и состав сточных вод, гидрологический режим объекта и т. д.);

- изменения в составе и свойствах воды под влиянием антропогенных факторов сами по себе еще не определяют вредности сточных вод, если они не ограничивают безопасное водопользование;

- критерием вредности поступающих сточных вод могут быть лишь характер и степень ограничения водопользования;

- не может быть единого критерия вредности сточных вод, поскольку различен характер водопользования;

- гигиеническим критерием вредности сточных вод должна быть степень ограничения хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, которая возникает в связи с загрязнением воды, создающим опасность для здоровья населения или ухудшение санитарных условий жизни.

При решении практических задач охраны водоемов от загрязнения возникла необходимость конкретизировать требования к составу и свойствам воды, отвечающих интересам нормального общественно полезного и безопасного для населения водопользования. Показатели состава и свойств воды при этом определяли пределы допустимого загрязнения водного объекта и приобретали значения нормативов (предельно допустимых концентраций — ПДК). Очевидно, что эти нормативы должны быть различны в той мере, в какой различны требования к обеспечению каждого вида

водопользования. Так, например, нормативы качества воды являются гигиеническими, если они исключают неблагоприятные и опасные влияния на здоровье людей при использовании водоемов для питьевых и культурно-бытовых целей.

Принцип дифференциации нормативов был признан в постановлении СМ СССР «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР» (1960 г.), в котором указано:

— нормативы чистоты поверхностных и подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых нужд населения, должны разрабатываться МЗ СССР;

— нормативы чистоты и режима рыбохозяйственных водоемов — Министерством рыбного хозяйства СССР;

— нормативы чистоты водоемов, используемой для сельского хозяйства — МСХ СССР.

Гигиенические нормативы содержания химических веществ в воде лежат в основе современного водного законодательства «Основы водного законодательства СССР и союзных республик» (1970), прямо указывают на необходимость решения вопросов охраны водоемов от загрязнения на основе устанавливаемых нормативов качества воды водоемов.

Особое значение нормативов качества воды в том, что наличие нормативов позволяет при проведении и планировании мероприятий по охране водных ресурсов применять расчетные методы. Они исходят из взаимосвязи источник загрязнения — состояние водоема — интересы водопотребителей. Благодаря расчетным методам можно прогнозировать состояние водоемов. Это находит отражение при разработке схем рационального использования и охраны водных ресурсов различных районов страны.

Теоретической основой научной разработки масштаба безвредности (ПДК токсических веществ в воде) являются две биологические закономерности:

1) эффект любого действующего (химического) фактора пропорционален его силе (интенсивности), что кратко выражается формулой $\text{доза} \rightarrow \text{время} \rightarrow \text{эффект}$.

2) биологическое действие любого (химического) фактора подчиняется принципу пороговости, ниже которого не обнаруживается реакция организма.

В соответствии с этими закономерностями только максимально недействующая доза (концентрация) закладывается в основу гигиенического нормирования химических факторов окружающей среды, в том числе и водоемов.

Для определения ПДК обычно проводятся специальные хронические санитарно-токсикологические исследования. Исследование должно проводиться по трем признакам вредности: общесанитарному (санитарное состояние водоема), органолептическому (свой-

ства воды, определяемые непосредственно органами чувств человека); санитарно-токсикологическому (здоровье человека).

Общепринятый методический прием состоит в том, что ПДК вещества в водоеме устанавливается по тому признаку вредности, который характеризуется наименьшей пороговой или подпороговой (для санитарно-токсикологического признака) концентрацией. Так как этот признак вредности определяет характер наиболее вероятного неблагоприятного действия наименьших концентраций каждого вещества, он получил название лимитирующего признака вредности (ЛПВ). ЛПВ указывает, в каком направлении прежде всего проявится неблагоприятное влияние загрязняющего вещества при наименьшей его концентрации.

Подавляющая часть вредных веществ лимитируется по общесанитарному и органолептическому ЛПВ, поэтому создается запас надежности в санитарно-токсикологическом отношении, ибо подпороговые концентрации по токсикологическому признаку будут, как правило, выше, чем у ПДК по другим ЛПВ.

Весьма сложен вопрос о гигиеническом нормировании качества вод в условиях одновременного (комбинированного) загрязнения водоемов несколькими вредными веществами.

Эта задача решается на основе следующих принципов:

— нормирование при комбинированном воздействии может проводиться только для тех веществ, для которых уже установлены свои ПДК;

— при нормировании следует иметь в виду комбинации, в которых концентрации каждого вещества не превышают ПДК (иначе они уже недопустимы);

— усиления вредного влияния можно ожидать от комбинированного действия веществ, обладающих одинаковым ЛПВ. Например, усиления запаха воды можно ожидать от веществ, относящихся к органолептическому ЛПВ;

— степень совместного влияния всех вредных веществ не должна превышать действия каждого из веществ в отдельности на уровне их ПДК, поэтому содержание каждого из вредных веществ должно быть уменьшено.

При определении степени уменьшения вредного влияния отдельных веществ исходим из простого суммирования:

$$\frac{S_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{S_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{S_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1 \text{ или } \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1,$$

где S_i и ПДК_i — концентрации и предельно-допустимые концентрации соответствующего вещества.

Табл. 2.2 дает представление о конкретных значениях ПДК для рыбохозяйственного и санитарно-бытового водопользования.

Сопоставление значений ПДК (мг/л) некоторых вредных веществ поверхностных вод

Ингредиенты и показатели	Для рыбохозяйственного водопользования	Для санитарно-бытового водопользования
Растворенный кислород	В зимний период не менее 4,0 (6,0 — для водоемов с ценными породами рыб), в летний период — 6,0	Не менее 4,0
БПК _{полн}	3,0	3,0 (6,0 — для спортивных и рекреационных целей)
pH	6,5—8,5	6,5—8,5
Аммоний солевой	0,5 (0,30 N)	2,0
Железо Fe ⁺³	0,05	0,5
Кадмий Cd	0,005	0,001
Кобальт Co	0,01	0,1
Медь Cu	0,001	1,0
Мышьяк As	0,05	0,05
Нефтепродукты растворенные, эмульсированные	0,05	0,3
Нитрат-ион	40,0 (9,1 N)	10,0 N
Нитрит-ион	0,08 (0,02 N)	1,0
СПАВ	0,1	0,5
Свинец Pb	0,1	0,03
Фенолы	0,001	0,001

Глава 3. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

3.1. Качественные и количественные изменения водных ресурсов под влиянием хозяйственной деятельности

В результате интенсивного использования водных ресурсов изменяется не только количество воды, пригодной для той или иной области хозяйственной деятельности, но и происходит изменение составляющих водного баланса, гидрологического режима водных объектов и, самое главное, качества воды. Объясняется это тем, что большинство рек и озер являются одновременно источниками водоснабжения и приемниками хозяйственно-бытовых, промышлен-

ных и сельскохозяйственных стоков. Это привело к тому, что в наиболее обжитых районах земного шара в настоящее время не осталось сколько-нибудь крупных речных систем с гидрологическим режимом и химическим составом, не нарушенным в той или иной степени хозяйственной деятельностью.

Основными видами хозяйственной деятельности, оказывающими наибольшее влияние на качественные и количественные изменения водных ресурсов, являются водопотребление на промышленные и коммунальные нужды, сбросы в водоемы отработанных сточных вод, переброска стока, урбанизация, создание водохранилищ, орошение и обводнение засушливых земель, осушение, агролесомелиоративные мероприятия и т. д. При этом на каждом водосборе одновременно действуют многие из перечисленных факторов. В связи с этим при водохозяйственном планировании и регулировании качества воды оказывается необходимым учитывать влияние каждого из этих факторов в отдельности и всех вместе. В процессе рассмотрения каждого фактора будем выделять два вопроса: изменение гидрологического режима и объема стока и качественные изменения водных ресурсов. Под качеством воды понимают ее свойства и химический состав в естественном водном объекте, удовлетворяющие потребностям определенных водопользователей. В результате антропогенного воздействия происходит загрязнение природных вод, т. е. изменение их состава и свойств, приводящее к ухудшению качества воды, в результате чего она становится частично или полностью непригодной для водопользования.

При загрязнении природных вод происходит изменение физических свойств (прозрачность, окраска, запах) и химического состава воды (изменение содержания растворенных веществ и появление в их составе вредных веществ), сокращение содержания растворенного кислорода, появление новых бактерий (в том числе и болезнетворных), изменение температуры воды и т. д. Степень загрязнения водных источников определяется концентрацией в воде вредных примесей и оценивается требованиями различных отраслей народного хозяйства.

3.1.1. Изменение качества воды в водотоках и водоемах под влиянием промышленности

В водном хозяйстве страны промышленность является одним из крупнейших потребителей воды. Особенностью использования воды в промышленности является то, что подавляющая часть ее после использования в процессе производства возвращается в реки и озера в виде сточных вод. Безвозвратное водопотребление составляет незначительную часть от водозабора (5—10 %) и не может существенно сказаться на количественном изменении водных ресурсов крупных районов. Качество же воды в водном источнике под влиянием промышленных стоков меняется очень

существенно, т. е. сброс отработанных сточных вод приводит к загрязнению водоемов.

Количество и состав загрязняющих веществ в промышленных сточных водах зависят от вида производства, исходного сырья, различных добавочных продуктов, участвующих в технологических процессах. Кроме того, состав сточных вод зависит от принятой на данном производстве технологии, от вида и совершенства производственной аппаратуры и т. д. Состав сточных вод промышленности очень многообразен и даже для одного и того же производства колеблется в весьма широких пределах. С появлением новых отраслей промышленности (нефтехимической, органического синтеза и т. д.), с ростом использования новых химических соединений происходит дальнейшее увеличение количества промышленных сточных вод и усложнение их состава.

В зависимости от вида выпускаемой продукции удельное водопотребление (на единицу продукции) может изменяться от нескольких единиц до нескольких тысяч кубических метров. (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Удельное водопотребление в некоторых отраслях промышленности [9]

Виды продукции	Расход воды, м ³ /т
Уголь	3—5
Нефть (переработка)	30—50
Сталь	50—150
Чугун	150—200
Бумага	200—400
Химические удобрения	300—600
Хлопчатобумажные ткани	300—1000
Синтетическое волокно	2500—5000

Наиболее интенсивно загрязняют поверхностные воды такие отрасли промышленности, как металлургическая, химическая, целлюлозно-бумажная, нефтеперерабатывающая. Основными загрязняющими веществами в сточных водах этих отраслей промышленности являются нефть, фенолы, цветные металлы, сложные химические соединения. По результатам наблюдений, выполненных в последние годы ГМС, поверхностные воды страны оказались загрязненными нефтепродуктами в 80 % всех случаев наблюдений, фенолами в 60 %, тяжелыми металлами в 50 %.

Нефть и нефтепродукты не являются естественными компонентами состава воды рек и водоемов, поэтому их появление в водных

объектах можно рассматривать как загрязнение. Наличие в воде нефтепродуктов отражается на развитии икры и мальков рыб, на численности и видовом составе кормовых ресурсов рек, качестве и пригодности в пищу промысловой рыбы. Образование пленки на поверхности воды препятствует процессу реаэрации, что снижает самоочищающие способности водоемов. Биохимическое разложение нефтепродуктов в поверхностных водах протекает очень медленно. Скорость биохимического окисления зависит от многих факторов: температуры воды, наличия в воде кислорода и биогенных веществ, химического состава, сбрасываемых нефтепродуктов, наличия в воде высшей растительности и т. д. Однако даже при благоприятных условиях разложение взвешенной и растворенной в воде нефти (распад ее и удаление из водоема) происходит не быстрее чем за 100—150 дней.

Загрязнение поверхностных вод фенолами (обычно имеют в виду одноатомные летучие фенолы, являющиеся наиболее токсичными в этой группе соединений) приводит к нарушению биологических процессов, протекающих в водных объектах. Токсичность фенольных сточных вод увеличивается за счет присутствия в них сероводорода, нафталина, цианистых соединений. При содержании в таких водах 0,02—0,03 мг/л фенола происходит полная потеря вкусовых и товарных качеств рыбы. Вредные же свойства фенолов для водных бактерий проявляются при концентрациях, приблизительно в 10 раз меньших, чем для рыб.

В результате работы химических предприятий в водоемы попадает большое количество разнообразных по составу и свойствам органических соединений, в том числе ранее не существовавших в природе. Часть этих веществ исключительно активна в биологическом отношении, с трудом поддается биологической очистке, действию физических реагентов, т. е. такие вещества трудноудаляемы из стоков. Среди них особое место занимают синтетические моющие средства — детергенты, производство которых интенсивно развивается во всех странах. По исследованиям, выполненным в США, установлено, что применение детергентов значительно увеличило содержание фосфатов в реках США, а это привело к интенсивному развитию в них водной растительности, к цветению рек и водоемов, к истощению кислорода в водной массе. Другой отрицательной чертой детергентов является то, что они чрезвычайно затрудняют работу канализационных сооружений, замедляя процессы коагуляции при подготовке воды на водопроводных станциях.

Весьма неблагоприятное воздействие на реки и водоемы оказывают сточные воды, содержащие значительное количество цинка и меди. Содержание цинка и меди в незагрязненных водах невелико и зависит от физико-географических условий формирования химического состава воды, сезонных колебаний температуры и гидрологического режима реки. Содержание меди в природных водах составляет от 1 до 10 мкг/л, а цинка — от 1 до 30 мкг/л. Увеличе-

ние концентраций этих веществ в водах реки или водоема приводит к замедлению процессов самоочищения воды от органических соединений, к угнетению биологической жизни в водоеме. Положение усугубляется тем, что медь и цинк не удаляются полностью из водоема, а меняются лишь формы и скорость их миграции. Таким образом, при сбросе сточных вод, содержащих эти тяжелые металлы, следует рассчитывать на снижение их концентрации только за счет разбавления.

Особым видом промышленного загрязнения водоемов является тепловое загрязнение, обусловленное выпуском теплых вод от различных энергетических установок. Огромное количество тепла, поступающее с нагретыми сбросными водами в реки, озера и искусственные водохранилища, оказывает существенное влияние на термический и биологический режим водоемов.

Наблюдения, проводившиеся в зоне воздействия теплых вод, показали, что повышение температуры воды приводит к нарушению условий нереста рыб, к гибели зоопланктона при прохождении через конденсаторы турбин, к повышению зараженности рыб теплолюбивыми видами паразитов и т. д. Интенсивность влияния теплового загрязнения зависит от температуры нагревания воды. Для летнего периода установлена характерная последовательность воздействия повышенных температур воды на биоценоз озер и искусственных водоемов:

- при температуре до 26° не наблюдается вредного воздействия; в пределах температуры $26-30^{\circ}$ наступает состояние угнетения жизнедеятельности рыб;

- свыше 30° наблюдается вредное воздействие на биоценоз;

- при температуре $34-36^{\circ}$ возникают летальные условия для рыб и некоторых видов других организмов.

Создание различных охлаждающих устройств для сбросных вод тепловых электростанций при огромном расходе этих вод приводит к значительному удорожанию строительства и эксплуатации последних. В связи с этим изучению влияния теплового загрязнения уделяется в последнее время большое внимание.

3.1.2. Изменение качества воды под влиянием сброса коммунально-бытовых сточных вод

Коммунально-бытовые сточные воды составляют примерно 20 % всего объема стоков, поступающих в поверхностные водоемы ($70-80$ % приходится на долю промышленных сточных вод). Однако если объемы промышленных стоков и количество загрязняющих веществ в них могут быть уменьшены (за счет внедрения оборотного водоснабжения, изменения технологии производства и т. д.), то для хозяйственно-бытовых стоков характерно постоянное нарастание их объема, обусловленное ростом численности населения, увеличением водопотребления, улучшением санитарно-гигиенических условий жизни в современных городах и населенных пунктах.

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления зависят прежде всего от благоустройства жилого фонда населенного пункта, а также от климатических условий. Зависимость норм водопотребления от степени благоустройства зданий характеризуется данными табл. 3.2.

Таблица 3.2

Нормы водопотребления в зависимости от степени благоустройства зданий

Степень благоустройства зданий	Норма водопотребления на 1 чел., л/сут
Без водопровода и канализации	30—50
Водопровод, канализация, без ванн	125—150
Водопровод, канализация, ванны с газовыми колонками	180—230
Водопровод, канализация и центральное горячее водоснабжение	275—400

Для количества загрязняющих веществ в хозяйственно-бытовых стоках характерна относительная стабильность (объем загрязнений, приходящихся на одного жителя), позволяющая рассчитывать объемы сбрасываемых загрязнений в зависимости от размера городских поселений и уровня комфортности жилищ.

Средние нормы загрязнения приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Состав и количество загрязнений бытовых сточных вод на одного жителя в сутки

Наименование ингредиентов	Количество загрязнений на 1 жителя, г/сут
Взвешенные вещества	65
БПК ₅ в осветленной жидкости	35
БПК _{полн} в осветленной жидкости	40
Азот аммонийных солей (N)	8
Фосфаты (P ₂ O ₅)	3,3
Хлориды	9
Окисляемость (по Кубелю)	5—7

Примечание. БПК₅ — биохимическое потребление кислорода в течение пяти суток, мг O₂/л; БПК_{полн} — полное биохимическое потребление кислорода мгO₂/л.

Стабильность состава коммунальных стоков позволяет прогнозировать качество воды в водоприемнике в зависимости от его водности, гидрологического режима (определяющих его способность к самоочищению) и от количества загрязнений (определяемых численностью населения).

Примером расчета качества воды в реке по $\text{БПК}_{\text{полн}}$ является зависимость, полученная Н. А. Правошинским, позволяющая находить содержание $\text{БПК}_{\text{полн}}$ по расходу воды реки и численности городского населения (рис. 3.1).

Приведенная зависимость показывает, что в городе с населением 300 тыс. чел. требуемое по санитарным правилам качество воды (по $\text{БПК}_{\text{полн}} = 6 \text{ г/м}^3$) может быть обеспечено уже при расходе реки, равном $5 \text{ м}^3/\text{с}$. Однако в настоящее время даже на очень крупных реках ниже больших городов наблюдается интенсивное загрязнение, что объясняется особыми свойствами бытовых стоков — наличием в них большого количества различных бактерий (главным образом кишечных). Бытовые стоки привлекают к себе особое внимание в силу своих бактериальных свойств, они могут явиться причиной возникновения инфекционных заболеваний.

Еще в древности была установлена роль воды в передаче инфекционных заболеваний, а после работ Пастера и Коха окончательно определилась роль водного фактора в распространении некоторых болезнетворных бактерий. И сегодня список микробов и инфекций, распространяемых водным путем, очень широк: дизентерия, брюшной тиф, холера, туляремия и т. д. Большим достижением современной науки и техники является то, что несмотря на постоянный рост численности городского населения в результате организации контроля за качеством воды, совершенствования методов очистки вод, используемых для питьевого водоснабжения, в развитых странах обеспечивают охрану здоровья современного горожанина.

В настоящее время изучаются условия существования бактериальных загрязнений в сочетании с химическими, разрабатываются новые и совершенствуются существующие методы очистки стоков, отыскиваются пути сокращения сброса бытовых стоков в водоемы (например, путем использования их в качестве удобрений на сельскохозяйственных полях орошения (ЗПО) и т. д.), что должно привести к сокращению бактериального загрязнения водоемов.

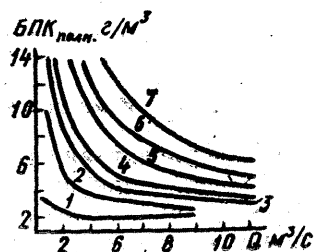


Рис. 3.1. Зависимость качества речной воды (по $\text{БПК}_{\text{полн}}$ в пределах городской черты) от расхода воды в реке и численности городского населения: 1, 2, 3, 4, 5, 6 — 10, 100, 200, 300, 500, 700 тыс. человек соответственно; 7 — 1 млн. человек.

Примером комплексного научного подхода к решению этой проблемы является постоянное улучшение качества воды в р. Москве. В настоящее время годовой объем сточных вод с территории Москвы составляет 1 км³ (из них 40 % промышленные и 60 % бытовые стоки). Все сточные воды проходят механическую и биологическую очистку, доочистку и обеззараживание, что позволяет снизить, например, БПК с 200—300 (в сточных водах) до 10—12 мг О₂/л (перед их сбросом в р. Москву. Несмотря на то что объем сточных вод составляет половину стока реки, качество воды в р. Москве удовлетворительное.

3.1.3. Изменение водных ресурсов под влиянием урбанизации

Под урбанизацией понимают процесс концентрации населения в городах и широкое распространение городского образа жизни. Процесс урбанизации тесно связан с ростом численности населения и научно-технической революцией, происходящей в современном мире. Интенсивность этого процесса резко усилилась во второй половине XX века. Начиная с 1950 г. темпы роста городского населения опережают темпы роста сельского населения. Так, если в 1960 г. при общей численности населения Земли порядка 3 млрд. человек городские и сельские жители делились примерно в пропорции 1 : 2, то к 2000 г. большая часть населения Земли будет проживать в городах.

Концентрация населения, промышленности, строительства на ограниченных площадях (в развитых странах площади, занятые городами и поселками городского типа, составляют до 5 % площади этих стран) приводит к изменению всех основных элементов природной среды: воздушного бассейна, почвенного и растительного покрова, грунтовых и поверхностных вод. Мы будем рассматривать только изменения водных ресурсов на урбанизированной территории. При этом следует выделить два основных вопроса: под влиянием каких факторов и как изменяется качество поверхностных вод и каким образом изменяется водный баланс и водный режим рек (т. е. рассмотреть качественные и количественные изменения водных ресурсов под влиянием урбанизации)?

Изменение качества природных вод на урбанизированной территории обусловлено тем, что в пределах города формируется огромное количество сточных вод промышленного и коммунально-бытового использования, которые поступают в водные объекты в черте города или вблизи него. Кроме того, большое количество загрязнений поступает в водные источники с поверхностным стоком с городской территории (так называемые поливомоечные воды) и с атмосферными осадками (ливневой сток).

Влияние ливневого стока и поливомоечных вод на качество вод водоемов весьма существенно. Эти воды содержат большое количество минеральных и органических веществ (например, БПК от 12 до 145 мгО₂/л, взвешенные вещества от 400 до 5000 мг/л,

а общее количество загрязняющих веществ в этих водах оценивается в 8—15 % от суммы веществ, поступающих с хозяйственно-бытовыми стоками с той же территории).

Совместное влияние промышленных, хозяйственно-бытовых, ливневых и мочевых вод приводит к следующим основным изменениям состава природных вод на урбанизированной территории: увеличивается концентрация растворенных органических и биогенных веществ; резко снижается содержание растворенного кислорода; характерным загрязнителем становятся синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), интенсивно используемые как в промышленности, так и в быту; усиливается бактериальное загрязнение вод.

Количественные изменения водных ресурсов на урбанизированной территории обусловлены прежде всего увеличением потребления воды населением и промышленностью.

Возросшие потребности в воде могут удовлетворяться как за счет местных ресурсов, так и за счет привлечения ресурсов из-за пределов местного водосбора (искусственное изменение водных ресурсов). Вторым важным фактором является наличие на урбанизированной территории больших участков водонепроницаемых или малопроницаемых площадей (здания, дорожные покрытия, промышленные и хозяйственные строения), которые препятствуют инфильтрации и приводят к увеличению коэффициентов стока и, как следствие, к перераспределению подземных и поверхностных составляющих водных ресурсов. Все это приводит к тому, что сток с урбанизированной территории резко отличается от стока с естественных водосборов. Различия в той или иной мере касаются объема годового стока, величин максимальных и минимальных расходов воды, соотношений между поверхностной и подземной составляющими стока.

Годовой сток с урбанизированной территории может на 10 % и более превышать сток с неурбанизированной местности (без привлечения дополнительных ресурсов со стороны). Причиной этого увеличения стока являются более высокие коэффициенты стока и меньшие безвозвратные потери, связанные с инфильтрацией, а также увеличение количества осадков в городах.

В тех же случаях, когда водоснабжение осуществляется из водоносных горизонтов, не дренируемых рекой, или за счет переброски вод из других районов, а сбрасываемые воды поступают в реку, русловой сток может увеличиться в несколько раз.

Наиболее резко урбанизация сказывается на изменении величин, объемов и продолжительности паводочных расходов, что также обусловлено изменением коэффициентов стока в пределах городской территории. Наибольшие расхождения между величинами расходов паводков на естественных и урбанизированных водосборах наблюдаются при малых и средних их значениях, когда расхождения в коэффициентах стока являются максимальными. При ливневых расходах редкой повторяемости различия в паво-

дочных расходах уменьшаются (так как в этих условиях коэффициенты стока естественной поверхности и искусственных покрытий близки).

Характер влияния урбанизации на меженный сток зависит от того, какие источники используются для водоснабжения. В тех случаях, когда водоснабжение ведется из местных источников, наиболее вероятным является уменьшение меженного стока ввиду снижения инфильтрации дождевых и талых вод. Повышение меженного стока может происходить в случае водообеспечения города из источников, расположенных за пределами данного водосборного бассейна, тогда как сброс сточных вод осуществляется в его пределах.

Таковы основные общие черты изменения водных ресурсов на урбанизированной территории.

3.1.4. Влияние мелиоративных мероприятий на состояние водных ресурсов

Необходимость обеспечения населения продуктами питания приводит к постоянному расширению объема мелиоративных мероприятий, направленных на вовлечение в сельскохозяйственное производство новых земель — как засушливых, так и сильно увлажненных.

В СССР общая площадь орошаемых и осушаемых земель в 1984 г. составляла 33 млн. га, из них 14,4 млн. га осушалось, а 18,6 орошалось. Удельный вес продукции растениеводства, получаемый с мелиорированных земель, возрос с 20 % в 1965 г. до 34 % в 1983 г. Велики и потенциальные возможности развития мелиорации. Планируется до 2000 г. расширить площади орошаемых земель до 30...32 млн. га и осушаемых до 19...21 млн. га.

Как орошение, так и осушение оказывает существенное влияние на естественные ресурсы пресных вод мелиорируемых территорий, однако характер и интенсивность этого влияния различны в зависимости от вида осуществляемых мероприятий.

Влияние орошения

Орошение оказывает существенное влияние на водный режим и водные ресурсы территории. Под влиянием орошения изменяются величины среднего годового стока, внутригодового распределения стока, величины экстремальных значений стока (особенно минимальные). Вынос солей с орошаемых массивов приводит к повышению минерализации воды в реках, к изменению их химического состава. Характер и интенсивность изменения названных характеристик зависит от многих условий: физико-географических, гидрологических, гидрохимических и даже технических (от метода орошения, технического состояния оросительных систем и т. д.).

Влияние орошения на перечисленные характеристики речного стока различно для малых рек, питающихся в основном поверхностным стоком, и для крупных речных систем, дренирующих все категории подземных вод.

На малых водосборах в аридной зоне забор воды на орошение практически полностью затрачивается на испарение, что приводит к резкому снижению или полному прекращению стока малых рек.

На крупных реках после использования вод на орошение сток может несколько уменьшиться или даже остаться без изменения. Последний вариант может иметь место на водосборах, где одновременно с орошением осуществляются другие хозяйственные мероприятия (уничтожение дикорастущей растительности, затопления поймы и др.), способствующие уменьшению испарения и компенсирующие увеличение испарения на орошаемых площадях. Однако такое незначительное изменение стока крупных рек орошаемых районов может оставаться лишь до известного предела (в зависимости от местных физико-географических условий, наличия компенсационных факторов, площади орошаемых земель в бассейне реки и т. д.), после чего величина стока начинает резко сокращаться, и мы являемся свидетелями того, что в бассейнах ряда рек с интенсивным развитием орошения (Дон, Днепр, Сырдарья и др.) в последние годы наметилась тенденция к уменьшению стока.

Рост безвозвратного водопотребления (км^3) на орошение и увлажнение осушаемых земель для года 75 %-ной обеспеченности по стоку за последнее десятилетие показан в табл. 3.4 [9].

Таблица 3.4

Рост безвозвратного водопотребления на орошение
и увлажнение осушаемых земель

Регион	Годы		
	1975	1980	1985
Всего по СССР	115—140	150—170	170—190
Европейская часть СССР	40—50	60—70	70—80
Средняя Азия и Южный Казахстан	70—75	75—80	80—85
Сибирь и Северный Казахстан	5—15	15—20	20—25

Величина снижения стока под влиянием орошения существенно различается в зависимости от водности года. Во влажные годы это уменьшение незначительно, а в засушливые — сток рек снижается более интенсивно.

Влияние орошения на внутригодовое распределение стока и его экстремальные значения сказывается следующим образом: снижается сток в вегетационный период (за счет увеличения потерь воды на транспирацию) и увеличивается сток осенью и зимой, когда происходит приток воды с орошаемых массивов в гидрографическую сеть.

Изменение химического состава и качества воды рек в районах орошаемого земледелия обусловлено выносом солей с орошаемых массивов. Количество солей, поступающих в реки, составляет десятки, а в условиях сильно засоленных почв и сотни тонн с 1 га. Вынос такого количества солей в реки значительно повышает минерализацию воды в них и изменяет ее химический состав. Степень увеличения минерализации зависит от соотношения расходов воды рек и расходов возвратных вод, от соотношения их минерализации, доли орошаемых земель в общей площади водосбора реки и т. д.

Изменение минерализации и химического состава вод после их использования на полях орошения иллюстрируется данными, приведенными в табл. 3.5 (по данным Б. Г. Скакальского), в которой помещены данные по Арысь-Туркестанскому массиву (АТМ), расположенному в нижнем течении р. Сырдарьи. На этом массиве возделывается хлопчатник, почвы на орошаемой территории отличаются значительной засоленостью.

Таблица 3.5

Сравнительная характеристика минерализации
и химического состава оросительных и дренажно-коллекторных вод

Оросительная система	Категория вод	Минерализация, г/л			Соотношение средней минерализации дренажно-коллекторных и оросительных вод, %	Характеристика ионного состава
		средняя	пределы колебаний	максимальная		
АТМ	Оросительные	0,2	0,4—0,74	0,95	354	Гидрокарбонатные с преобладанием Ca^{+2} и Mg^{+} среди катионов
	Дренажные	1,84	0,45—4,3	4,79		Преимущественно сульфатные с преобладанием Na^{+} Mg^{2+} среди катионов

Поступление в реку дренажно-коллекторных вод приводит к увеличению минерализации воды в ней. При этом влияние, оказываемое стоком с орошаемых массивов, прямо пропорционально их доле в площади водосбора. Ярким примером роста минерализации воды в реке с увеличением орошаемых площадей в ее бассейне является р. Сырдарья (рис. 3.2). За 25-летний период площадь орошаемых земель в бассейне реки увеличилась на 800 тыс. га

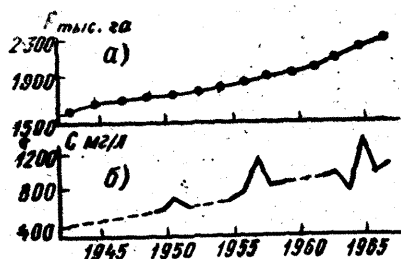


Рис. 3.2. Увеличение площади орошения в бассейне р. Сырдарьи (а) и средневзвешенная минерализация воды реки (б).

(т. е. в полтора раза), а минерализация воды возросла с 400 до 1000 мг/л (т. е. увеличилась в два с половиной раза). Одновременно изменился и ионный состав воды: ранее гидрокарбонатно-кальциевая вода стала сульфатно-натриевой, в воде увеличилось содержание хлора. Этот пример иллюстрирует общую закономерность изменения минерализации и химического состава воды рек, в бассейнах которых осуществляется орошение.

Влияние осушения

В нашей стране в настоящее время осушено примерно 14,4 млн. га болот и сильно увлажненных земель. В ближайшие 15—20 лет предполагается увеличить осушенные площади в два раза. Влияние осушения сказывается главным образом на изменении водного баланса мелиорируемой территории (меняются условия стока с болот, снижаются уровни грунтовых вод, меняются влагозапасы в зоне аэрации и т. д.) и на изменении гидрологических характеристик заболоченных рек (годового, максимального и минимального стока, его внутригодового распределения). При этом осушительная мелиорация по-разному влияет на водный режим рек в зависимости от климатических, почвенных, гидрографических условий водосбора, от степени его заболоченности, типа

осушаемых болот, характера мелиорации земель и т. д.; в одних случаях это влияние незначительно, в других проявляется вполне отчетливо. Несмотря на некоторую разноречивость результатов исследований, можно сделать следующие общие выводы в отношении тенденции изменения речного стока мелиорируемых водосборов в зонах избыточного и достаточного увлажнения:

— в первые годы после осушения происходит, как правило, увеличение годового и сезонного стока, обусловленное уменьшением суммарного испарения и сработкой запасов грунтовых вод;

— в дальнейшем, при интенсивном освоении мелиорируемых земель, режим стока становится более выровненным, испарение (за счет транспирации) увеличивается, годовой сток приближается к своей первоначальной величине. В ряде случаев наблюдается уменьшение величины среднего годового стока. Такое явление зарегистрировано в Полесье и некоторых других районах нашей страны;

— модули максимального стока могут как увеличиваться, так и уменьшаться.

Установлено, что одним из главных факторов в изменении величины максимальных расходов является характер аккумулирующей емкости водосбора. В бассейнах рек, где водосборы сложены легководопроницаемыми породами, после осушения наблюдается снижение максимальных расходов, а в бассейнах рек, сложенных слабоводопроницаемыми почвогрунтами, происходит некоторое их увеличение. Водно-физические свойства почвогрунтов определяют характер изменения объема стока весеннего половодья и внутригодовое распределение стока. Для бассейнов, сложенных легкопроницаемыми породами, снижение объема весеннего половодья компенсируется повышением стока в межень, т. е. происходит перераспределение стока в году.

Для определения величины снижения максимальных расходов под влиянием осушения рекомендуется следующая зависимость:

$$\delta = 1 - 0,016 f_m, \quad (3.1)$$

где δ — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды под влиянием осушительных мелиораций; f_m — степень мелиорированности бассейна, %.

Учет изменений максимальных расходов весеннего половодья позволяет уменьшать размеры гидротехнических сооружений, что приводит к уменьшению их стоимости.

Качественный состав дренажного стока (грунтового стока с осушаемой территории) формируется при взаимодействии поступающей воды с твердой фазой почвы и вносимыми удобрениями.

По данным СевНИИГиМ, вынос веществ с дренажным стоком начинается в первый же год строительства дренажа, он слабо концентрирован, так как выносу подвергаются только свободные, не-

закрепленные ионы почвы. При внесении удобрений концентрация дренажного стока значительно выше уже в первый год эксплуатации системы. Вынос солей дренажным стоком зависит не только от его величины, степени осушения, ее удобренности, но и от характера использования территории. Так, сток и суммарный вынос солей больше на поле, где возделываются пропашные культуры, чем там, где засеваются травы.

3.2. Инженерные методы защиты вод от загрязнений

Техническая политика в вопросе охраны вод должна сочетать в себе рациональное использование водных ресурсов с максимальным снижением загрязнения водных источников, что обеспечит снабжение народного хозяйства водой в нужном количестве и требуемого качества. Инженерные методы охраны вод включают в себя не только разработку методов очистки сточных вод, но и совершенствование технологии производства, позволяющей сократить или полностью исключить поступление загрязнений в водные объекты. Такие мероприятия, как создание технологических схем, полностью исключающих сброс сточных вод в водоемы, внедрение замкнутого или оборотного водоснабжения, утилизации отходов производства, замена водяного охлаждения воздушным, передача отработанных вод на другие предприятия, предъявляющие более «мягкие» требования к качеству воды, и др. могут оказать существенную роль в предотвращении загрязнения водоемов.

Очистка сточных вод является вынужденным и дорогостоящим мероприятием, обусловленным тем, что в настоящее время еще недостаточно эффективны многие технологические процессы на промышленных предприятиях. Сегодня очистка сточных вод и их разбавление рассматриваются как основные способы охраны вод от загрязнения.

Проблема очистки сточных вод предприятий и населенных пунктов перед их сбросом в водоем является весьма сложной в связи с большим разнообразием загрязняющих веществ, появлением в их составе новых соединений, постоянным усложнением их состава. Однако при всем многообразии сточные воды можно разделить на промышленные и хозяйственно-бытовые, отличающиеся друг от друга по своим свойствам и составу.

Методы очистки сточных вод, применяемые в настоящее время в нашей стране и за рубежом, можно разделить на две основные группы: в искусственных условиях (на специально созданных сооружениях, установках) и в естественных условиях (на сельскохозяйственных полях орошения, полях фильтрации, биологических прудах и др.). Выбор метода очистки определяется составом и концентрацией загрязняющих веществ в сточных водах и требованием к качеству воды в водоеме.

3.2.1. Очистка сточных вод в искусственных условиях

Методы очистки сточных вод в искусственных условиях многообразны, но они могут быть подразделены на четыре основных вида: механическую, химическую, физико-химическую и биохимическую очистки.

Механическая очистка применяется для извлечения из сточных вод промышленности грубодисперсной нерастворимой примеси органических и неорганических веществ путем их отстаивания, процеживания, фильтрации, центрифугирования. Для механической очистки используются различные конструктивные модификации сит, решеток, песколовков, отстойников, центрифуг и гидроциклонов. Решетки и сита выполняют обычно роль защитных сооружений, препятствующих попаданию крупных отходов производства в дальнейшие очистные сооружения. Песколовки и отстойники применяются для выделения из производственных сточных вод окалины, шлака, песка и т. д. Наряду с минеральными примесями в песколовках и отстойниках задерживаются вещества и органического происхождения, гидравлическая крупность которых близка к гидравлической крупности песка. Эти сооружения основаны на принципе осаждения взвешенных частиц, содержащихся в сточных водах, при изменении кинематических условий потока. По конструктивным особенностям различают горизонтальные, вертикальные и радиальные отстойники.

Для очистки сточных вод от механических примесей применяются также гидроциклоны, в которых выделение взвеси из стоков происходит под действием центробежных сил, возникающих при вращательном движении жидкости. Так как центробежные силы в сотни и более раз могут превосходить силы тяжести, то пропорционально увеличивается и скорость осаждения частиц. Это приводит к тому, что объем и площадь, занимаемая гидроциклоном, в десятки и сотни раз меньше отстойников той же производительности. По данным института ВОДГЕО, применение гидроциклонов во много раз уменьшает затраты на строительство очистных сооружений.

Механической очисткой можно достигнуть выделения из бытовых сточных вод до 60 % нерастворенных примесей и снижения БПК до 20 %. Из производственных сточных вод удаляется до 95 % нерастворенных веществ.

Химическая и физико-химическая очистки применяются для извлечения из сточных вод тонкодисперсной и растворенной примеси неорганических и трудноокисляемых биохимическими методами органических веществ путем их выделения, осаждения и разрушения с помощью химических соединений, путем комбинации методов физического и химического воздействия. К физико-химическим относятся следующие методы:

сорбция — способность некоторых веществ поглощать или концентрировать на своей поверхности загрязняющие вещества, находящиеся в сточных водах;

экстракция — введение в сточные воды вещества, не смешивающегося с ними, но способного растворять находящиеся в них загрязняющие вещества;

флотация — процесс очистки, заключающийся в пропуске через сточную воду воздуха, пузырьки которого при движении вверх захватывают вещества загрязнения;

ионный метод — обеспечивающий при фильтровании сточных вод через ионообменный материал осаждение вещества загрязнения;

электрохимический метод — электрохимическое окисление вещества загрязнения на аноде при электролизе сточных вод;

кристаллизация — выделение из сточных вод кристаллов загрязняющего вещества, образующихся при естественном или искусственном ускорении испарения жидкости;

аэрация — очистка сточных вод путем окисления загрязнений кислородом воздуха и переводом растворенных летучих веществ в газовую фазу (десорбция);

пламенное сжигание сточных вод — при наличии в них особо вредных веществ и невозможности очистить их существующими методами.

Биохимическая очистка применяется обычно после того, как из сточных вод извлечены грубодисперсные примеси. Биохимический метод очистки основан на способности некоторых видов микроорганизмов использовать для питания находящиеся в сточных водах органические вещества (органические кислоты, белки, углеводы и т. д.), которые являются для них источником углерода. Различают две стадии процесса очистки, протекающие с различной скоростью: адсорбцию из сточных вод тонкодисперсной и растворенной примеси органических и неорганических веществ поверхностью тела микроорганизмов, а затем — разрушение адсорбированных веществ внутри клетки микроорганизмов при протекающих в ней химических процессах.

Процесс биохимической очистки может происходить как в искусственных условиях (в биологических фильтрах и аэротенках), так и в естественных условиях (на полях орошения, полях фильтрации, биологических прудах и т. д.).

Биохимическая очистка в искусственных условиях осуществляется в аэротенках-смесителях, аэротенках с рассредоточенным выпуском сточных вод, на биофильтрах с естественной и искусственной подачей воздуха и т. д.

Аэротенк представляет собой резервуар, наполненный активным илом (активный ил — коллоидная масса минерального и органического состава, богатая микроорганизмами). При прохождении сточной жидкости через аэротенк микроорганизмы извлекают из ее состава необходимые для их питания органические и

минеральные вещества: азот из аммиака, нитратов, аминокислот, фосфор и калий из минеральных солей этих веществ. Для нормальной работы аэротенка активный ил подвергается периодической регенерации.

Биофильтр представляет собой сооружение, выложенное мелким сыпучим материалом, на котором перед пуском сточных вод создается активная биологическая пленка, состоящая не только из микроорганизмов, но и из водорослей, личинок насекомых и т. д., которые образуют сложный биоценоз, участвующий в процессе очистки.

Существующие методы очистки сточных вод делятся на две группы: регенеративные — позволяющие извлечь и утилизировать ценные вещества, входящие в состав сточных вод (физико-химическая очистка) и деструктивные — предусматривающие разрушение загрязнений сточных вод и переход их в безвредные для водоема соединения (химическая и биохимическая очистки).

3.2.2. Очистка сточных вод в естественных условиях

В естественных условиях биохимическая очистка осуществляется (как было указано выше) на сельскохозяйственных полях орошения (ЗПО), полях фильтрации, на участках подпочвенного орошения, в биологических прудах и окислительных каналах. Во всех случаях процесс очистки, обезвреживания протекает в почве или воде с участием естественных процессов. Основное значение имеет почвенная биологическая очистка, которая заключается в постепенном разложении органического вещества сточных вод до простейших минеральных соединений под действием почвенных микроорганизмов. Микроорганизмы сточной жидкости адсорбируются верхним слоем почвы и значительно увеличивают ее микробиальную насыщенность. При этом один из них погибает под действием антагонистов, а другие находят в почве благоприятные условия, интенсивно размножаются и сами участвуют в самоочищении почвы от внесенных в нее со сточными водами органических соединений. Почва является своего рода естественной лабораторией, где активно протекают сложные биохимические процессы, приводящие к минерализации органических веществ, содержащихся в сточных водах, и к их обеззараживанию — к практически полному освобождению от патогенной микрофлоры. Особенно важным является то, что почвенные способы очистки полностью исключают непосредственное поступление сточных вод в поверхностные водоемы, т. е. наилучшим образом защищают их от загрязнения.

ЗПО представляют собой специальные площади, на которых происходит очистка сточных вод, совмещенная с возделыванием различных сельскохозяйственных культур. При отсутствии последних эти площади называются полями фильтрации. Почвенным

методам очистки сточных вод в последнее время уделяется большое внимание, что объясняется возможностью совместного решения задачи охраны вод от загрязнения и интенсификации сельскохозяйственного производства. Кроме того, глубина очистки коммунальных сточных вод значительно выше при почвенных методах очистки (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Степень очистки сточных вод населенных мест (%) на сооружениях искусственной очистки и при почвенных методах

Показатель	СССР		ФРГ	
	Методы очистки			
	искусственные	почвенные	искусственные	почвенные
БПК ₅	84	97	73	93
Счет колоний бактерий	90	98	80	90

Для обоснования использования почвенных методов очистки сточных вод необходимо знать почвенно-климатические условия территории, т. е. тип грунтов, рельеф местности, уровень стояния грунтовых вод, среднегодовое количество осадков, продолжительность вегетационного периода и т. п.

3.2.3. Совершенствование технологии промышленности, сельского хозяйства, мелиоративных мероприятий в вопросах охраны водных ресурсов

Плановое, рациональное ведение народного хозяйства предусматривает его интенсивное развитие на основе повышения производительности труда, улучшения качества продукции, внедрения новой техники и прогрессивной технологии. При этом наряду с техническими и экономическими показателями на первое место выступает экологический фактор. Перед министерствами и ведомствами различных отраслей народного хозяйства поставлена задача при проектировании новых технологических процессов предусматривать меры, обеспечивающие сокращение или полное исключение воздействия производства на окружающую среду.

В промышленности при разработке новых технологических процессов ставится задача уменьшения водоёмкости производства и максимального сокращения отходов и их утилизации. Новый подход, сочетающий технико-экономические и экологические показатели, уже внедрен на ряде промышленных предприятий. Так, в химической промышленности освоена новая технологическая схема получения аммиака, при которой значительно сокращается

потребление электроэнергии (с 1200 до 75 кВт. ч на 1 т аммиака) и соответственно уменьшается расход чистой воды в 10 раз. При производстве аммиака по новой схеме отходы в окружающую среду не поступают.

Новые технологические процессы разработаны и в других отраслях промышленности: целлюлозно-бумажной, металлургической, строительных материалов и др.

Достижения современной науки и техники позволяют решать проблему предотвращения негативного влияния практически любого производства на биосферу при одновременном увеличении экономической эффективности и снижении себестоимости получения единицы основной продукции.

Сельскохозяйственное производство загрязняет водоемы прежде всего удобрениями и пестицидами. Интенсификация сельского хозяйства, рост урожайности сельскохозяйственных культур связаны с увеличением применения минеральных удобрений, содержащих биогенные элементы. Часть этих удобрений попадает в водоемы в растворенном виде с поверхностным и дренажным стоком, а часть — в нерастворенном состоянии вместе с частицами почвы в результате ее эрозии.

Степень загрязнения водоемов удобрениями зависит от многих факторов: количества, формы и времени внесения удобрений, растворимости минеральных элементов, объема поверхностного стока, величины осадков, интенсивности эрозионных процессов.

В настоящее время еще не разработана система научно обоснованных мероприятий, обеспечивающих защиту водных объектов от загрязнения удобрениями, но принят ряд мер, направленных на сокращение попадания биогенных элементов в водоемы. Это такие меры, как точное определение нормы внесения удобрения, применение удобрений в виде гранул, правила складирования и т. д.

Применение пестицидов в сельском хозяйстве связано с необходимостью борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений. Использование пестицидов позволяет поддерживать стабильный уровень сельскохозяйственного производства. В то же время смыв пестицидов с полей, орошаемых массивов, лесных почв и попадание их в водные объекты приводит к нарушению водных экосистем, отрицательно воздействует на воспроизводящую систему гидробионтов. Это тем более опасно, что хлорорганические пестициды не поддаются биологическому распаду, они сохраняются на протяжении многих лет в пресной и морской воде и обладают способностью накапливаться в водных организмах.

Для рационального использования пестицидов и предотвращения их вредного действия на окружающую среду создана Государственная комиссия по химическим средствам борьбы с вредителями, болезнями и сорняками растений, которая объединяет и координирует работу в этой области научных институтов, Министерств химической промышленности и здравоохранения, Государ-

ственно агропромышленного комитета. В ее функцию входит: рассмотрение и утверждение предложений о порядке государственных испытаний новых пестицидов отечественного и зарубежного производства; принятие решений о применении в сельском хозяйстве новых химических препаратов, контроль за качеством пестицидов, выпускаемых промышленностью; издание специальной литературы по применению пестицидов в сельском хозяйстве и т. д.

Контроль за правильностью применения и соблюдением колхозами, совхозами и другими сельскохозяйственными предприятиями установленных регламентов по применению пестицидов осуществляет Главное управление защиты растений Министерства сельского хозяйства СССР. На это министерство возложен контроль за состоянием накопления пестицидов в водных объектах.

В последние годы серьезным загрязнителем водной среды стали крупные животноводческие комплексы. Установлено, что при откорме на 1 кг прироста живой массы образуется от 6 до 24 кг навоза. В нашей стране за год на животноводческих фермах образуется примерно 800 млн. т навоза. Жидкий навоз в необработанном виде представляет собой высококонцентрированное органическое удобрение. В таком виде его нельзя использовать на сельскохозяйственных угодьях. Готовя животноводческие стоки к использованию, их измельчают, гомогенизируют, разделяют на твердую и жидкую фракции, обеззараживают, ведут естественную и искусственную биологическую очистку. После разделения твердую фракцию складывают в бурты для биотермического обеззараживания и вносят на поля в период основной обработки почвы. Жидкую фракцию навоза направляют на поля орошения.

Опыт использования животноводческих стоков для орошения земель, увеличения производства кормов и предотвращения загрязнения водных объектов накоплен в ряде колхозов и совхозов Белгородской области. Срок окупаемости капитальных вложений в строительство оросительной сети с использованием животноводческих стоков в хозяйствах области колеблется от 4 до 10 лет при затратах на 1 га от 1500 до 2500 руб.

Проводимая в Белгородской области работа по эффективному использованию ценных органических удобрений одобрена Комиссией Президиума Совета Министров РСФСР по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов и рекомендована для широкого распространения в других зонах Российской Федерации.

Среди мер, способствующих охране природных вод от загрязнения определенную роль играют и мелиоративные мероприятия. Их можно подразделить на агротехнические, лесные и гидротехнические. Агротехнические предусматривают правильное ведение сельскохозяйственных работ (вспашка участков, подверженных эрозии, поперек склонов, запрет выпаса скота на склонах

со слабым почвенным покровом и т. д.). Лесные мелиорации заключаются в основном в выращивании древесной и кустарниковой растительности на площадях, подверженных эрозии, в верхней и средней частях речных бассейнов. Эти мероприятия уменьшают поверхностный сток и значительно ослабляют водную эрозию. Гидротехнические мелиорации предполагают регулирование и создание благоприятного для возделывания различных сельскохозяйственных культур водно-воздушного режима почвогрунтов. Но они не должны приводить к вымыванию питательных веществ из почвы. При орошении необходимо строго соблюдать поливные нормы, ибо их превышение может привести к подъему грунтовых вод и засолению земель. Если существует угроза засоления водных объектов дренажными водами, должен быть предусмотрен их перехват коллекторами для отведения и последующей обработки.

К мелиоративным мероприятиям можно отнести работы по предотвращению образования оврагов, оползней, обрушения берегов (террасирование крутых склонов), крепление откосов, прокладку специальных дренажей и каналов.

Глава 4. ПРАВИЛА ОХРАНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗА КАЧЕСТВОМ ВОДЫ

4.1. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения

Вопросам охраны водоемов от загрязнения, нормированию стока загрязнений в нашей стране стали уделять внимание еще в конце прошлого века. В 1896 г. Пироговский съезд врачей ходатайствовал об установлении законодательных правил спуска сточных вод в водоемы. Но только в 1908 г. появились первые правила, регламентирующие условия спуска сточных вод в реки. Они основывались на том, что «вода, сбрасываемая в водоем, должна быть так же чиста, как и вода в водоеме». В 1910 г. эти правила из-за их жесткости были пересмотрены. Первые «Санитарные правила РСФСР о спуске сточных вод» были изданы Наркомздравом в 1929 г.

В период 1930—1940 гг. выполнены комплексные исследования санитарного состояния водоемов в связи с их использованием. Результаты этих исследований легли в основу нормирования чистоты водоема, которое устанавливало, какие концентрации загрязняющих веществ могут иметь место в водоеме. В зависимости от нормативов качества, учитывая степень разбавления, выбирается и оптимальная степень очистки сточных вод.

С учетом выполненных исследований в 1938 г. появились новые «Правила», в дальнейшем они периодически пересматрива-

лись и уточнялись. Последние действующие «Правила» утверждены в 1975 г. Ими руководствуются в своей деятельности органы государственного водного, санитарного и рыбного надзора.

Основной принцип охраны вод, заложенный в этих «Правилах», — создание условий, позволяющих обеспечить соблюдение требований к качеству воды в местах водопользования.

Не останавливаясь подробно на разделах «Правил», отметим, что в них четко даны требования к условиям, допускающим сброс сточных вод и выдачу разрешений на сброс в водоемы; дополнены и уточнены нормативы качества воды водоемов хозяйственно-бытового назначения и для рыбохозяйственных целей, специальным пунктом установлено, что при сбросе сточных вод в черте населенного пункта он является первым расчетным створом водопользования; уточнены технические данные отведения сточных вод в водоемы, порядок согласования; установлен порядок контроля за эффективностью очистки.

«Правилами» запрещено сбрасывать в водоемы сточные воды, содержащие вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК). Запрещается сброс неочищенных сточных вод с плавающих средств водного транспорта, без регистрации и получения соответствующего разрешения. При выдаче разрешения на сброс сточных вод необходимо учитывать перспективу развития данного предприятия. Категорически запрещен сброс сточных вод, имеющих радиоактивные вещества. В «Правилах» детально освещены и другие аспекты загрязнения. Так, даны нормативы состава и свойств воды водных объектов при спуске в них сточных вод.

При поступлении в водные объекты нескольких веществ с одинаковыми лимитирующими показателями вредности (с учетом примесей) сумма отношений этих концентраций каждого из веществ в водном объекте к соответствующим ПДК не должна превышать единицы (подробнее об этом см. гл. 2, п. 2.3).

Большое внимание уделено в «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» вопросам согласования условий отведения сточных вод, работе контролирующих органов и ответственности за нарушение «Правил».

В настоящее время «Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» перерабатываются в соответствии с требованиями нормативных документов, введенных в действие после утверждения «Правил» 1975. Так, они будут регламентировать отведение не только сточных вод, но и всех видов вод, загрязненных в результате хозяйственной деятельности и оказывающие неблагоприятное воздействие на состояние поверхностных вод.

Одной из характеристик качества воды является мутность, т. е. количество взвешенных веществ, содержащихся в литре воды (мг/л) (табл. 4.1). В действующих «Правилах» содержатся реко-

мендации о допустимых изменениях мутности водных масс в результате вносимых сточными водами взвешенных веществ техногенного происхождения. Эти рекомендации нельзя относить к естественным наносам, переносимым речными потоками и формирующим их ложе.

Таблица 4.1

Общие требования к составу сточных вод

Показатель	Диапазон изменения естественных (фоновых) значений мутности, мг/л	Точность измерений		Допустимое превышение мутности над фоновой, мг/л
		для нижнего предела диапазона	для верхнего предела диапазона	
Взвешенные вещества (мутность)	Меньше 10	—	25	3,5
	10—100	25	20	2,5—20,0
	100—500	20	15	20,0—75,0
	500—2000	15	10	75,0—200
	Больше 2000	—	—	20

Примечание. При сбросе сточными водами взвешенных веществ, которые по минеральному составу не отличаются от естественных (сброс при гидротехническом строительстве, разработке и отвалах грунта, сброс после промывки некоторых полезных ископаемых), содержание взвешенных веществ в контрольном створе не должно возрастать по сравнению с естественными условиями.

При решении задачи об оценке качества воды речного потока по значениям мутности необходимо учитывать пространственное распределение среднесуточной мутности рек по территории страны, а также внутригодовую изменчивость мутности и возможные ее суточные колебания. Регламентирование сброса сточных вод, содержащих те же взвешенные вещества, которые транспортируются в естественном состоянии, может основываться только на сопоставлении мутности сбрасываемых вод с фоновой мутностью речного потока. Под фоновой мутностью следует понимать естественную мутность, определяемую условиями формирования стока взвешенных наносов в пределах речного бассейна, долины и русла, естественных процессов транспорта и перетолжения наносов в реках. Наиболее целесообразным представляется считать фоновыми для заданного створа значения мутности, средние за рассматриваемую фазу гидрологического режима (половодье, дождевые паводки, зимняя и летне-осенняя межень). Для рек, на которых измеряются мутности и расходы воды, фоновые значения мутности определяются по данным, помещаемым в справочнике ОГХ. При отсутствии наблюдений за наносами на

рассматриваемой реке фоновые концентрации определяются по реке-аналогу, находящейся в той же зоне мутности, что и эта река.

Нормирование сбросов взвешенных веществ того же минерального состава, что и естественные наносы, основывается на способе, учитывающем точность измерения мутности используемыми в настоящее время методами. Точность измерения мутности составляет 10—25 % от измеренного значения, поэтому и отклонения актуальных значений мутности на 10—25 % от характерных для данного момента значений нельзя считать заметным нарушением режима транспорта наносов реки. В соответствии с изложенным составлены общие требования к составу сточных вод, содержащих взвешенные вещества, которые не отличаются от естественных в водном объекте (табл. 4.1).

Кроме уточнения нормативных показателей по мутности водных объектов в разрабатываемой новой редакции «Правил» значительно расширяется перечень нормируемых ингредиентов, для некоторых загрязняющих веществ уточнены численные значения ПДК и т. д.

В настоящее время проект «Правил» проходит апробацию в научно-исследовательских и проектных организациях, занимающихся вопросами охраны поверхностных вод от загрязнения.

4.2. Организация системы наблюдения и контроля за качеством воды

• Под влиянием антропогенной деятельности происходят изменения во всей биосфере, что требует постоянных наблюдений. Для этой цели у нас в стране разработана система наблюдений, контроля и управления за состоянием окружающей среды, которая получила название мониторинг.

Мониторинг — это оценка состояния окружающей природной среды путем повторных наблюдений за ее элементами (компонентами) в пространстве и во времени с определенной целью и по заранее подготовленной программе. Мониторинг может осуществляться в различных масштабах, в том числе и в глобальных. Академик И. И. Герасимов выделяет три основных «блока» современного мониторинга:

1. Биоэкологический мониторинг, включающий в себя наблюдения за состоянием среды с точки зрения ее влияния на состояние здоровья человека, поскольку оно является наиболее комплексным критерием состояния окружающей среды;

2. Геоэкологический или природно-хозяйственный мониторинг — объединяет наблюдения за состоянием и изменением как природных геосистем, так и природно-технических (агросистемы, городские системы и т. д.);

3. Биосферный мониторинг — проводит наблюдения, контроль и прогноз возможных изменений в глобальном масштабе, т. е.

в отношении биосферы в целом как среды жизни всего человечества.

Ю. А. Израэль выделяет следующие основные задачи, которые стоят перед глобальной системой мониторинга:

- наблюдения за изменением состояния биосферы, выделение тех элементов, которые обусловлены человеческой деятельностью;
- прогноз и определение тенденций в изменении биосферы;
- оценка изменений и тенденций изменений биосферы.

Данные наблюдений дают материал для прогноза возможных изменений в биосфере. Оценка этих изменений и тенденций должна дать ответ на вопрос о неблагоприятном положении в биосфере, указать, в чем и где причина создавшегося состояния, помочь определить те действия, которые помогут нормализовать положение. Поэтому еще в Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 898 от 29 декабря 1972 г. «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» была поставлена задача по созданию общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды (ОГСНК). Организация и обеспечение функционирования этой службы были возложены на Госкомгидромет.

Это же постановление определило задачи отдельных министерств и ведомств в части контроля за загрязнением поверхностных вод и обязало их разработать и осуществить мероприятия по созданию сети пунктов контроля качества поверхностных вод. Постановлением предусмотрена также разработка комплекса государственных стандартов в области охраны природы.

Какие же задачи в области контроля качества поверхностных вод поставлены перед общегосударственной службой наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды?

Здесь необходимо отметить, что система ОГСНК является службой информационной, и поэтому ее основными задачами в рамках контроля качества поверхностных вод являются:

- систематическое получение как отдельных, так и обобщенных во времени и пространстве данных о качестве воды;
- обеспечение центральных партийных, советских и народнохозяйственных органов, а также заинтересованных организаций систематической информацией и прогнозами о качестве воды водоемов и водотоков и экстренной информацией о резких изменениях загрязненности воды.

4.3. Организация работ по наблюдению и контролю качества поверхностных вод

Контроль качества поверхностных вод в системе ОГСНК проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 17.3.07—82. «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков». Он устанавливает единые требования

к построению сети контроля, проведению наблюдений и обработке.

В основе организации и проведения контроля в пунктах ОГСНК лежат следующие основные принципы:

- комплексность и систематичность наблюдений;
- согласованность сроков их проведения с характерными гидрологическими ситуациями;
- определение показателей качества воды едиными методами.

Соблюдение этих принципов достигается установлением программ контроля (по физическим, химическим, гидробиологическим и гидрологическим показателям) и периодичностью проведения контроля, выполнением анализа проб воды по единым методикам, проведением гидрометрических работ в соответствии с указаниями.

Первым этапом организации работ по наблюдению и контролю качества поверхностных вод является выбор местоположения пунктов контроля.

Под пунктом контроля качества поверхностных вод следует понимать место на водоеме или водотоке, в котором производят комплекс работ для получения данных о качестве воды. При наличии нескольких источников загрязнения под пунктом контроля следует понимать весь участок водоема или водотока, на котором расположен населенный пункт, а не отдельные источники загрязнения.

Название пункта контроля дается по названию какого-либо постоянного ориентира (населенный пункт, электростанция, плотина и т. п.) для определенного водного объекта.

Пункты контроля организуют в первую очередь на водоемах и водотоках, имеющих большое народнохозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению промышленными, хозяйственными сточными водами. На не загрязняемых сточными водами водоемах и водотоках или их участках создаются пункты для фоновых наблюдений.

Пункты контроля организуют на водоемах и водотоках в районах:

- расположения городов и крупных рабочих поселков, сточные воды которых сбрасываются в водоемы и водотоки;

- сброса сточных вод отдельно стоящими крупными промышленными предприятиями, территориально-производственными комплексами, организованного сброса сельскохозяйственных сточных вод;

- мест нереста и зимовья ценных видов промысловых организмов;

- предплотинных участков рек, являющихся важными для рыбного хозяйства;

- пересечения реками Государственной границы СССР и границ союзных республик;
- замыкающих створов больших и средних рек;
- устьев загрязненных притоков больших водоемов и водотоков.

Для изучения природных процессов и определения фонового состояния воды водоемов и водотоков пункты контроля создают также на неподверженных прямому антропогенному воздействию участках водного объекта, расположенного на территории государственных заповедников и национальных парков.

В пунктах контроля организуются один или несколько створов наблюдений. Под створом пункта (наблюдения) контроля следует понимать условное сечение водоема или водотока, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды. Местоположение створов устанавливают с учетом гидрометеорологических и морфологических особенностей водоема или водотока, расположения источников загрязнения, количества, состава и свойств сбрасываемых сточных вод, интересов водопользователей, а также «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Один створ устанавливают на водотоках при отсутствии организованного сброса сточных вод в устьях загрязненных притоков, на незагрязненных участках водотоков, на предплотинных участках рек, на замыкающих участках рек, в местах пересечения границы.

Два створа и более устанавливаются на водотоках при наличии организованного сброса сточных вод. Один из них располагают выше источника загрязнения (вне влияния рассматриваемых сточных вод), другие — ниже источника загрязнения. Состав воды в пробе, взятой выше источника загрязнения, характеризует фоновое значение показателей качества воды водотока. Сравнение фоновых значений показателей с показателями в пробе, отобранной ниже источника загрязнения с учетом времени добегания, позволяет судить о характере и степени загрязненности вод под влиянием источников загрязнения. Изменение состава воды в пробах, отобранных также с учетом времени добегания в первом после сброса сточных вод створе и в расположенных ниже створах, дает возможность оценить самоочищающую способность водотока.

Верхний створ устанавливают на 1 км выше источника загрязнения (обычно на этом расстоянии исключается возможность влияния на водоток поступающих со сточными водами загрязняющих веществ). Выбор створов ниже источника загрязнения осуществляется с учетом всего комплекса условий, влияющих на характер распространения загрязняющих веществ в водотоке.

При выборе створа ниже источника загрязнения необходимо, чтобы он характеризовал состав воды в целом по сечению, т. е.

был расположен в месте достаточно полного (не менее 80 %) смешения сточных вод с водой водотока. Расстояние (км) до этого створа может быть определено по формуле, предложенной В. А. Фроловым и И. Д. Родзиллером (см. гл. 7, п. 7.2.5).

Полученное расчетным путем расположение створов смешения рекомендуется уточнить во время обследования участка путем измерения характерных для оценки смешения данных. Створ смешения мигрирует вдоль русла водотока, оптимальным следует считать место, где створ контроля совпадает со створом гарантированного в течение года практически полного смешения сточных вод с водой водотока. На реках, используемых для нужд рыбного хозяйства, такой створ устанавливается в 0,5 км от места сброса сточных вод.

При наличии на водотоке нескольких источников загрязнения верхний створ располагается выше первого источника, нижний — ниже последнего. Между створами выше и ниже источников загрязнения могут быть установлены дополнительные створы, которые должны охарактеризовать влияние отдельных источников загрязнения. При наличии на водотоке нескольких рукавов, створы располагают на тех из них, где наблюдаются наибольшие расходы и нарушения норм качества воды водотоков.

На водоемах наблюдение и контроль проводят по водоему в целом или на отдельных загрязненных участках его. При контроле по водоему с учетом геоморфологии береговой линии и других факторов устанавливают не менее 3 створов, по возможности равномерно распределенных по акватории.

При контроле на отдельных загрязненных участках водоемов створы устанавливают с учетом условий водообмена водоемов. На водоемах с интенсивным водообменом ($>5,0$) расположение створов аналогично расположению их на водотоках: один створ устанавливают примерно на 1 км выше источника загрязнения, где нет влияния сточных вод, остальные створы — ниже источника загрязнения (не менее двух, на расстоянии 0,5 км от сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязненности). Границу зоны загрязненности (а это часть водоема или водотока, в которой нарушены нормы качества воды по одному или нескольким показателям) устанавливают по размерам максимальной зоны загрязненности, определенной расчетным путем и уточненной при проведении обследования водоема.

На водоемах с умеренным (0,1—5,0) и замедленным ($<0,1$) водообменом один створ устанавливают в неподверженной загрязнению части водоема, другой — совмещают со створом сброса сточных вод; остальные створы проходят параллельно ему по обе стороны (не менее 2-х, на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязненности).

Количество вертикалей в створе на водоеме определяется шириной зоны загрязненности: первую вертикаль располагают на

расстоянии не далее 0,5 км от места сброса сточных вод или от берега, последнюю — непосредственно за границей зоны загрязненности.

Количество вертикалей в створе на водотоке определяется условиями смешения речных вод со сточными водами или водами притоков: при неоднородности химического состава в створе устанавливают не менее трех вертикалей (на стрежне и на расстоянии 3—5 м от берегов); при однородности химического состава — одну вертикаль (на стрежне реки).

Количество горизонтов на вертикали определяется глубиной водоема или водотока в месте измерения: при глубине до 5 м устанавливается один горизонт (у поверхности — 0,2—0,3 м от поверхности воды летом и у нижней поверхности льда зимой), при глубине от 5 до 10 м — два (у поверхности и на глубине 0,5 м от дна), а при глубине более 10 м — три (промежуточный, расположенный на половине глубины). На глубоких водоемах устанавливают следующие горизонты: у поверхности, на глубинах 10, 20, 50 и 100 м и у дна (дополнительный горизонт — в слое скачка плотности) (табл. 4.2, 4.3, 4.4).

Пункты контроля качества поверхностных вод подразделяются на 4 категории. Категория пункта определяет периодичность контроля качества вод и программу контроля в пункте. Категория пункта устанавливается с учетом следующих основных факторов: народнохозяйственного значения водного объекта, качества воды, размера и объема водоема, размера и водности водотока и др. (табл. 4.5).

Какова же периодичность контроля на пунктах каждой категории?

В пунктах I категории контроль по гидрохимическим и гидрологическим показателям проводят ежедневно в первом после выпуска сточных вод створе, еженедельно и ежемесячно по сокращенной программе и по обязательной программе в основные фазы водного режима.

В пунктах II категории контроль по гидрохимическим и гидрологическим показателям проводят ежедневно (визуальные наблюдения), еженедельно (по сокращенной программе), ежемесячно (по сокращенной программе) и по обязательной программе в основные фазы водного режима.

В пунктах III категории контроль по гидрохимическим и гидрологическим показателям проводят ежемесячно по сокращенной программе либо по обязательной в основные фазы водного режима.

В пунктах IV категории контроль по гидрохимическим и гидрологическим показателям проводят в основные фазы водного режима по обязательной программе.

Расположение створов в пункте контроля

Тип водного объекта	Характеристика источника загрязнения	Количество створов	Расположение створов
Водоём	Отсутствие организованного сброса сточных вод или равномерная загрязнённость водоема	Не менее трех по водоему в целом	По возможности равномерно распространённые по акватории с учетом геоморфологии береговой линии и других факторов
Водоём	Организованный сброс сточных вод	Не менее трех на водоеме с интенсивным водообменом	Выше источника загрязнения примерно на 1 км (вне влияния сточных вод); ниже источника загрязнения: не менее двух на расстоянии 0,5 км от сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязнённости
Водоём	Организованный сброс сточных вод	Не менее шести на водоеме с умеренным и замедленным водообменом	В неподверженной загрязнению части водоема; через место сброса сточных вод; по обе стороны от сброса сточных вод: не менее двух на расстоянии 0,5 км от места сброса и непосредственно за границей зоны загрязнённости
Водоток	Отсутствие организованного сброса сточных вод	Один	С учетом гидрометеорологических и морфометрических особенностей водотока и интересов водопользователей
Водоток	Организованный сброс сточных вод	Не менее двух	Выше источника загрязнения примерно на 1 км (вне влияния сточных вод); ниже источника загрязнения: в створе достаточно полного (не менее 80 %) смещения сточных вод с водой водотока; в створе с учетом интересов водопользователей (в зависимости от условий смешения, но не далее 0,5 км от сброса сточных вод на используемых для нужд местного хозяйства водотоках)

Таблица 4.3

Расположение вертикалей в пункте контроля

Тип водного объекта	Факторы, определяющие количество вертикалей	Количество вертикалей	Расположение вертикалей
Водоем	Ширина зоны загрязнения водоема	Не менее двух	Первая не далее 0,5 км от места сброса сточных вод; последняя — непосредственно за границей зоны загрязнения
Водоток	Неоднородность химического состава в створе	Не менее трех	На расстоянии 3—5 м от берегов (две) на стрежне водотока
	Однородность химического состава воды в створе	Один	На стрежне водотока

Таблица 4.4

Расположение горизонтов в пункте контроля

Тип водного объекта	Глубина водоема или водотока в месте измерения, м	Количество горизонтов	Расположение горизонтов
Водоем	5	1	У поверхности
	10	2	У поверхности, у дна
	20	3	У поверхности, у дна, 10 м
	50	4	У поверхности, 10, 20 м, у дна
	100	5	У поверхности, 10, 20, 50 м, у дна
	> 100	6	У поверхности, 10, 20, 50, 100 м, у дна
Водоток	5	1	У поверхности
	5—10	2	У поверхности, у дна
	10	3	У поверхности, на половине глубины, у дна

Примечание. В стратифицированном водоеме назначается дополнительный горизонт, расположенный в слое скачка плотности.

Расположение и категории пунктов контроля системы ОГСНК на водосмах и водотоках

Категория пунктов контроля	Расположение пункта контроля ¹ с учетом народнохозяйственного значения и размера водоема или водотока	с учетом состояния воды водоема или водотока
II ²	Районы городов с населением свыше 1 млн. жителей; места нереста и зимовья особо ценных видов промысловых организмов. ³	Районы повторяющихся аварийных сбросов загрязняющих веществ и заморных явлений водных организмов; районы организованного сброса сточных вод, в результате чего наблюдается высокая загрязненность воды (превышение 100 ПДК по одному или нескольким показателям качества воды).
III	Районы городов с населением от 1 до 0,5 млн. жителей; район важного рыбохозяйственного значения (места нереста и зимовья ценных видов промысловых организмов, предельные участки рек); при пересечении реками Государственной границы СССР.	Районы организованного сброса сточных вод, в результате чего наблюдается систематическая средняя загрязненность воды (превышение от 10 до 100 ПДК по одному или нескольким показателям воды).
III	Районы городов с населением менее 0,5 млн. жителей; замыкающие створы больших и средних рек, устья загрязненных притоков больших рек и водоемов. ⁴	Районы организованного сброса сточных вод, в результате чего наблюдается систематическая низкая загрязненность воды (превышение от 10 ПДК по одному или нескольким показателям качества воды).

Категория пунктов контроля	Расположение пункта контроля ¹	
	с учетом народнохозяйственного значения и размера водоема или водотока	с учетом состояния воды водоема или водотока
IV	Районы территории государственных заповедников и национальных парков, водоемы и водотоки, являющиеся уникальными природными объектами.	Незагрязненные участки водосемов и водотоков

¹ Пункты контроля, расположенные в районах сброса сточных вод отдельными крупными промышленными предприятиями, территориально-производственными комплексами, организованного сброса сточных вод с орошаемых участков и в местах пересечения реками границ союзных республик, относятся к одной из четырех категорий в зависимости от состояния водоема или водотока в пункте.

² Пункты I категории располагают на средних и больших водосемах и водотоках (ГОСТ 17.1.1.02—77), имеющих важное народнохозяйственное значение. При обосновании допускается располагать пункты I категории на малых водосемах и водотоках.

³ В соответствии с ГОСТ 17.1.2.04—77 к группе особо ценных видов промысловых организмов относятся виды, дающие продукцию особой ценности вне зависимости от масштаба и наличия их промысла в данном водном объекте, на пример, лососевые, осетровые; к группе ценных видов — виды, являющиеся важными объектами промысла или организованного любительского лова, например, лещ, вобла, судак.

⁴ В соответствии с ГОСТ 17.1.1.02—77 к большим рекам относятся реки с площадью водосбора более 50 000 км² и расходом воды более 100 м³/с, к средним — от 2000 до 50 000 км² и от 5 до 100 м³/с, к большим водосемам — водоемы с площадью поверхности от 101 до 1000 км² объемом от 1,1 до 10,0 км³.

Контроль качества воды по обязательной программе на большинстве водотоков проводят семь раз в году:

- во время половодья — на подъеме, пике и спаде; во время летней межени — при наименьшем расходе и при прохождении дождевого паводка; осенью — перед ледоставом, во время зимней межени.

В зависимости от особенностей водного режима водотока периодичность контроля может отличаться от обязательной программы:

- на реках с длительным половодьем (больше месяца) число наблюдений увеличивается до 8 в год;

- на водотоках с устойчивой летней меженью, где осенний подъем воды выражен слабо, число наблюдений снижается до 5—6 в год;

- на временных водотоках число наблюдений уменьшается до 3—4 в год;

- на реках с паводочным режимом в течение всего года число наблюдений должно быть не менее 8;

- на горных реках число наблюдений может колебаться в зависимости от типа водотока от 4 до 11.

На водоемах контроль по обязательной программе проводят:

- зимой при наиболее низком уровне и наибольшей толщине ледяного покрова;

- в начале весеннего наполнения водоема;

- в период максимального наполнения (при наибольшем уровне),

- в летне-осенний период при наиболее низком уровне.

В пунктах I—III категорий контроль по гидробиологическим показателям рекомендуется проводить ежемесячно по сокращенной программе и ежеквартально по полной. При этом в пунктах III категории ежемесячный контроль по сокращенной программе проводится только в вегетационный период.

В пунктах IV категории контроль по гидробиологическим показателям рекомендуется проводить по полной программе ежеквартально.

При проведении контроля по гидробиологическим, гидрохимическим и гидрологическим показателям могут встречаться нарушения или невозможности проведения плановых программных работ. Такие случаи оговорены существующими рекомендациями [12].

Остановимся на программах контроля. Обязательная программа контроля по гидрологическим и гидрохимическим показателям предусматривает определение следующих показателей: расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; скорость течения, $\text{м}/\text{с}$; уровень, м ; визуальные наблюдения (температура, $^{\circ}\text{C}$; цветность, град; прозрачность, см ;

запах, баллы); концентрация растворенных в воде газов (кислород, двуокиси углерода, мг/дм³ (мг/л); концентрация взвешенных веществ, мг/дм³ (мг/л); водородный показатель (рН); окислительно-восстановительный потенциал (Еh), мВ; концентрация главных ионов (хлоридных, сульфатных, гидрокарбонатных, кальция, магния, натрия, калия), сумма ионов, мг/дм³ (мг/л); химическое потребление кислорода, мг/дм³ (мг/л); биохимическое потребление кислорода за 5 сут. мг/дм³ (мг/л); концентрация биогенных элементов (аммонийных, нитритных и нитратных ионов, фосфатов, железа общего, кремния), мг/дм³ (мг/л); концентрации широко распространенных загрязняющих веществ (нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ, летучих фенолов, пестицидов и соединений металлов), мг/дм³ (мг/л).

Предусмотрено три сокращенных программы контроля, которые отличаются объемом работ и количеством определяемых показателей. И то, и другое устанавливается на основании данных о составе сбрасываемых в районе пункта контроля сточных вод и предварительного обследования водного объекта.

По гидробиологическим показателям имеется полная программа контроля и сокращенная. В зависимости от загрязняющих веществ объем работ и количество показателей меняются.

Если нас интересует качество воды за пределами пунктов контроля, то необходимо провести специальные экспедиционные наблюдения. Такие наблюдения проводят при чрезвычайных ситуациях в состоянии водоемов и водотоков, а также для определения или уточнения расположения пунктов и створов контроля и программ работ.

Целью предварительных экспедиционных исследований являются:

- выявление источников загрязнения, состава и режима сброса сточных вод;
- определение створа гарантированного смешения природных и сточных вод и зоны загрязнения;
- определение расположения пунктов контроля, створов, вертикалей и горизонтов в них;
- выявление загрязняющих веществ, характерных для данного водоема или водотока или его участка;
- составление программы работ.

Предварительным исследованиям предшествуют сбор, подробное изучение и анализ материалов о водопользователях, водоеме или водотоке, источниках загрязнения и т. д. Полученные материалы анализируются, затем выполняется обследование объекта, согласно имеющимся рекомендациям.

Необходимо заметить, что положение пунктов контроля может быть изменено, так же как и программы контроля. Это делается по специальной заявке, которая подается к 1 сентября на рассмот-

рение в соответствующее Управление Госкомгидромета. Заявка должна содержать пояснительную записку, карту-схему участка водоема или водотока, на котором расположен пункт, с нанесением источников загрязнения, мест сброса сточных вод, створов пунктов контроля территории населенных пунктов и сведения для обоснования предлагаемого изменения.

Поданные заявки рассматриваются в месячный срок, согласовываются с ГХИ и утверждаются Госкомгидрометом.

Глава 5. МЕТОДЫ ОБОБЩЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

5.1. Статистические характеристики рядов гидрохимической информации

Существующий в настоящее время подход к характеристике качества воды основан на сопоставлении с соответствующими нормативными показателями результатов определения химического состава, физических свойств, бактериологических характеристик воды и т. д. в отдельных точках водного объекта. Для получения обобщенных данных наблюдений, позволяющих оценивать изменчивость загрязненности воды во времени и пространстве, широко используют статистический метод обработки данных.

Предварительными условиями выполнения статистических расчетов является выбор репрезентативной длины ряда наблюдаемых значений рассматриваемого показателя качества воды и выбраковки сомнительных данных. Для обеспечения однородности ряда необходимо, чтобы в выбранный период времени не происходило существенного изменения как водного режима изучаемого объекта (например, зарегулирования), так и антропогенной нагрузки на водосборную площадь выше створа наблюдений. Не должно иметь место также изменение методики отбора и анализа проб воды в отношении рассматриваемого показателя, если не могут быть получены переходные коэффициенты (поправки).

Выбраковки сомнительных значений, появление которых обычно связано с грубыми ошибками при производстве наблюдений и обработке данных или иногда с аварийными выбросами сточных вод, выполняются согласно действующим правилам оценки результатов наблюдений (ГОСТ 11.002—73). Для отбраковки данных в гидрохимических рядах весьма удобен критерий Диксона, менее чувствительный к требованиям нормальности распределения выборки.

Для обработки гидрохимической информации используются следующие статистические оценки состояния водных объектов:

1. Среднее арифметическое значение концентрации компонента S химического состава воды за выбранный j -й интервал времени, например, сезон, год:

$$\bar{S}_j = \frac{1}{N_j} \sum_i^{N_j} S_{j,i},$$

где $S_{j,1}, S_{j,2}, S_{j,3} \dots S_{j,N_j}$ — результаты наблюдений за данным компонентом в течение j -го периода; N_j — количество наблюдений в течение периода (за исключением отбраковки по разным причинам). Величиной $\bar{S}$ оценивается средний уровень загрязненности за период на данном пункте (участке или бассейне реки), что позволяет сравнивать уровни загрязненности по данному компоненту S химического состава за разные периоды или на разных водных объектах.

2. Экстремальные значения $S_{\min}$ и $S_{\max}$ ряда $\{S_{j,i}\}$ ($i=1; N_j$), характеризующие наилучшие и наихудшие условия на объекте в течение рассматриваемого периода. Они также пригодны для сравнения состояния загрязненности за различные периоды и на различных объектах.

3. Повторяемость $\Pi_1, \Pi_{10}, \Pi_{30}, \Pi_{50}$ и Π_{100} — появления результатов $S_{j,i}$, значения которых превосходят в 1, 10, 30, 50 и 100 крат величину ПДК для данного компонента S в процентах к числу наблюдений N_j (предложено В. А. Павелко):

$$\Pi_{k \text{ ПДК}} = \frac{v_k}{N_j} 100 \%,$$

где v_k — количество результатов $S_{j,i}$ из ряда $\{S_{j,i}\}$ ($i=1; N_j$), значения которых превосходят k -кратную величину ПДК.

Повторяемость превышения ПДК отражает эмпирические законы распределения частот появления компоненты в интервалах наблюдаемых концентраций. В отличие от $S_{\max}$ эта оценка тесно связана с действующими нормативами качества воды и позволяет получать непосредственное представление о степени их нарушения на водном объекте.

При статистической обработке используются также следующие оценки:

— $\sigma(\bar{S})$ — ошибка среднего как оценка достоверности полученных результатов;

— σ — мера рассеяния результатов (среднеквадратическое отклонение) как оценка устойчивости концентраций величины S на данном объекте (его участке) за период;

— асимметрия распределения величины S характеризует отклонение членов ряда относительно среднего значения.

Определенный интерес представляет расчет значений концентраций различной обеспеченности. Величины $S_{p\%}$ вычисляются по характеристикам статистического ряда с построением кривой обеспеченности данной концентрации по известным методам инженерной гидрологии. Обычно используют значения концентраций обеспеченностью 1, 5, 50, 95 и 99 %.

Среднеквадратическое отклонение находится по известному выражению

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N_j - 1} \sum_{i=1}^{N_j} (S_{j,i} - \bar{S}_j)^2}.$$

Ошибка среднего арифметического значения определяется по формуле

$$\sigma(\bar{S}) = \frac{\sigma}{\sqrt{N_j}},$$

а значение коэффициента асимметрии по формуле

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} (S_{j,i} - \bar{S}_j)^3}{N_j \sigma^3}.$$

Ввиду своей безразмерности коэффициент асимметрии удобен для сопоставления особенностей распределения различных показателей качества воды на сравниваемых водных объектах. Определение доверительных границ для среднего значения концентрации с учетом ошибки среднего и заданной вероятности производится по выражению

$$\bar{S}_{j(\text{д. г.})} = \bar{S}_j \pm t_p \frac{\sigma_{(S_j)}}{\sqrt{n}},$$

где $\bar{S}_j$ — среднеарифметическое значение концентрации j -го ингредиента в фоновом створе; t_p — коэффициент Стьюдента при заданной вероятности P ; $\sigma_{(S_j)}$ — среднее квадратическое отклонение для j -го ингредиента.

Для большинства рек и водоемов сопоставление эмпирического и теоретического распределений концентраций химических веществ показывает достаточно хорошее согласие распределения рядов данных с нормальным законом. Поэтому можно считать, что действительные значения концентрации химического вещества в наблюдательном (контрольном) створе с вероятностью 68 % находятся в интервале $\bar{S}_\Phi \pm \sigma$, с вероятностью 95 % — в интервале $\bar{S}_\Phi \pm 2\sigma$, а вся амплитуда рассеяния нормально распределенных

величин с вероятностью 99,7 % находится в интервале $\pm 3\sigma$. Таким образом, можно найти верхнюю границу гидрохимической характеристики с заданной вероятностью по выражению

$$S_{j, \max} = \bar{S}_j + U\sigma_{(s_j)},$$

где U — коэффициент, которому придается численное значение от 0 до 3 в зависимости от желаемого уровня значимости (или доверительной вероятности).

При решении большинства задач, связанных с расчетами качества воды, можно считать вполне допустимым, если около 5 % наблюдаемых значений концентраций окажется вне доверительного интервала, что будет соответствовать 95 % вероятности попадания возможного значения концентрации S_i в интервале от $\bar{S}_\Phi - 2\sigma_{(s_\Phi)}$ до $\bar{S}_\Phi + 2\sigma_{(s_\Phi)}$. Определение верхней границы изменчивости концентраций (показателей качества) представляет большой интерес для учета влияния хозяйственной деятельности на качество вод. Наименьшее значение изменения концентрации вещества, вызванное сбросом сточных вод ниже створа, может быть установлено по выражению

$$S_H - (\bar{S}_j + U\sigma) > 0,$$

где S_H — концентрация в нижерасположенном створе. При наличии в створе выраженных сезонных изменений показателей качества воды целесообразно выполнить группировку данных наблюдений по основным гидрологическим сезонам и затем определить статистические характеристики для этих сезонов. Соответственно среднегодовая концентрация рассчитывается как средневзвешенная из сезонных значений. При необходимости определить значения концентрации в водотоках с учетом неблагоприятных расчетных гидрологических условий, за которые для незарегулированных рек обычно принимается минимальный среднемесячный расход воды года 95 %-ной обеспеченности, согласно рекомендациям ГХИ следует учитывать наличие статистической связи типа $S_j = S_{(Q)}$ и находить S_Φ по формуле

$$S_j^* = \bar{S}_j' + \sigma_{(s_j)} t_{0,95} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-r}},$$

где $\bar{S}_j'$ — рассчитанная по уравнению регрессии средняя концентрация, соответствующая расчетному расходу воды; $\sigma_{(s_j)}$ — среднеквадратическая погрешность определения; $t_{0,95}$ — коэффициент Стьюдента при $P=0,95$; r — коэффициент корреляции S_Φ и Q ; n — число значений, взятых для определения r .

5.2. Система интегральных показателей для оценки загрязненности поверхностных вод

Достаточно объективными показателями степени загрязненности рек и водоемов являются характеристики, основанные на данных натурных наблюдений или теоретических расчетов параметров зон загрязнения, устанавливаемых по превышению концентраций загрязняющего вещества над ПДК или другими нормативными значениями. Система таких интегральных показателей, позволяющих обобщать данные по створу, части водного объекта или в целом по нему, разработана в Государственном гидрологическом институте [13] и подразделяется на три группы:

1. Гидрологические показатели средней загрязненности и общей нагрузки речного потока лимитирующими или репрезентативными веществами;

2. Гидролого-гидродинамические показатели состояния загрязненности рек и водоемов;

3. Показатели, учитывающие внешний водообмен водоемов (озер и водохранилищ);

Ниже рассмотрим способы расчета этих показателей.

1. *Гидрологические показатели средней загрязненности и общей нагрузки речного потока.* Абсолютный показатель общей нагрузки характеризует среднюю насыщенность потока лимитирующим или репрезентативным загрязняющим веществом, смесью загрязняющих веществ или же количеством микроорганизмов. Общая нагрузка может быть выражена средней концентрацией S_n загрязняющей примеси в потоке, принимающем сточные воды. Величина S_n является истинным значением концентрации загрязнителя в так называемом створе полного перемешивания, для выше расположенных створов она может служить условным показателем общей нагрузки. Для вычисления S_n применяется следующая известная в гидрологии формула:

$$S_n = \frac{Q_{ст} S_{ст} + Q_p S_e}{Q_p + Q_{ст}}, \quad (5.1)$$

где Q_p , $Q_{ст}$ — соответственно расходы реки и сточных вод, м³/с; $S_{ст}$ — концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, г/м³; S_e — концентрация того же вещества в речных водах до места сброса стоков (естественная концентрация).

Если $S_e = 0$, то

$$S_n = \frac{Q_{ст} S_{ст}}{Q_p + Q_{ст}}. \quad (5.2)$$

Оценку изменчивости показателя S_n во времени можно выполнить в двух вариантах:

а) представить S_n как функцию времени t , взяв за основу последовательный ряд годовых гидрографов воды или используя

характерные гидрографы реки, в частности гидрограф маловодного или среднего по водности года; б) можно представить S_n как функцию обеспеченности P суточных расходов реки многолетнего ряда наблюдений. При этом следовало бы учесть и изменения во времени $Q_{ст}$ и $S_{ст}$, однако во многих случаях достаточную для проектирования характеристику можно получить и при использовании средних значений указанных величин. Если считать, что $Q_{ст} = \text{const}$, $S_{ст} = \text{const}$ и $S_0 = 0$, то S_n как функции времени и обеспеченности запишутся следующим образом:

$$S_{n(t)} = \frac{Q_{ст} S_{ст}}{Q_{ст} + Q_p(t)} \quad (5.3)$$

и

$$S_{n(P\%)} = \frac{Q_{ст} S_{ст}}{Q_{ст} + Q_p(P\%)} \quad (5.4)$$

Оба соотношения могут быть представлены графически или в табличной форме. При использовании формулы (5.4) вычисления ведутся для нескольких расходов заданной обеспеченности, например 8, 20, 50, 75, 90 и 95 %. Это позволяет достаточно надежно построить кривую обеспеченности $S_{n(P\%)}$. При необходимости, выполняется контрольное вычисление на наименьший из измеренных расходов воды или же на расход 99 %-ной обеспеченности, принимаемый за абсолютный минимум.

Естественно, что расходам малой обеспеченности будут отвечать малые концентрации загрязняющего вещества, а расходам большой обеспеченности — большие концентрации.

Показатель превышения загрязненности над нормой $P_{заг}$ выражает процент обеспеченности (%) превышения загрязненности потока над ПДК (по числу дней или других единиц времени). Значение $P_{заг}$ определяется из соотношения

$$P_{заг} = 100 - P_{чист}. \quad (5.5)$$

Пример расчета $P_{чист}$ и $P_{заг}$ дан в разделе 7.2.1.

Показатель относительной продолжительности общей загрязненности потока $\tau_{заг}$ выражается отношением времени $T_{заг}$ (например, числа дней), в течение которого средняя концентрация потока S_n превышает ПДК, к общей продолжительности рассматриваемого промежутка времени:

$$\tau_{заг} = \frac{T_{заг}}{T_{год}}, \quad (5.6)$$

где

$$T_{заг} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{заг_i}. \quad (5.7)$$

Число n выражает общее число интервалов времени $\Delta T_{заг}$ в году.

Показатель относительной продолжительности стока чистой воды $\tau_{\text{чист}}$ получается тем же путем, что и предыдущий показатель, и вычисляется по формуле

$$\tau_{\text{чист}} = \frac{T_{\text{чист}}}{T_{\text{год}}} = \frac{T_{\text{год}} - T_{\text{заг}}}{T_{\text{год}}} = 1 - \tau_{\text{заг}}, \quad (5.8)$$

где

$$T_{\text{чист}} = \sum_{i=1}^m \Delta T_{\text{чист}i}, \quad (5.9)$$

m — общее число интервалов времени $\Delta T_{\text{чист}i}$, отвечающих протеканию чистой воды (при $S_n \leq \text{ПДК}$).

Показатель относительного объема загрязненного стока $\alpha_{\text{заг}}$ рассчитывается по формуле

$$\alpha_{\text{заг}} = \frac{V_{\text{заг}}}{V_{\text{год}}}, \quad (5.10)$$

где $V_{\text{год}}$ — объем годового стока реки; $V_{\text{заг}}$ — объем стока реки за все интервалы времени, когда $S_n > \text{ПДК}$. Величина $V_{\text{заг}}$ может быть определена по соответствующим площадям гидрографа, ограниченным вертикальными линиями, проведенными через точки деления абсциссы t на отрезки ΔT_v и $\Delta T_{\text{заг}}$. $V_{\text{заг}}$ складывается из объемов стока за отдельные периоды года, отвечающие превышению S_n над ПДК, т. е.

$$V_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n \Delta V_{\text{заг}i}. \quad (5.11)$$

Показатель $\alpha_{\text{заг}}$ позволяет непосредственно оценить загрязненную выше ПДК часть речного стока, поступающего в водохранилище, озеро или море.

Показатель относительного объема чистого стока $\alpha_{\text{чист}}$ вычисляется по разности

$$\alpha_{\text{чист}} = 1 - \alpha_{\text{заг}}, \quad (5.12)$$

или по соотношению

$$\alpha_{\text{чист}} = \frac{V_{\text{чист}}}{V_{\text{год}}}. \quad (5.13)$$

Объем чистого годового стока находится суммированием

$$V_{\text{чист}} = \sum_{i=1}^m \Delta V_{\text{чист}i}, \quad (5.14)$$

или, если ранее определен $V_{\text{заг}}$, то

$$V_{\text{чист}} = V_{\text{год}} - V_{\text{заг}}. \quad (5.15)$$

Показатель относительной нагрузки консервативным загрязнителем ϕ определяется следующим образом. Полагаем, что средняя концентрация загрязняющего консервативного вещества в реке, поступающего в нее со сточными водами, может быть вычислена по формуле (5.1). Учитывая исходное предположение, производим подстановку

$$S_n \leq \text{ПДК} \quad (5.16)$$

и записываем

$$\frac{Q_{\text{ст}} S_{\text{ст}} + Q_p S_e}{Q_{\text{ст}} + Q_p} \leq \text{ПДК}. \quad (5.17)$$

Отсюда получаем

$$(S_{\text{ст}} - \text{ПДК}) Q_{\text{ст}} \leq (\text{ПДК} - S_e) Q_p \quad (5.18)$$

или

$$\frac{(S_{\text{ст}} - \text{ПДК}) Q_{\text{ст}}}{(\text{ПДК} - S_e) Q_p} \leq 1. \quad (5.19)$$

Выражение, стоящее в левой части неравенства, можно назвать показателем относительной нагрузки потока загрязняющим веществом; обозначая его через ϕ , записываем:

$$\phi = \frac{(S_{\text{ст}} - \text{ПДК}) Q_{\text{ст}}}{(\text{ПДК} - S_e) Q_p}. \quad (5.20)$$

Если $S_e = 0$, то зависимость принимает вид

$$\phi = \left(\frac{S_{\text{ст}}}{\text{ПДК}} - 1 \right) \frac{Q_{\text{ст}}}{Q_p}. \quad (5.21)$$

При необходимости рассматривается хронологическое изменение показателя ϕ в связи с изменением расходов воды, для чего используются графики $\phi(t)$. Величина ϕ может быть представлена в виде зависимости от обеспеченности расхода воды.

Показатель обеспеченности предельно допустимой нагрузки потока консервативным загрязнителем — $P_{\text{пред}} \%$. Предельное условие отвечает равенству

$$\phi_{\text{пред}} = 1, \quad (5.22)$$

а допустимая нагрузка — условию

$$\phi \leq 1. \quad (5.23)$$

2. Гидролого-гидродинамические показатели состояния загрязненности речных потоков и водоемов. Достаточно наглядными для общей оценки состояния загрязнения водоема являются такие характеристики, как размеры зон загрязнения. Эти размеры могут задаваться в двумерных и пространственных единицах. В качестве линейного измерителя представляет интерес наибольшая про-

тяженность зоны, т. е. ее длина $L_{\text{заг}}$, выражающая расстояние от места выпуска до изолинии концентрации, равной ПДК.

Двухмерными измерителями могут служить площадь поперечного сечения зоны загрязнения $\omega_{\text{заг}}$ и площадь этой зоны по поверхности потока или водоема $\Omega_{\text{заг}}$. Пространственной характеристикой является объем зоны загрязнения $W_{\text{заг}}$. Важным показателем является также относительная характеристика максимальной концентрации S_{max} на лимитирующем расстоянии $l_{\text{л}}$, определяемом по тем или иным соображениям. Размеры зоны загрязнения, а также относительная характеристика максимальной концентрации на расстоянии $l_{\text{л}}$ и величина $L_{\text{заг}}$, выражающая расстояние до изолинии концентрации, отвечающей ПДК, изменяются в зависимости от изменения расходов воды, скоростей течения (по величине и направлению), глубины потока, интенсивности внутреннего и внешнего водообмена в водоеме, интенсивности турбулентного перемешивания, обусловленного как стоковым течением, так и ветровым волнением. Основным фактором, определяющим динамику речного потока, является расход воды, с которым связываются некоторые обобщающие параметры качества воды и устанавливается их изменчивость.

Для замкнутых водоемов (озера, водохранилища) основным фактором, определяющим их динамику, следует считать воздействие ветра на свободную поверхность. Поэтому для водоемов изменчивость рассматриваемых показателей качества воды может быть поставлена в зависимость от изменчивости параметров ветра.

Линейный показатель загрязнения $\lambda_{\text{заг}}$ выражается соотношением

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{\text{н, заг}} &= \frac{L_{\text{заг}}}{H_*}, \\ \lambda_{\text{в, заг}} &= \frac{L_{\text{заг}}}{B_*}, \end{aligned} \right\} \quad (5.24)$$

где $L_{\text{заг}}$ применительно к речному потоку показывает длину зоны загрязнения, т. е. расстояние от створа выпуска сточных вод до створа, где наибольшая концентрация лимитирующего вещества равна ПДК. Для водоема (озера или водохранилища) $L_{\text{заг}}$ выражает наибольшее расстояние от места выпуска сточных вод до изолинии концентрации загрязняющего вещества, отвечающей ПДК. Величины H_* и B_* для речного потока вычисляются как средняя глубина и ширина на участке между створом выпуска и створом ПДК, для водоема — средняя глубина на участке, в пределах которого распространено загрязнение. Показатель $\lambda_{\text{в, заг}}$ для водоемов не вычисляется.

В реках показатель $\lambda_{\text{заг}}$ в наибольшей мере изменяется в связи с изменением расходов воды. В водоемах главным фактором, определяющим изменчивость $\lambda_{\text{заг}}$, является ветер.

Показатели относительной площади зоны загрязнения даются в двух вариантах:

а) по площади поперечного сечения (показатель $\beta_{\text{заг}}$)

$$\beta_{\text{заг}} = \frac{\omega_{\text{заг}}}{\omega_{\text{общ}}}, \quad (5.25)$$

применяемый только для речных потоков;

б) по площади зоны в плане (показатель $\eta_{\text{заг}}$):

для речных потоков

$$\eta_{\text{заг}} = \frac{\Omega_{\text{заг}}}{\Omega_{\text{о. п.}}} \quad (5.26)$$

и для озер и водохранилищ

$$\eta_{\text{заг}} = \frac{\Omega_{\text{заг}}}{\Omega_{\text{общ}}}. \quad (5.27)$$

В этих зависимостях $\omega_{\text{общ}}$ — площадь поперечного сечения речного потока в створе наибольшего распространения загрязнения по ширине реки; $\omega_{\text{заг}}$ — площадь поперечного сечения загрязнения части потока в том же створе; $\Omega_{\text{о. п.}}$ — общая площадь зеркала речного потока от створа выпуска до створа, в котором максимальная концентрация лимитирующего загрязняющего вещества равна ПДК. Для озер и водохранилищ используется отношение площади зоны загрязнения к общей площади водоема $\Omega_{\text{общ}}$.

Относительный объемный показатель загрязнения $\mu_{\text{заг}}$ для речного потока вычисляется как частное от деления объема зоны загрязнения $W_{\text{заг}}$ на объем участка реки $W_{\text{о. п.}}$, заключенного между створом выпуска сточных вод и створом, ограничивающим зону загрязнения снизу по течению.

Для речного потока

$$\mu_{\text{заг}} = \frac{W_{\text{заг}}}{W_{\text{о. п.}}} \quad (5.28)$$

Для озера или водохранилища

$$\mu_{\text{заг}} = \frac{W_{\text{заг}}}{W_{\text{общ}}}, \quad (5.29)$$

где $W_{\text{общ}}$ — общий объем водных масс в водоеме. Показатель $\mu_{\text{заг}}$ в реках изменяется в связи с изменениями расходов воды, а в водоемах — в связи с изменением ветра и объема водных масс, связанного функционально со средним уровнем водоема. Соответственно исследуется изменчивость показателя $\mu_{\text{заг}}$.

Относительный показатель максимальной концентрации на лимитирующем расстоянии l от выпуска ψ_l определяется по соотношению

$$\psi_l = \frac{S_{\max l}}{\text{ПДК}}, \quad (5.30)$$

где $S_{\max l}$ — максимальная концентрация рассматриваемого загрязнения веществом на расстоянии l от выпуска. В качестве лимитирующего расстояния при оценке загрязненности водного объекта, используемого в рыбохозяйственных целях принимается расстояние 500 м. Лимитирующее расстояние в реках измеряется от выпуска вниз по течению, в водоемах (в общем случае) — по радиусу окружности с центром в месте выпуска.

Показатель ψ_l в реках изменяется при изменении расходов воды, в водоемах — при изменении ветро-волновых характеристик и уровня воды. Изменчивость показателя ψ_l исследуется аналогично изменчивости перечисленных выше показателей.

3. Показатели, учитывающие внешний водообмен водоемов. Условный показатель внешнего водообмена озера или водохранилища $t_{\text{усл}}$, имеющий размерность времени (год, сутки, секунды), определяется зависимостью

$$t_{\text{усл}} = \frac{W}{V_{\text{в}}} \quad (\text{год, сутки}) \quad (5.31)$$

или соответственно

$$t_{\text{усл}} = \frac{W}{Q_{\text{в}}} \quad (\text{секунды}),$$

где W — среднее многолетнее значение объема озера или водохранилища, м^3 ; $V_{\text{в}}$ — средний за многолетний период годовой ($\text{м}^3/\text{год}$) или суточный ($\text{м}^3/\text{сут.}$) сток воды из водоема; $Q_{\text{в}}$ — расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$), вытекающей из водоема (секундный сток).

Показатель $t_{\text{усл}}$ характеризует продолжительность периода выноса из водоема определенной части водных масс вместе с содержащимися в них растворенными веществами. Поэтому при вычислении $t_{\text{усл}}$ к объему стока $V_{\text{в}}$ не добавляется испарение с поверхности рассматриваемого водного объекта.

Показатель относительного времени насыщения водоема загрязняющим веществом до уровня ПДК — $\tau_{\text{пдк}}$. Безразмерная величина $\tau_{\text{пдк}}$ определяется отношением

$$\tau_{\text{пдк}} = \frac{t_{\text{пдк}}}{t_{\text{усл}}}, \quad (5.32)$$

где $t_{\text{пдк}}$ время, необходимое для насыщения водоема загрязняющим веществом до уровня ПДК (по величине средней концентрации в водоеме). Время $t_{\text{пдк}}$ выражается в тех же единицах, что и $t_{\text{усл}}$.

Теоретически можно показать, что процесс постепенного изменения средней концентрации S загрязняющего вещества в проточном водоеме, начавшийся в момент $t=0$ и обусловленный выпуском в водоем сточных вод с концентрацией $S_{ст}$ и расходом $Q_{ст}$, выражается зависимостью

$$S = S_{t \rightarrow \infty} \left(1 - e^{-\frac{Q_{в. изм}}{W} t} \right), \quad (5.33)$$

где $Q_{в. изм}$ — средний за длительный период времени секундный расход воды потока, вытекающего из водоема и измененный под влиянием водозабора промышленного предприятия или населенного пункта и сброса сточных вод. Предполагается, что с достаточным приближением можно принять

$$Q_{в. изм} \cong Q_{в} - Q_{водозабор} + Q_{ст}. \quad (5.34)$$

Если $Q_{водозабор} = Q_{ст}$, то $Q_{в}$ не изменяется и должен фигурировать в формуле (5.33).

Время t в формуле (5.33) берется в секундах. Величина $S_{t \rightarrow \infty}$ выражает среднюю концентрацию загрязняющего вещества в водоеме, которая установится в нем в результате длительного сброса консервативного загрязняющего вещества. Концентрация $S_{t \rightarrow \infty}$ отвечает условию стабилизации качества воды в водоеме. Для консервативного загрязнителя $S_{t \rightarrow \infty}$ определяется зависимостью

$$S_{t \rightarrow \infty} = \frac{S_{ст} Q_{ст}}{Q_{в. изм}}, \quad (5.35)$$

при выводе которой принято, что в водах притоков водоема рассматриваемое вещество не содержится.

Введем понятие измененного условного времени водообмена $t_{усл. изм}$, которое будем определять из соотношения, учитывающего искусственное изменение стока из водоема, например, за счет водозаборов и сбросов сточных вод (5.34):

$$t_{усл. изм} = \frac{W}{Q_{в. изм}}. \quad (5.36)$$

Принимая во внимание это равенство, запишем формулу (5.33) в виде

$$\frac{S}{S_{t \rightarrow \infty}} = 1 - e^{-\frac{t}{t_{усл. изм}}}. \quad (5.37)$$

Чтобы найти время $t_{ПДК}$, подставим в формулу (5.37) равенство $S = ПДК$ и решим ее относительно t . Очевидно, что при этом вместо t будем иметь $t_{ПДК}$:

$$t_{ПДК} = -t_{усл. изм} \ln \left(1 - \frac{ПДК}{S_{t \rightarrow \infty}} \right). \quad (5.38)$$

Показатель относительного времени насыщения $\tau_{\text{пдк}}$ при переходе к десятичным логарифмам и учете зависимости (5.35) будет выражаться формулой

$$\tau_{\text{пдк}} = -2,3 \lg \left(1 - \frac{\text{ПДК } Q_{\text{в. изм}}}{S_{\text{ст}} Q_{\text{ст}}} \right). \quad (5.39)$$

Эта зависимость записана для измененного режима стока из водоема, но для упрощения записи индекс «изм» при $\tau_{\text{пдк}}$ будем опускать, так как для неизменных условий рассматриваемая величина не вычисляется. Полученная формула может применяться для оценки допустимого периода сброса сточных вод в проточные водоемы во всех тех случаях, когда лимитирующим показателем является средняя концентрация загрязняющего вещества в водоеме или в вытекающей из нее реке, а не размеры зон загрязнения и распределения концентраций загрязняющего вещества в водоеме.



Рис. 5.1 Диаграмма состояния загрязненности реки: $\tau_{\text{заг}}$, $\tau_{\text{чист}}$ — относительные показатели продолжительности стока загрязненных и чистых вод за годовой цикл; $\alpha_{\text{заг}}$, $\alpha_{\text{чист}}$ — относительные показатели объемов стока соответственно загрязненных и чистых вод за этот же период (незаштрихованные части диаграммы соответствуют значениям $\tau_{\text{чист}}$ и $\alpha_{\text{чист}}$; заштрихованные — значениям $\tau_{\text{заг}}$, $\alpha_{\text{заг}}$ в долях от общей продолжительности года для τ и общего объема стока для α)

По найденным значениям $\tau_{\text{заг}}$, $\tau_{\text{чист}}$ могут быть построены диаграммы состояния загрязненности речных вод по контролируемым показателям (ингредиентам), показывающие структуру загрязненности речного стока.

Диаграмма (рис. 5.1) вычерчивается для конкретного периода (обычно для годового цикла) и характеризует особенности загрязнения водотока в данном пункте (створе). Способ построения диаграммы ясен из рисунка. Для фонового створа диаграмма строится отдельно.

Диаграммы состояния, давая наглядное представление о вкладе отдельных химических веществ в общий уровень загрязненности речного стока по их влиянию на продолжительность и объем загрязнения речного стока, могут быть полезны и при регулировании качества воды, планировании водохозяйственных мероприятий.

Глава 6. ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

6.1. О планировании использования и охраны водных ресурсов

Начиная с 1975 г. в государственные планы развития народного хозяйства страны вводится раздел «Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов», в который составной частью входит подраздел «Охрана и рациональное использование водных ресурсов». В него включаются показатели, характеризующие объем забираемой воды (водопотребление), объем сточных вод (водоотведение), объем очищаемых вод, объемы оборотной воды, а также другие показатели, дающие представление о мероприятиях по охране вод.

Основой правильной водоохранной политики является Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов. Назначение такой схемы в следующем:

- всесторонняя оценка природных вод применительно к отдельным речным бассейнам и экономическим районам с учетом антропогенной деятельности в современных условиях и на перспективу;

- выявление потребности в воде отраслей народного хозяйства в различные периоды их деятельности, обоснование норм водопотребления с максимальным использованием повторного объема воды, определение объема безвозвратных потерь;

- согласование запросов отдельных водопользователей;

- разработка водохозяйственных балансов;

- установление основных мер по охране природных вод от истощения и загрязнения;

- определение ассигнований, необходимых для выполнения намеченных планов строительства, подсчет экономической эффективности комплекса запроектированных мероприятий;

- оценка возможных природных изменений в зонах намечаемых водохозяйственных мероприятий;

- обоснование необходимых проектно-изыскательских и научно-исследовательских работ по запроектированным мероприятиям, определение состава исполнителей и распределение обязанностей между ними.

Генеральная схема должна учитывать изменения в развитии экономики страны, а ее составление предусмотрено «Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик». Кроме Генеральной схемы составляют бассейновые и отраслевые схемы. Бассейновые схемы являются детализацией генеральных, они уточняют их основные положения для конкретного бассейна реки, озера на более близкий период. Отраслевые схемы разрабатываются применительно к перспективам развития отдельных отраслей народного хозяйства.

Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов включают в себя следующие обязательные разделы:

- природные, экономические и социальные условия района;
- оценка поверхностных и подземных вод, их гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режим;
- водопользование, водопотребление и водоотведение в современных условиях и на перспективу;
- водохозяйственные балансы и намечаемые водохозяйственные мероприятия;
- меры по предотвращению вредного воздействия вод (противопаводковые, эрозионные, противоселевые, противооползневые);
- охрана природных вод от загрязнения и истощения;
- экономический расчет.

В целом схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов служат документом для долгосрочного планирования водохозяйственного и водоохранного строительства и играют основную роль в формировании направлений водоохранной деятельности в регионах, в использовании их водных ресурсов. Целесообразно комплексные водоохранные программы составлять на 15 лет с разбивкой на пятилетки и корректировкой каждые 5 лет.

Говоря о назначении схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, хотелось бы особо сказать о значении в них водохозяйственных балансов.

Рассматривая экономический район как определенную систему, состоящую из рек и водоемов, приемников сточных вод, населенных пунктов и промышленных узлов, можно с учетом различных факторов, характеризующих водные объекты, установить при определенных расчетных условиях допустимые их нагрузки по загрязнению. Эти нагрузки загрязнения, направляемые в водотоки и водоемы, должны определяться исходя из наименьших суммарных затрат во всем районе. Наибольшие объемы загрязнения целесообразно направлять в те водные объекты района, которые имеют наибольший резерв по нагрузке. При этом необходимо знать величину предельно допустимого сброса веществ. Под предельно допустимым сбросом (ПДС) веществ понимается масса веществ в сточных водах, допустимая к отведению в водный объект в единицу времени для обеспечения норм качества воды в контрольном пункте. ПДС устанавливают с учетом предельно допустимых концентраций веществ в местах водопользования.

Для всех категорий водопользования ПДС можно определить по формуле

$$\text{ПДС} = q_{\text{ст}} S_{\text{ст}},$$

где $q_{\text{ст}}$ — расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$; $S_{\text{ст}}$ — концентрация веществ в сточных водах, $\text{г}/\text{м}^3$.

В инженерных расчетах допускаемые нагрузки для рек определяют по разности нормативной и фактической нагрузки в рас-

смаатриваемом створе. С этой целью и строятся водохозяйственные балансы с учетом качества воды. Балансы могут быть оперативные и перспективные.

Оперативные балансы позволяют оценить и перераспределить водные ресурсы во время эксплуатации водохозяйственных систем, а перспективные — прогнозировать качество воды рек и водоемов на расчетную перспективу при заданных начальных и граничных условиях, принимая за основу данные наблюдений над количественными и качественными показателями водного объекта и перспективных водопотребителей. При этом необходимо помнить о возникающих ограничениях.

Первым ограничением водопотребления экономического региона являются собственные водные ресурсы региона, состоящие из потенциальных (озера, водохранилища, подземные воды) и динамических запасов рек (сток, формирующийся в пределах региона с учетом транзитного).

При решении водохозяйственных задач в пределах данного региона необходимо рассчитывать только на собственный сток. Первое граничное условие при этом можно записать в виде

$$\sum_{i=1}^n Q_i'' - \sum_{i=1}^n Q_i' = \Delta Q_i \geq 0,$$

где $\sum_{i=1}^n Q_i''$ — сток в устьевом створе данного региона; $\sum_{i=1}^n Q_i'$ — сток в начальном створе региона; ΔQ_i — допустимый для использования сток в период t , который равен $\Delta Q_i(t) \leq (q_t - q_{\text{lim}})F$ (q_t — модуль стока в период t ; q_{lim} — лимитированный (минимальный) расчетный модуль стока; F — площадь водосбора).

Вторым ограничивающим условием является качество воды водного объекта. Показатели качества воды должны отвечать требованиям водопотребителей — водопользователей. Наиболее напряженное положение в реках создается при минимальных расходах. Согласно действующим в СССР нормативам лимитируются концентрации веществ загрязнений в воде водного объекта при критических гидрологических ситуациях. В реках — это минимально допустимый расход воды.

При расчете баланса с учетом качества воды для озер и водохранилищ значительное влияние оказывают время водообмена и аккумулирующая способность водоема. Здесь основой расчета допустимой нагрузки водоема является баланс веществ. Перерабатывающую способность водоема (кг/га) можно определить по формуле

$$C = \frac{V}{W} ([M_c] - M_c),$$

где V — годовой сток из водоема; W — объем водоема; $[M_c]$ — предельно-допустимая нагрузка водоема, зависящая от категории

водопотребителя — водопользования; M_c — фактическая нагрузка водоема.

Показателем качественного состояния водоема является и относительное время насыщения водоема t консервативными веществами до предела $[S]$. В ГГИ предложена формула для расчета $t_{[S]}$:

$$t_{[S]} = -t_{\text{усл}} \ln \left(1 - \frac{[S] Q_{\text{в}}}{S_{\text{ст}} q_{\text{ст}}} \right),$$

где $S_{\text{ст}}$, $q_{\text{ст}}$ — концентрация и расход сточных вод; $t_{\text{усл}}$ — время замены водных масс, равное отношению $\frac{W}{Q_{\text{в}}}$; $Q_{\text{в}}$ — среднее многолетнее значение расхода воды, вытекающей из водоема (если $Q_{\text{в}}$ в $\text{м}^3/\text{с}$, то t получаем в секундах).

Минимальный расчетный расход при выборе источника водоснабжения устанавливается (согласно действующим нормативным документам) как средний расход 30-дневного периода с наименьшим стоком 95 %-ной обеспеченности в рассматриваемом сезоне.

6.2. Вопросы экономической эффективности водохранных мероприятий

Проведение в жизнь водохозяйственной политики связано со строительством водохозяйственных комплексов (ВХК) и различного рода водохранных сооружений. Экономичность каждого комплекса характеризуется строительной стоимостью, годовыми эксплуатационными расходами, расходом дефицитных материалов. Критерием при выборе конечного варианта из нескольких предложенных служат метод сравнительной эффективности капитальных вложений, а также метод окупаемости дополнительных капиталовложений.

Если при сравнении двух вариантов имеем показатели $K_1 > K_2$ и $C_1 < C_2$, где K_1 и K_2 — капиталовложения по I и II вариантам, а C_1 и C_2 — себестоимость годовой продукции по тем же вариантам, то экономичность варианта определяется из соотношения

$$\tau_{\text{н}} < \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1} < \tau_{\text{н}},$$

где $\tau_{\text{н}}$ — нормативный срок окупаемости дополнительных вложений в годах.

Осуществление первого варианта будет связано с дополнительными капитальными затратами по сравнению со вторым $\Delta K = K_1 - K_2$, но с экономией ежегодных издержек $\Delta C = C_2 - C_1$.

Для определения оптимального варианта вычисляют коэффициент сравнительной экономической эффективности, который по-

казывает экономию ежегодных издержек при использовании одного рубля дополнительных капитальных вложений:

$$\frac{C_2 - C_1}{K_1 - K_2} = P.$$

Величина, обратная коэффициенту сравнительной экономической эффективности, называется сроком окупаемости дополнительных капитальных вложений $\tau_{\Delta K}$:

$$\frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1} = \tau_{\Delta K}.$$

Вариант, который характеризуется большими капитальными вложениями K , но меньшими ежегодными затратами C , будет экономически более эффективным тогда, когда коэффициент сравнительной экономической эффективности P больше нормативного τ_n (или срок окупаемости дополнительных капитальных вложений меньше нормативного). При $P = \tau_n$ оба варианта равноэффективны.

Нормативные коэффициенты сравнительной экономической эффективности определяют в соответствии с отраслевыми инструкциями. Например, для гидроэнергетики $\tau_n = 0,12$, для орошения — $0,17-0,33$, для рыбного хозяйства — $0,17$ и т. д., для народного хозяйства в целом — $0,12$.

Метод сравнительной экономической эффективности дает возможность выбрать наиболее выгодный в экономическом отношении вариант водохозяйственной системы. Экономическую эффективность выбранного варианта определяют по методу общей экономической эффективности. Показателем ее служит коэффициент $\mathcal{E}_{ВХК}$, который определяют по зависимости

$$\mathcal{E}_{ВХК} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \Pi_i - C_{ВХК} \right)}{K_{ВХК}},$$

где Π — стоимость продукции i -го участника ВХК; $C_{ВХК}$, $K_{ВХК}$ — ежегодные издержки и капитальные вложения ВХК; n — число участников ВХК. Полученный коэффициент $\mathcal{E}_{ВХК}$ сравнивается с нормативным $\mathcal{E}_n$.

Эффективность использования водных ресурсов отдельными отраслями народного хозяйства, которые входят в ВХК, определяют подсчетом коэффициентов общей экономической эффективности каждого из участников водохозяйственного комплекса:

$$\mathcal{E}_i = \frac{(\Pi_i - C_i)}{K_i},$$

где C_i и K_i — ежегодные издержки и капитальные вложения i -го участника ВХК.

В гидроэнергетике стоимость продукции Π вычисляют по зависимости

$$\Pi_{гэс} = \mu (\alpha N + \beta \Xi),$$

где N и Ξ — используемые мощность и выработка электроэнергии; α и β — тарифные ставки за 1 кВт и 1 кВт.ч; μ — коэффициент, учитывающий потери в сетях и расход электроэнергии на собственные нужды.

6.3. Компенсация ущербов при строительстве и использовании водохозяйственных комплексов

Создание любого водохозяйственного комплекса связано с вторжением в окружающую природную среду. К сожалению, часто при водохозяйственном строительстве изменение природных условий носит негативный характер (затопление плодородных пойм, подтопление больших территорий, утопление лесных площадей, изменение сейсмичности в районе, изменение микроклимата окружающей местности и т. д.). Поэтому в каждом проекте должны быть разделы, в которых детально рассматриваются вопросы влияния создаваемого ВХК на окружающую природную среду с приведением экономической оценки отрицательного влияния, как объемов затрат, компенсирующих возникающий ущерб при невозможности его предупредить, так и затрат на мероприятия, ограничивающие отрицательное воздействие строительства.

Первая группа включает затраты на переселение населения, предприятий, перенос линий связи, транспортных объектов и т. д. с затопляемых земель, освоение новых сельскохозяйственных угодий, восстановление лесных массивов и т. д. Вторая группа — это затраты на инженерную защиту земель и объектов, попадающих в зону воздействия водохранилищ, на санитарную подготовку ложа водохранилища, устройство рыбопропускных сооружений и другие мероприятия. Для расчета каждой группы затрат используются соответствующие «Положения» и рекомендации.

Строительство водохозяйственных, промышленных и сельскохозяйственных комплексов часто вызывает загрязнение водных источников, что ведет к дополнительным затратам на восстановление продукции, которая теряется в результате загрязнения воды.

Под ущербом от загрязнения водных источников понимают потери в народном хозяйстве трудовых затрат и материальных ресурсов, которые связаны с ликвидацией последствий различными водопользователями, а также ухудшение социально-гигиенических условий для населения. Такой возможный ущерб в рублях может быть подсчитан для различных отраслей народного хозяйства или в целом [17].

Так, ущерб от загрязнения водных источников $Y_{\text{ВКВ}}$, наносимый промышленным предприятиям, коммунальному хозяйству, другим водопотребителям, осуществляющим различные мероприятия по восстановлению качества воды, определяют по формуле

$$Y_{\text{ВКВ}} = \sum_{i=1}^n m_i W_i (C + E_n K)_i,$$

где m_i — число однотипных i -х водопотребителей; W_i — объем водопотребления i -го водопотребителя, $\text{м}^3/\text{год}$; $(C + E_n K)_i$ — дополнительные удельные приведенные затраты водопотребителя, связанные с загрязнением водного источника, $\text{руб}/\text{м}^3$; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K — капитальные вложения на восстановление продукции при загрязненном водном источнике, $\text{руб}/\text{ц}$; n — число различных водопотребителей.

Ущерб от загрязнения водных источников, наносимого водопотребителям, осуществляющим различные мероприятия для восстановления потерянной продукции, рассчитывают по формуле

$$Y_{\text{вп}} = P(C_2 - C_1 + E_n \Delta K) + \Delta P(C_3 - C_1 + E_n K) + E_n K_0,$$

где P — годовое производство продукции, ц ; C_1 — текущие затраты на производство продукции при незагрязненном водном источнике, $\text{руб}/\text{ц}$; C_2 — то же при загрязненном водном источнике, $\text{руб}/\text{ц}$; ΔK — увеличение отдельных капитальных вложений по водопотреблению при загрязненном водном источнике, $\text{руб}/\text{ц}$; K — капитальные вложения на восстановление продукции при загрязненном водном источнике, $\text{руб}/\text{ц}$; ΔP — снижение годового производства продукции при загрязненном водном источнике, ц ; C_3 — текущие затраты на продукцию, используемую для возмещения ее потерь при загрязненном водном источнике, $\text{руб}/\text{ц}$; K_0 — остаточная балансовая стоимость основных фондов, не используемых в результате уменьшения производства продукции при загрязненном водном источнике, руб ; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Ущерб по восстановлению материальных ресурсов $Y_{\text{ВМР}}$, возникающий в результате соприкосновения различных объектов с загрязненной водой, рассчитывают на основе приведенных затрат на мероприятия по восстановлению вышедших из строя объектов или предотвращению их порчи по формуле

$$Y_{\text{ВМР}} = \sum_{i=1}^m (C + E_n K)_i,$$

где $C + E_n K$ — приведенные затраты i -го объекта, связанные с его восстановлением, руб ; m — число объектов.

Общий ущерб ($Y_{об}$), наносимый народному хозяйству в результате загрязнения источников воды, равен сумме ущербов отдельных водопотребителей Y_i :

$$Y_{об} = \sum_{i=1}^n Y_i,$$

где n — число потребителей, терпящих ущерб от загрязнения воды.

Все расчеты ведутся по утвержденной Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР, Госпланом и Министерством финансов СССР «Методике подсчета убытков, причиненных государству нарушением водного законодательства» РД 33-5.3.01-83.

Рассчитывая величины ущерба, мы не должны забывать о денежной оценке самих водных ресурсов. Как уже говорилось, с 1982 г. в нашей стране введена плата за воду, которая вносится промышленными предприятиями в доход государственного бюджета.

В действующих тарифах на воду отражена стоимость водохозяйственных мероприятий по изучению, оценке и охране водных ресурсов, мероприятий для обеспечения потребностей в воде народного хозяйства. Тарифы даны дифференцировано по отдельным водохозяйственным системам и колеблются от 0,1 коп. за 1 м³ воды в северных и восточных районах страны до 2,72 коп. за 1 м³ воды в южных районах.

Глава 7. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ВОДЫ С УЧЕТОМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

7.1. Расчет основных гидрологических величин и гидравлических элементов, необходимых для расчета разбавления в реках и озерах

1. *Исходные данные для расчета разбавления в реках.* При расчете турбулентного перемешивания в реках прежде всего следует назначать расчетные расходы воды. В настоящее время в качестве расчетного расхода обычно принимают минимальный среднемесячный расход года 95 %-ной обеспеченности [18]. При наличии наблюдений можно принять в расчет минимальный из наблюдаемых расходов. В зависимости от поставленной задачи назначаются также и другие расчетные расходы, вплоть до расхода малой обеспеченности и даже максимального.

В соответствии с расчетным расходом определяются площадь живого сечения, средняя скорость течения, уклон водной поверхности, средняя ширина и глубина потока. После этого вычисляется коэффициент Шези C , м^{1/2}/с, поперечные составляющие скорости

на закруглении речного потока v_z , м/с, значения коэффициента турбулентной диффузии D , м²/с.

Коэффициент Шези при наличии измеренных уклонов J вычисляется по формуле Шези

$$C = \frac{v_{cp}}{\sqrt{H_{cp} J}}, \quad (7.1)$$

(где v_{cp} — скорость, м/с; H_{cp} — средняя глубина на рассматриваемом участке, м), а при отсутствии данных об уклонах — по известной формуле Маннинга, содержащей коэффициент шероховатости, или по формуле Штриклера — Маннинга

$$C = 33 \left(\frac{H_{cp}}{d_s} \right)^{1/6}, \quad (7.2)$$

где d_s — эффективный диаметр частиц донных отложений (мм) для условий рек определяется как 50 %-ное значение крупности частиц по гранулометрической кривой. Формула (7.2) представлена в виде номограммы (рис. 7.1).

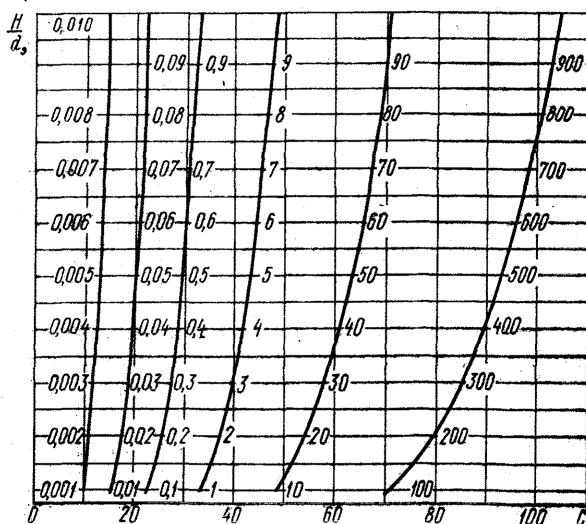


Рис. 7.1. Номограмма $C = f \left(\frac{H_{cp}}{d_s} \right)$.

Коэффициент турбулентной диффузии, являющийся основным параметром при расчете перемешивания в потоках, вычисляется по формуле

$$D = \frac{g H_{cp} v_{cp}}{M C}, \quad (7.3)$$

где $g=9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; величина M является функцией коэффициента Шези C и для $10 \leq C \leq 60$ связана с C зависимостью

$$M=0,7 C+6 \quad (7.4)$$

при $C>60 \quad M=48=\text{const.}$

Важную роль в процессе разбавления сточных вод в реках играют поперечные течения. Наличие поперечных составляющих скорости приводит к интенсификации процесса перемешивания, что должно быть учтено в расчете путем введения поправочного коэффициента $K_{\text{п.п}}$ (большее единицы) к коэффициенту турбулентной диффузии D . Величина $K_{\text{п.п}}$ является функцией отношения

$$\frac{v_{z, \text{cp}} + \omega}{\omega},$$

где $v_{z, \text{cp}}$ — среднее значение абсолютной величины поперечной составляющей скорости на вертикали; ω — среднее значение абсолютной величины поперечной составляющей пульсационной скорости.

Для вычисления $v_{z, \text{cp}}$ рекомендуется формула

$$v_{z, \text{cp}}=0,13 N \frac{H_{\text{cp}}}{r} v_{x, \text{cp}}, \quad (7.5)$$

полученная интегрированием формулы А. В. Караушева (1960) при введении поправочного коэффициента, равного 0,5. Интегрирование произведено от поверхности потока до той глубины, где v_z меняет направление на обратное (примерно $0,5 H$). В формуле (7.5) r — радиус кривизны русла, взятый как средняя величина для участка реки, расположенного непосредственно ниже места спуска сточных вод и включающего 1—2 закругления. Величина N является безразмерным характеристическим числом и вычисляется по формуле

$$N= \frac{M C}{g} = \frac{H_{\text{cp}}}{D}. \quad (7.6)$$

Для определения M и N в зависимости от C можно пользоваться табл. 7.1.

Таблица 7.1

Значения M и N в зависимости от C

C	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
M	13	16,5	20	23,5	27	30,5	34	37,5	41	44,5	48	48	48
N	13,3	25,2	40,8	59,9	82,6	108	139	172	209	249	294	318	343

Среднее значение абсолютной величины поперечной составляющей пульсационной скорости ω определяется по формуле

$$\omega = \frac{v_{z, \text{cp}}}{\sqrt{N}}. \quad (7.7)$$

Кроме поперечной циркуляции в потоке на интенсивность процесса перемешивания существенное влияние оказывает и неравномерное распределение глубин на рассматриваемом участке.

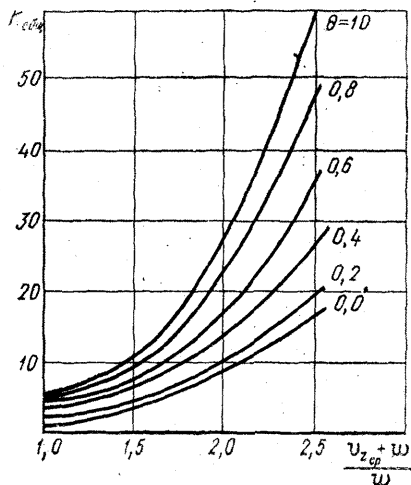


Рис. 7.2. Номограмма $K_{\text{общ}} = f\left(\frac{v_z + \omega}{\omega} \theta\right)$.

При расчетах разбавления необходимо вводить поправку на неравномерность распределения глубин, так как отклонение глубин от среднего значения приводит к увеличению кинематической неоднородности потока и ускорению процесса перемешивания. Этот фактор учитывается введением поправочного коэффициента K_A к коэффициенту турбулентной диффузии D .

Установлена зависимость величины K_A от отношения

$$K_A = f\left(\frac{H_{\text{max, cp}} - H_{\text{cp}}}{H_{\text{cp}}}\right) = f(\theta), \quad (7.8)$$

где $H_{\text{max, cp}}$ — максимальная из средних глубин на рассматриваемом участке, м.

Для количественного определения коэффициентов $K_{\text{п.ц}}$ и K_A рекомендуется график (рис. 7.2), на котором $K_{\text{общ}} = K_{\text{п.ц}} K_A$

$$\text{и } K_{\text{общ}} = K_{\text{п.ц}} K_A = f\left(\frac{v_{z, \text{cp}} + \omega}{\omega} \theta\right).$$

Для учета двух названных факторов (поперечной циркуляции и изменчивости глубин на рассматриваемом участке реки) коэффициент турбулентной диффузии умножают на величину $K_{\text{общ}}$:

$$D_{\text{испр}} = D K_{\text{общ}}, \quad (7.9)$$

где $D_{\text{испр}}$ — исправленный коэффициент турбулентной диффузии, интегрально характеризующий условия перемешивания в речном потоке.

2. *Исходные данные для расчета разбавления в озерах и водохранилищах.* В озерах и водохранилищах на процессы перемешивания существенное влияние оказывает действие ветра, поэтому при оценке перемешивания сточных вод необходимо производить расчет ветровых течений, а также учитывать изменчивость гидрологических величин и гидравлических элементов. На изменение последних оказывает влияние изменчивость ветра над водной поверхностью.

Наиболее характерные условия разбавления при различной обеспеченности скорости ветра даны в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Условия разбавления при различной обеспеченности ветра

Условия	Обеспеченность ветра, %
Благоприятные	1
Средние	50
Неблагоприятные	90

Повторяемость различных скоростей ветра на высоте 10 м над поверхностью суши дана в «Справочнике по климату СССР». Чтобы получить расчетную скорость ветра над водной поверхностью, необходимо воспользоваться графиком А. П. Браславского (рис. 7.3), отражающим связь между скоростями ветра над водой и на суше в зависимости от величин переходных коэффициентов K_1 и K_2 . Значения K_1 и K_2 можно определить по таблицам 7.3 и 7.4. Для перехода от скорости ветра на высоте флюгера на суше (w_{10}) к скорости ветра на высоте 2 м над водной поверхностью (w_2) используют соотношение $w_2 = K_3 w_{10}$. В условиях широкого бьефа $K_3 = 0,85$, для узкого потока $K_3 = 0,70$.

Данные о скорости ветра используются для расчета скоростей ветровых течений. А. В. Караушев рекомендует для определения средней скорости ветрового течения формулу

$$v_{\text{ср}} = K_4 w_2 \sqrt{3 + 10h}, \quad (7.10)$$

где K_4 — коэффициент, зависящий от коэффициента Шези C , определяется по табл. 7.5 или по графику (рис. 7.4); h — средняя высота волны (м) для рассматриваемого участка обеспеченностью 1 %.

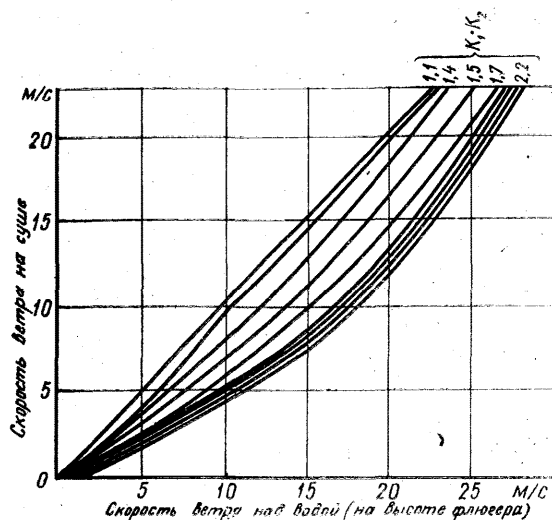


Рис. 7.3. График связи скорости ветра над водой и на метеорологической станции, расположенной на суше (на высоте флюгера 10 м).

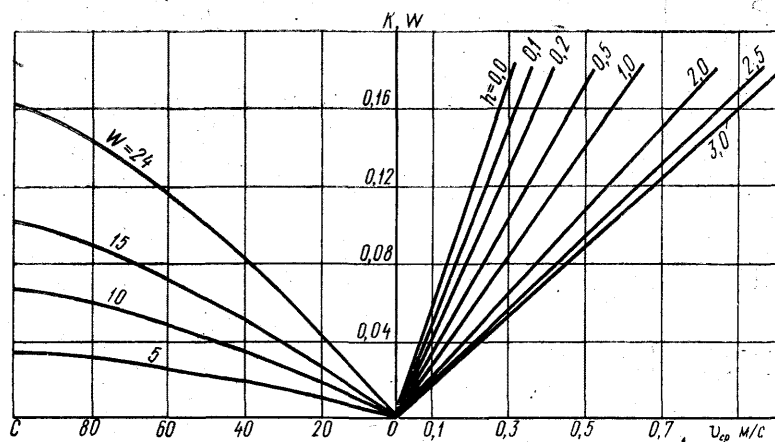


Рис. 7.4 Номограмма для определения средней скорости ветрового течения.

Таблица 7.3

Переходные коэффициенты для определения среднемесячной скорости ветра над водной поверхностью (при измерении скорости ветра на высоте 10 м)

Характеристика местоположения метеостанции, где измерялась скорость ветра	K ₁	
	водоем шириной не менее 0,5 км	водоем шириной менее 0,5 км с берегами, заросшими лесом
В лесу:		
флюгер на уровне деревьев, отдельные деревья выше флюгера	3,0	1,9
флюгер значительно выше деревьев	2,5	1,6
На окраине города (кустарник, отдельные строения или деревья на расстоянии 30—40 м с одной стороны):		
отдельные деревья и строения выше флюгера	2,0	1,3
флюгер значительно выше окружающих предметов	1,8	1,1
В селении на открытой ровной площадке (ближайшие строения на расстоянии 30—50 м, флюгер выше окружающих предметов)	1,7	1,05
На открытой ровной местности (поле, луг, аэродром, в 200—500 м лес, кустарник)	1,6	1,0
На самом берегу озера, моря или большой реки (в 100—200 м лес или кустарник, строение)	1,4	0,9
На ровной степной поверхности	1,3	0,8
На совершенно открытом берегу озера, моря или большой реки у самой воды	1,1	0,7
На совершенно открытой узкой косе у самой воды	1,05	0,65

Таблица 7.4

Поправочные коэффициенты к среднемесячной скорости ветра, учитывающие рельеф местности

Краткая характеристика рельефа местоположения станции	K ₂
Крутая вершина холма, у обрыва	0,75
Пологая вершина холма, верхняя часть склона	0,9
Равнина, весьма широкая долина	1,0
Нижняя часть склона, дно нешироких и неглубоких долин, котловин, ложин	1,1
Дно глубоких долин, котловин, ложин	1,4

Значение K_4 в зависимости от коэффициента Шези C

C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$K_4 \cdot 10^2$	0,10	0,18	0,27	0,34	0,42	0,50	0,55	0,60	0,64	0,68

Коэффициент Шези C вычисляется по формуле (7.2) либо по номограмме (рис. 7.1). Эффективный диаметр d_s в условиях озер и водохранилищ определяется по интегральной кривой гранулометрического состава как диаметр, ограничивающий 10 % наиболее крупных частиц.

Коэффициент турбулентной диффузии при слабом ветровом волнении для водоемов вычисляется по формуле (7.3). При наличии волнения турбулизация водных масс возрастает, что должно быть учтено в формуле для вычисления коэффициента турбулентной диффузии. В этом случае формула имеет вид

$$D = \frac{(ch + \pi v_{cp} H) d_s^{1/3}}{b H^{1/3}}, \quad (7.11)$$

где c — фазовая скорость волн, м/с; v_{cp} — среднее по вертикали значение абсолютной величины переносной скорости, м/с; b — эмпирический безразмерный коэффициент, ориентировочно принимаемый равным 700; $\pi = 3,14$; d_s — эффективный диаметр частиц, м; H — средняя глубина водоема на рассматриваемом участке, м. Формула (7.11) рекомендуется для глубин, не превышающих 60 м.

Фазовая скорость волн при $H > 0,5L$ находится по формуле

$$c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}, \quad (7.12)$$

а для $H < 0,5L$ по формуле

$$c = \sqrt{g(H+h)}. \quad (7.13)$$

В зависимостях (7.12), (7.13) L — длина волны, м; h — высота волны 1 %-ной обеспеченности, м.

7.2. Практические методы расчета качества воды в реках и водоемах

Оценка качества воды в любой части реки или водоема основана на сопоставлении состава и свойств воды в отдельных точках или на участках с соответствующими нормативными показателями. Данные о распределении загрязняющих веществ в водных объектах могут быть получены как путем химического анализа проб воды, так и на основании расчета разбавления (расчета турбулентной диффузии веществ) в водном объекте.

В настоящее время разработан целый ряд методов расчета, позволяющих определять показатели качества воды рек и водоемов после сброса в них сточных вод, а также регламентировать сброс загрязненных вод в водные объекты — вычислять значения предельно допустимого сброса (ПДС), обеспечивающие сохранение нормативных показателей качества воды.

В настоящем разделе учебного пособия приводятся методы применяемые для расчета разбавления сточных вод, показателей качества воды в реках и водоемах.

7.2.1. Вычисление гидрологических показателей средней загрязненности и общей нагрузки потока консервативными загрязняющими веществами

Для оценки качества воды водоемов питьевого, промышленного, сельскохозяйственного или рыбохозяйственного водопользования необходимо произвести сопоставление химического состава воды с соответствующими нормативами и показателями [18]. При этом, как правило, используются единичные результаты химических анализов проб воды, что не позволяет обобщить данные наблюдений применительно к створу, участку или водоему в целом, проследить за изменением качества воды реки или водоема во времени. Это и привело к необходимости разработки интегральных показателей оценки качества воды и загрязненности водных объектов, позволяющих характеризовать изменение качества, обусловленное изменчивостью гидрологической ситуации в водных объектах (см. раздел 5.2).

Для анализа влияния изменчивости расходов воды на показатели загрязненности используют среднюю (обобщенную) кривую продолжительности (обеспеченности) суточных расходов воды, построенную по сведениям о расходах, соответствующих продолжительности 30, 90, 180, 270, 355 дней, помещенным в гидрологических ежегодниках. В расчетах удобнее пользоваться кривой обеспеченности суточных расходов воды, построенной по значениям расходов воды 8, 20, 50, 75, 90, 95 %-ной обеспеченности, снятыми с обобщенной кривой продолжительности суточных расходов воды.

Желательно наличие наблюдений за гидрохимическим режимом и загрязненностью, которые позволяют выбрать расчетный расход сточных вод ($Q_{ст}$) и репрезентативное загрязняющее вещество ($S_{ст}$), содержание которого лимитируется соответствующей ПДК. При отсутствии данных об объемах и концентрациях сточных вод можно выполнить условный расчет при $Q_{ст. усл} = 0,1 Q_0$ (Q_0 — норма стока, $м^3/с$), $S_{ст. усл} = const$ и условной величине ПДК.

В приведенном ниже примере для конкретного водного объекта необходимо вычислить интегральные показатели первой группы.

Пример расчета

В р. Зубра в районе с. Дымовка осуществляется сброс сточных вод с постоянным расходом $Q_{ст} = \text{const} = 0,1 Q_0$. Концентрация загрязняющего вещества в сточной воде принята $S_{ст} = 100$ мг/л, а концентрация этого же вещества в воде реки $S_p = 0$, при ПДК $= 10$ мг/л. Норма стока у с. Дымовка $Q_0 = 1,24$ м³/с. Необходимо определить: 1) величину абсолютного показателя общей нагрузки S_n при заданных обеспеченных расходах воды в реке; 2) показатель превышения загрязненности над нормой $P_{зг}$; 3) показатель непревышения загрязненности относительно нормы $P_{чист}$; 4) показатель относительной нагрузки потока загрязняющим веществом при расчетном расходе 95 %-ной обеспеченности.

Решение.

1. Для определения расходов обеспеченностью $P = 8, 20, 50, 75, 90, 95$ % для р. Зубра в створе с. Дымовка строим обобщенную кривую продолжительности суточных расходов и с нее снимаем необходимые их значения (рис. 7.5).

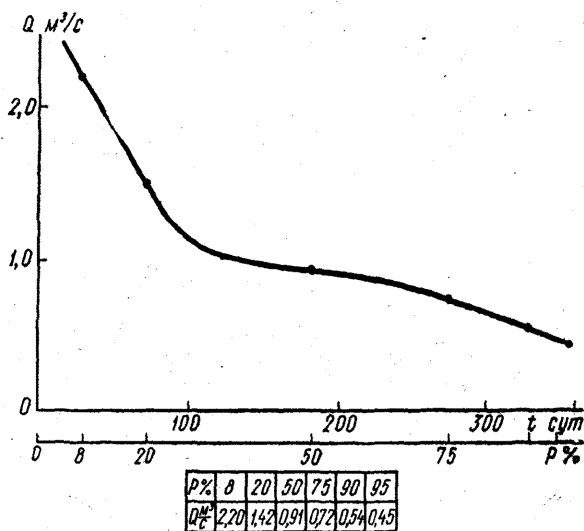


Рис. 7.5. Обобщенная кривая продолжительности суточных расходов воды (р. Зубра — с. Дымовка).

2. Абсолютный показатель общей нагрузки потока (S_n) вычисляется для всех заданных расходов воды по формуле (5.1) или (5.2). Вычисление обеспеченности показателя общей нагрузки потока P_{s_n} производим для всех заданных расходов по формуле

$$P_{s_n} = (100 - P_Q) \% . \quad (7.14)$$

Полученные значения вносим в табл. 7.6:

Таблица 7.6

Q_p м ³ /с	$P\%$	$Q_{ст}$ м ³ /с	$S_{ст}$ мг/л	$Q_p + Q_{ст}$	$Q_{ст} S_{ст}$	S_n мг/л	$P_{S_n} \%$
2,20	8	0,12	100	2,32	12	5,17	92
1,42	20	0,12	100	1,54	12	7,59	80
0,91	50	0,12	100	1,03	12	11,7	50
0,72	75	0,12	100	0,84	12	14,3	25
0,54	90	0,12	100	0,66	12	18,2	10
0,45	95	0,12	100	0,57	12	21,1	5

3. Для вычисления показателя превышения загрязненности над нормой $P_{заг}$ строится кривая обеспеченности средней концентрации S_n по данным табл. 7.6 (рис. 7.6). На графике проводится прямая, отвечающая ПДК выбранного лимитирующего вещества (в данном примере $ПДК_{усл} = 10$ мг/л). Из точки пересечения этой

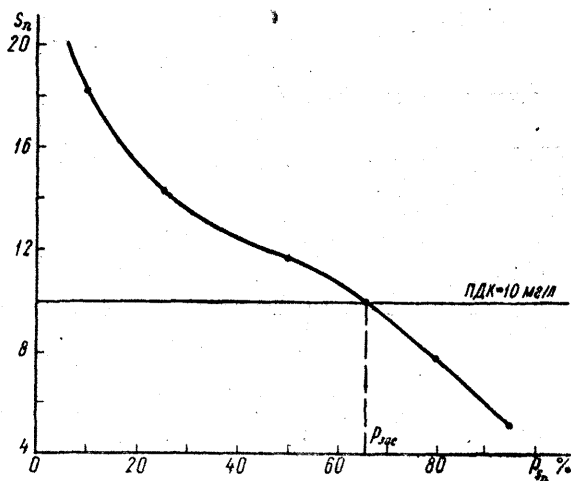


Рис. 7.6. Кривая обеспеченности средней концентрации загрязняющих веществ (р. Зубра — с. Дымовка).

прямой с линией графика $S_n(P)$ опускается перпендикуляр на абсциссу и находится значение $P_{заг} = 65,5 \%$, что составляет 239 дней $\left(P_{заг, \text{дн}} = \frac{65,5 \cdot 365}{100} = 239 \text{ дней} \right)$. Это значит, что при сбросе в данную реку сточных вод в объеме 0,12 м³/с круглый год вода в реке в течение 239 дней будет загрязнена, т. е. концен-

ция лимитирующего загрязняющего вещества в это время будет выше предельно допустимой.

4. Показатель непревышения загрязненности относительно нормы $P_{\text{чист}}$ находим по формуле (5.5): $P_{\text{чист}} = 100 - P_{\text{заг}} = 100 - 65,5 = 34,5 \%$, что составляет 126 дней $\left(P_{\text{чист. дн}} = \frac{34,5 - 365}{100} = -126 \right)$, это значит, что в течение 126 дней вода в реке будет чистой.

5. Показатель относительной нагрузки потока загрязняющим веществом находится по формуле (5.21) при величине $Q_{95\%} = 0,45 \text{ м}^3/\text{с}$.

В настоящем примере имеем $\varphi = 2,4$, что значительно больше единицы и указывает на то, что при расходе воды в реке обеспеченностью 95 % и при сбросе промышленных вод объемом $0,12 \text{ м}^3/\text{с}$ вода не будет отвечать нормативным требованиям — она загрязнена выше нормы.

Аналогичный расчет можно выполнить для расходов любой обеспеченности, что позволит проследить за динамикой φ при внутrigодовых изменениях расходов воды.

7.2.2. Расчет кратности разбавления методом номограмм

Метод номограмм позволяет определять параметры зон загрязнения до створов с заданной кратностью разбавления в зависимости от изменчивости основных гидрологических факторов [13]. В качестве размеров зон загрязнения используются относительная длина ($\lambda_{\text{заг}}$) и относительная площадь ($\eta_{\text{заг}}$) зоны загрязнения. Эти относительные величины входят в систему интегральных показателей, разработанных в ГГИ [13], для их вычисления применяются формулы (5.24) и (5.27).

Для вычисления абсолютных величин длины зоны загрязнения ($L_{\text{заг}}$) и площади зоны загрязнения ($\Omega_{\text{заг}}$) применяются зависимости

$$L_{\text{заг}} = \lambda_{\text{заг}} B, \quad (7.15)$$

$$\Omega_{\text{заг}} = \eta_{\text{заг}} \Omega_{\text{общ}}, \quad (7.15, a)$$

где $\Omega_{\text{общ}} = LB$.

Так как зона загрязнения (ее длина $L_{\text{заг}}$ и площадь $\Omega_{\text{заг}}$) ограничивается линией, где концентрация загрязняющего вещества равна ПДК, а для различных веществ это значение достигается при различной кратности разбавления (n), то может возникнуть необходимость определения этих параметров ($L_{\text{заг}}$, $\Omega_{\text{заг}}$) практически при любых значениях кратности разбавления. В работе [13] построены зависимости $\eta_{\text{заг}} = f\left(\frac{Q_{\text{ст}}}{Q_p}\right)$ при шести значениях крат-

ности разбавления: 2-кратном $\text{ПДК}_{\text{усл}} = 0,5 S_{\text{ст}}$, 5-кратном — 0,2, 10-кратном — 0,1, 20-кратном — 0,05, 40-кратном — 0,025 и 90-кратном — 0,011.

Зависимость $\eta_{\text{заг}} = f\left(\frac{Q_{\text{ст}}}{Q_p}\right)$ приведена на рис. 7.7.

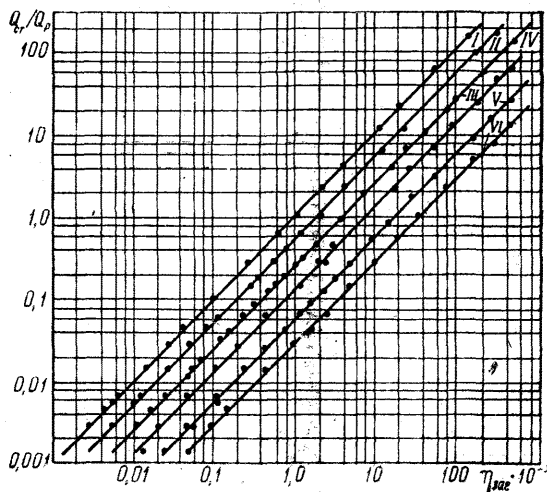


Рис. 7.7. Зависимость $Q_{\text{ст}}/Q_p$ от $\eta_{\text{заг}}$.
I, II, III, IV, V, VI — 2-, 5-, 10-, 20-, 40- 90-кратное разбавление соответственно.

Анализируя значения $\eta_{\text{заг}}$ и $\lambda_{\text{в, заг}}$, вычисленные для рек, относящихся к различным типам и группам, удалось построить графики связи $\lambda_{\text{в, заг}} = f(\eta_{\text{заг}})$ для рек различных типов (рис. 7.8).

Номограммы, приведенные на рис. 7.7 и 7.8 рекомендуются для определения размеров зон загрязнения (их длин $L_{\text{заг}}$ и площадей $\Omega_{\text{заг}}$) при любых соотношениях расходов сточных и речных вод и заданной кратности разбавления.

Пример расчета

В среднюю равнинную реку осуществляется постоянный сброс сточных вод с расходом $Q_{\text{ст}} = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ и концентрацией загрязняющих веществ $S_{\text{ст}} = 100 \text{ мг/л}$. Предельно допустимая концентрация данного загрязняющего вещества $\text{ПДК}_{\text{усл}} = 0,05 \text{ мг/л}$, $S_{\text{ст}} = 5 \text{ мг/л}$, что отвечает 20-кратному разбавлению сточных вод.

Значения расходов воды в реке (обеспеченностью 20, 50, 75, 90 и 95 %) сняты с обобщенной кривой суточных расходов и приведены в табл. 7.7. Здесь же приведены значения ширины реки (B) на рассматриваемом участке при данных расходах.

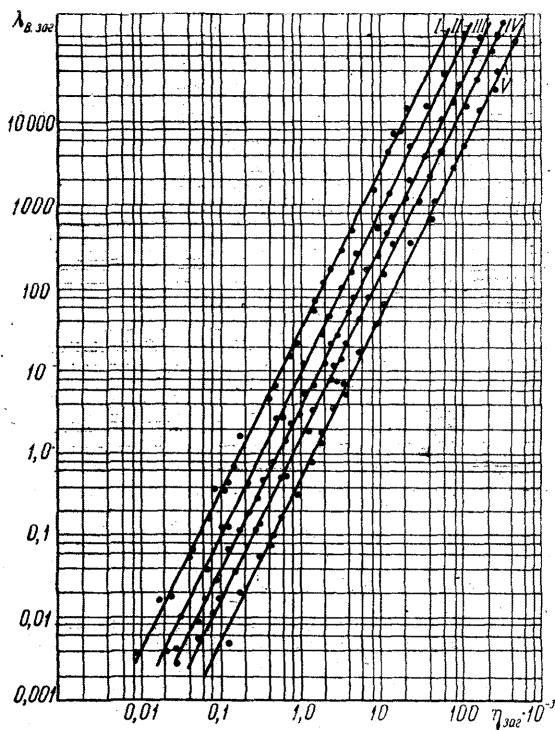


Рис. 7.8. График связи $\lambda_{г. заг} = f(\eta_{заг})$.

I — большие равнинные реки; II — средние горные реки; III — средние реки равнинные и предгорный; IV — малые равнинные реки; V — малые горные реки.

Таблица 7.7

Ширина реки при расходах различной обеспеченности

$P\%$	20	50	75	90	95
Q_p м ³ /с	25,7	19,3	14,4	10,6	9,1
B м	128	103	84	70	68

Требуется определить длину зоны загрязнения $L_{\text{заг}}$ и площадь зоны загрязнения $\Omega_{\text{заг}}$ при каждом из пяти расчетных значений расхода воды в реке. Для этого необходимо располагать также данными о средней ширине реки при расчетных расходах воды (табл. 7.7).

Решение.

1. Находим соотношение расходов сточных и речных вод:

$$\frac{Q_{\text{ст}}}{Q_{20\%}} = \frac{0,1}{25,7} = 0,0039; \quad \frac{Q_{\text{ст}}}{Q_{50\%}} = \frac{0,1}{19,3} = 0,0052; \quad \frac{Q_{\text{ст}}}{Q_{75\%}} = \frac{0,1}{14,4} = 0,007; \quad \frac{Q_{\text{ст}}}{Q_{90\%}} = \frac{0,1}{10,6} = 0,0092; \quad \frac{Q_{\text{ст}}}{Q_{95\%}} = \frac{0,1}{9,1} = 0,0110.$$

2. По найденным значениям отношений $\frac{Q_{\text{ст}}}{Q_{p\%}}$ снимаем с графика (рис. 7.7) значения $\eta_{\text{заг}}$. Так как нас интересует область 20-кратного разбавления, то пользуемся IV прямой: $\eta_{\text{заг}, 20\%} = 30 \cdot 10^{-3}$; $\eta_{\text{заг}, 50\%} = 40 \cdot 10^{-3}$; $\eta_{\text{заг}, 75\%} = 50 \cdot 10^{-3}$; $\eta_{\text{заг}, 90\%} = 95 \cdot 10^{-3}$; $\eta_{\text{заг}, 95\%} = 100 \cdot 10^{-3}$.

3. Зная величины $\eta_{\text{заг}}$, с графика (рис. 7.8) для средней равнинной реки (кривая III) снимаем соответствующие значения $\lambda_{\text{в, заг}}$:

$$\lambda_{\text{в, заг}}(20\%) = 3,0; \quad \lambda_{\text{в, заг}}(50\%) = 6,0; \quad \lambda_{\text{в, заг}}(75\%) = 8,0; \quad \lambda_{\text{в, заг}}(90\%) = 12,0; \quad \lambda_{\text{в, заг}}(95\%) = 13,0.$$

4. Длину зоны загрязнения $L_{\text{заг}}$ находим по формуле (7.15):

$$L_{\text{заг}}(20\%) = \lambda_{\text{в, заг}}(20\%) B_{20\%} = 3 \cdot 128 = 384 \text{ м},$$

$$L_{\text{заг}}(50\%) = \lambda_{\text{в, заг}}(50\%) B_{50\%} = 6 \cdot 103 = 618 \text{ м},$$

$$L_{\text{заг}}(75\%) = \lambda_{\text{в, заг}}(75\%) B_{75\%} = 8 \cdot 84 = 672 \text{ м},$$

$$L_{\text{заг}}(90\%) = \lambda_{\text{в, заг}}(90\%) B_{90\%} = 12 \cdot 70 = 840 \text{ м},$$

$$L_{\text{заг}}(95\%) = \lambda_{\text{в, заг}}(95\%) B_{95\%} = 13 \cdot 68 = 884 \text{ м}.$$

5. Площадь зоны загрязнения $\Omega_{\text{заг}}$ вычисляется по формуле (7.15, а):

$$\Omega_{\text{заг}}(20\%) = B_{20\%} L_{\text{заг}}(20\%) \cdot \eta_{\text{заг}}(20\%) = 128 \cdot 384 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 1470 \text{ м}^2,$$

$$\Omega_{\text{заг}}(50\%) = B_{50\%} L_{\text{заг}}(50\%) \cdot \eta_{\text{заг}}(50\%) = 103 \cdot 618 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 2550 \text{ м}^2,$$

$$\Omega_{\text{заг}}(75\%) = B_{75\%} L_{\text{заг}}(75\%) \cdot \eta_{\text{заг}}(75\%) = 84 \cdot 672 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 2820 \text{ м}^2,$$

$$\Omega_{\text{заг}}(90\%) = B_{90\%} L_{\text{заг}}(90\%) \cdot \eta_{\text{заг}}(90\%) = 70 \cdot 840 \cdot 95 \cdot 10^{-3} = 5590 \text{ м}^2,$$

$$\Omega_{\text{заг}}(95\%) = B_{95\%} L_{\text{заг}}(95\%) \cdot \eta_{\text{заг}}(95\%) = 68 \cdot 884 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 6010 \text{ м}^2.$$

Полученные характеристики зоны загрязнения позволяют оценить влияние внутригодовой изменчивости расходов воды в реке на протяженность и площадь загрязненного участка реки.

В данном примере длина зоны загрязнения в течение года изменяется более чем в два раза, а площадь зоны загрязнения — в четыре раза.

7.2.3. Расчет разбавления сточных вод в реках по методу А. В. Караушева (плоская задача)

Метод, основанный на численном решении уравнения турбулентной диффузии, позволяет получить поле концентрации загрязняющего вещества в пределах всей расчетной области, начиная от источника загрязнения до створа водопользования.

Уравнение турбулентной диффузии для условий плоской задачи при пренебрежимо малых поперечных скоростях и стационарного во времени процесса в конечных разностях примет вид

$$\frac{\Delta S}{\Delta x} = \frac{D}{v_{cp}} \frac{\Delta^2 S}{\Delta z^2}. \quad (7.16)$$

При расчете речной поток в плане разбивается сеткой, каждая вертикальная линия которой отвечает определенному поперечному

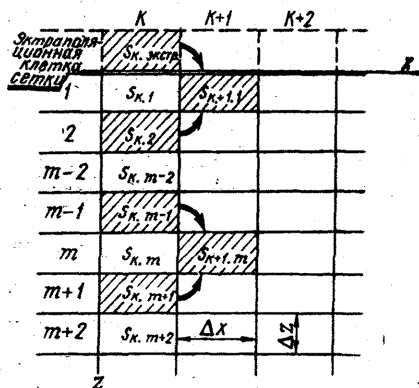


Рис. 7.9. Сетка к расчету турбулентной диффузии (плоская задача).

сечению и предполагается отстоящей от предыдущей и последующей на длину Δx . Расстояние между горизонтальными линиями (по ширине реки) равно Δz . Каждой клетке присвоен свой индекс по соответствующим осям координат: по оси x — k , по оси z — m (рис. 7.9).

Расчетная зависимость, позволяющая вычислить распределение концентрации загрязняющих веществ по длине и ширине потока (плановая или плоская задача), записывается в виде

$$S_{k+1,m} = \frac{1}{2} (S_{k,m+1} + S_{k,m-1}). \quad (7.17)$$

Таким образом, концентрация в центре тяжести клетки $(k+1, m)$ в сечении $(k+1)$ равна среднеарифметическому из кон-

центратий двух клеток, соприкасающихся с клеткой (k, m) в предыдущем сечении k .

При расчете по уравнению (7.17) вся изучаемая область потока или водоема делится на прямоугольные параллелепипеды, объемы которых равны $\Delta x \Delta z H$, где H — средняя глубина в рассматриваемой области. При пользовании формулой (7.17) предполагается, что уже вблизи от выпуска сточные воды равномерно распространяются по всей глубине реки.

Расстояние между расчетными сечениями определяется по формуле

$$\Delta x = \frac{v_{\text{ср}} \Delta z^2}{2D}. \quad (7.18)$$

Когда раствор загрязняющего вещества достигает граничных поверхностей, для расчета диффузии следует использовать соотношение, учитывающее отсутствие переноса через стенки потока:

$$\left(\frac{\Delta S}{\Delta z} \right)_{\text{гр. пов}} = 0. \quad (7.19)$$

Учет граничных условий осуществляется путем введения в расчеты экстраполяционных значений концентрации. Расчетная сетка и поле концентрации условно распространяются за ограничивающие поток поверхности. При этом экстраполяционное значение концентрации в клетке, примыкающей к внешней поверхности стенки $S_{\text{экстр}}$ (рис. 7.10) и значение концентрации S_1 в клетке, примыкающей к внутренней поверхности стенки на том же поперечнике, должны удовлетворять условию (7.19), что возможно только в случае, если

$$S_{\text{экстр}} = S_1. \quad (7.20)$$

Экстраполяционные значения концентрации используются в расчете по формуле (7.17) так же, как и реальные значения. Наглядно это показано на рис. 7.9.

Учет начальных условий осуществляется путем задания места выпуска сточных вод, их расхода $Q_{\text{ст}}$ и концентрации загрязняющих веществ $S_{\text{ст}}$. На плане реки (или водоема) обозначают место сброса и через него проводят начальный поперечник. Ниже по течению поток схематизируется и делится на расчетные клетки. Скорость поступления сточных вод $v_{\text{ст}}$, сбрасываемых в водный объект, принимается равной скорости течения реки $v_{\text{ср}}$.

Часть площади поперечного сечения реки, занятая сточными водами (δ — площадь поперечного сечения загрязненной струи), вычисляется по следующей зависимости:

$$\delta = \frac{Q_{\text{ст}}}{v_{\text{ср}}}. \quad (7.21)$$

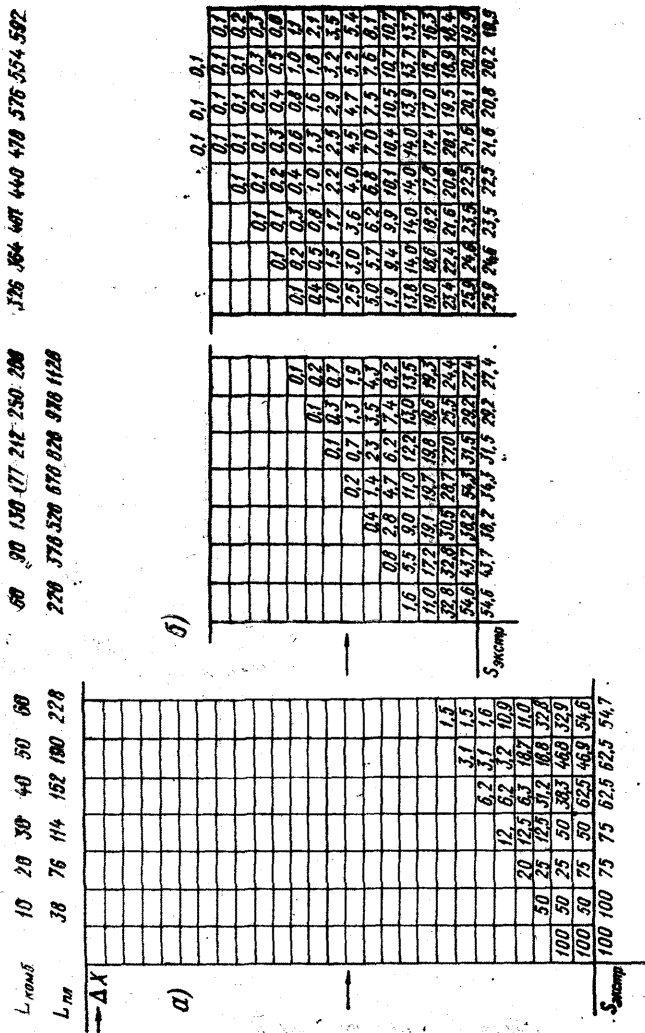


Рис. 7.10. Расчетное поле концентраций загрязняющих веществ: *a* — плюсовая задача; *б* — комбинированная задача.

Затем определяется ширина загрязненной струи b в начальном створе:

$$b = \frac{\delta}{H_{\text{ср}}} = \frac{Q_{\text{ст}}}{v_{\text{ср}} H_{\text{ср}}} \quad (7.22)$$

В соответствии с величиной b назначается ширина расчетной клетки Δz . Обычно принимается $\Delta z \geq \frac{b}{2}$, однако, если значения Δz оказываются очень большими, то их уменьшают так, чтобы выполнялось неравенство $\Delta z \leq \frac{1}{10} B_{\text{ср}}$.

Клетки, попадающие в струю притока сточных вод в начальном поперечнике, заполняются цифрами, выражающими начальную концентрацию сточных вод ($S_{\text{ст}}$), остальные клетки — цифрами, выражающими естественную концентрацию загрязняющего вещества в реке (S_p) (в частном случае это может быть нулевая концентрация).

Часто оказывается удобным вести вычисления в относительных величинах, например в процентах от $S_{\text{ст}}$, полагая $S_{\text{ст}} = 100\%$. Такой прием позволяет использовать данные расчета для оценки распределения в потоке любого числа загрязняющих ингредиентов, если будут заданы исходные содержания последних в сточных водах.

Пример расчета

Река N является приемником сточных вод населенного пункта. Объем сточных вод $Q_{\text{ст}}$ равен $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Сточные воды поступают через береговой коллектор. В меженные периоды возникает опасность загрязнения реки на участке, превышающем расстояние до нижерасположенного поселка.

Благополучное санитарное состояние реки обеспечивается при пятикратном разбавлении сточных вод ($S_{\text{max}} = 20\%$). Определить, будет ли обеспечиваться данное условие, если поселок расположен в $1,0 \text{ км}$. Расход реки $Q_{95\%} = 6,9 \text{ м}^3/\text{с}$; $v_{\text{ср}} = 0,62 \text{ м/с}$; $H_{\text{ср}} = 0,54 \text{ м}$; $B_{\text{ср}} = 20,0 \text{ м}$; $S_{\text{ст}} = 100\%$; $J = 0,0007$; $S_p = 0$; $Q_{\text{ст}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Требуется найти значение максимальной концентрации загрязняющих веществ в нижерасположенном населенном пункте (на расстоянии $1,0 \text{ км}$ от коллектора).

Решение.

1. Определяем величину расчетного расхода в реке:

$$Q_{\text{расч}} = Q_{95\%} + Q_{\text{ст}} = 6,9 + 0,5 = 7,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Находим начальное сечение струи загрязнения δ по формуле (7.21):

$$\delta = \frac{Q_{\text{ст}}}{v_{\text{ср}}} = \frac{0,5}{0,62} = 0,8 \text{ м}^2.$$

3. Вычисляем ширину загрязненной части реки в начальном сечении b по формуле (7.22):

$$b = \frac{\delta}{H_{\text{ср}}} = \frac{0,8}{0,54} \cong 1,48 \text{ м.}$$

4. Назначаем ширину расчетной клетки (Δz):

$$\Delta z = \frac{b}{2} = \frac{1,48}{2} = 0,74 \text{ м.}$$

При $\Delta z = 0,74$ м число клеток, занятых загрязнением в начальном сечении ($n_{\text{заг}}$), равно

$$n_{\text{заг}} = \frac{b}{\Delta z} = \frac{1,48}{0,74} \cong 2.$$

Общее число клеток по ширине реки ($n_{\text{общ}}$) находится из условия

$$n_{\text{общ}} = \frac{B_{\text{ср}}}{\Delta z} = \frac{20}{0,74} = 27.$$

5. Для определения расстояния между расчетными сечениями Δx необходимо вычислить коэффициент Шези C и коэффициент турбулентной диффузии D . Используя исходные данные, вычисляем C по формуле (7.1):

$$C = \frac{v_{\text{ср}}}{\sqrt{HJ}} = \frac{0,62}{\sqrt{0,54 \cdot 0,0007}} = 33 \cong 30 \text{ м}^{1/2}/\text{с.}$$

По табл. 7.1 для величины C снимаем $M=27$, $N=82,6$, по формуле (7.3) вычисляем коэффициент турбулентной диффузии:

$$D = \frac{g H_{\text{ср}} v_{\text{ср}}}{MC} = \frac{9,8 \cdot 0,62 \cdot 0,54}{27 \cdot 30} = 0,0045 \text{ м}^2/\text{с.}$$

Искомое расстояние находим по формуле (7.18):

$$\Delta x = \frac{v_{\text{ср}} \Delta z^2}{2D} = \frac{0,62 \cdot 0,55}{2 \cdot 0,0045} \cong 38 \text{ м.}$$

Строим расчетную сетку с учетом полученных значений $n_{\text{общ}}=27$ и $n_{\text{заг}}=2$. В начальном сечении две клетки, соответствующие загрязненной струе, заполняются значениями концентрации загрязняющих веществ ($S_{\text{ст}}=100$), а остальные клетки — нулевыми концентрациями ($S_{\text{р}}=0$). Для расчета концентрации в последующих сечениях используется зависимость (7.17). Расчетное поле концентрации загрязняющих веществ в потоке показано на рис. 7.10.

С целью ускорения расчета можно произвести укрупнение клеток (в 2, 4 раза и т. д.) и с расстояния 228 м от места выпуска

сточных вод все дальнейшие расчеты можно вести по новым размерам клеток. В нашем примере укрупняем клетки в 2 раза.

Вычисляем новые размеры клеток: $\Delta z_1 = 2\Delta z = 1,48$ м; $\Delta x_1 =$

$$= \frac{v_{\text{ср}} \Delta z^2}{2D} = \frac{0,62 \cdot 1,48^2}{0,009} \cong 150 \text{ м.}$$

Общее число (новых укрупненных) клеток

$$n_{\text{общ}1} = \frac{B_{\text{ср}}}{1,48} = 13,4 \cong 14 \text{ (округляем в четную сторону).}$$

Концентрация загрязняющего вещества в укрупненной клетке вычисляется как среднее арифметическое из концентраций в объединенных клетках (см. рис. 7.10).

В результате выполненного расчета установлено, что S_{max} на расстоянии 1 км от места выпуска сточных вод составляет $\approx 27\%$, и, следовательно, требуемое условие ($S_{\text{max}} \leq 20\%$) не обеспечивается при заданном расходе воды в реке.

Примечания.

1. В каждом расчетном сечении следует проверять сумму концентраций поступающих загрязняющих веществ ($\Sigma S_{\text{ст}} = \text{const}$).

2. Метод может быть использован для расчета разбавления как в реках, так и в водоемах при сбросе сточных вод в зоны устойчивых однонаправленных течений и дает стационарное поле концентрации.

3. Метод рекомендуется использовать при выпуске сточных вод в относительно прямолинейный поток, имеющий сравнительно малую глубину, т. е. когда $H \ll B$. В этом случае перемешивание по глубине осуществляется значительно быстрее, чем по ширине.

4. Расчетное поле концентраций загрязняющих веществ в процентах может быть пересчитано в абсолютные величины концентраций в мг/л, если известно содержание лимитирующего вещества в сточных водах. Например, в рассматриваемом случае сбрасываются сточные воды, содержащие фенолы в количестве 0,005 мг/л (ПДК=0,001 мг/л). При этом для удовлетворения санитарных норм в расчетном створе необходимо пятикратное снижение $S_{\text{ст}}$. В результате расчета S_{max} на расстоянии 1 км от сброса оказалось равным 27% или в пересчете на содержание

$$\text{фенолов в мг/л } S_{\text{max}} = \frac{27 \cdot 0,005}{100} = 0,0013 \text{ мг/л, т. е. } S_{\text{max}} > \text{ПДК.}$$

7.2.4. Комбинированный метод расчета разбавления сточных вод в реках

В основе метода лежит решение уравнения турбулентной диффузии для условий плоской задачи по конечно-разностной схеме (см. 7.2.3). Однако комбинированный метод позволяет учитывать влияние на процессы разбавления таких факторов, как поперечная циркуляция, неравномерность распределения глубин (приводящая

к усилению кинетической неоднородности потока), которыми мы пренебрегли в предыдущем решении. Учет этих факторов (ускоряющих процесс перемешивания) осуществляется путем введения корректирующих множителей к коэффициенту диффузии.

Как было указано выше, оба фактора (поперечная циркуляция и неравномерность распределения глубин) приводят к дополнительной турбулизации потока и учитываются путем введения коэффициента $K_{\text{общ}}$ к коэффициенту турбулентной диффузии:

$$D_{\text{общ}} = D K_{\text{общ}}. \quad (7.23)$$

Для определения величины $K_{\text{общ}}$ получена графическая зависимость, приведенная на рис. 7.2. В расчете по схеме плоской задачи учет этого фактора осуществляется путем введения в формулу для определения Δx величины $D_{\text{общ}}$ вместо D :

$$\Delta x_{\text{комб}} = \frac{v_{\text{ср}} \Delta z^2}{2D_{\text{общ}}} = \frac{\Delta z^2 N}{2H_{\text{ср}} K_{\text{общ}}}. \quad (7.24)$$

Для больших и средних рек расчетные значения θ не должны превышать 0,6, поэтому при $\theta > 0,6$ принимается $\theta = 0,6$.

Комбинированный метод уточняет результаты расчета по схеме плоской задачи, если есть данные, позволяющие вычислить поперечные составляющие скорости на данном участке реки и имеются достаточно детальные сведения о распределении глубин на участке.

Пример расчета

Исходными данными являются поля концентраций, вычисленные при выполнении работы 7.2.3 (рис. 7.10). Для оценки влияния поперечной циркуляции и изменчивости глубин на протяженность зоны загрязнения необходимо сравнить значения S_{max} в расчетном створе, вычисленные только по схеме плоской задачи (7.2.3) и по схеме плоской задачи с учетом $K_{\text{общ}}$.

Дополнительные данные: $H_{\text{max, ср}} = 0,68$ м.

Решение.

1. Вычисляется величина $v_{z, \text{ср}}$ по формуле (7.5):

$$v_{z, \text{ср}} = 0,025 \text{ м/с.}$$

2. Находится величина ω по формуле (7.7):

$$\omega = 0,06 \text{ м/с.}$$

3. Рассчитывается отношение

$$\frac{v_{z, \text{ср}} + \omega}{\omega} = \frac{0,025 + 0,06}{0,06} = 1,42.$$

4. Определяется величина θ по формуле (7.8):

$$\theta = \frac{H_{\max, \text{ср}} + H_{\text{ср}}}{H_{\text{ср}}} = \frac{0,68 + 0,54}{0,54} = 0,26.$$

5. По графику, приведенному на рис. 7.2, определяется величина $K_{\text{общ}}$ по значениям θ и $\frac{v_{z, \text{ср}} + \omega}{\omega}$: $K_{\text{общ}} = 4,0$.

6. Для определения расстояния между расчетными сечениями $\Delta x_{\text{комб}}$ используется формула (7.18), в которой $D = D_{\text{общ}}$:

$$\Delta x_{\text{комб}} = \frac{v_{\text{ср}} \Delta z^2}{2D_{\text{общ}}} = \frac{0,62 \cdot 0,5}{2 \cdot 4 \cdot 0,0045} \approx 10 \text{ м.}$$

При помощи рис. 7.10 уточняется расчет с учетом новых значений $\Delta x_{\text{комб}}$. Если при решении плоской задачи на расстоянии 228 м от места выпуска $S_{\max}$ составляла $\approx 55\%$, то с учетом факторов, интенсифицирующих процесс перемешивания, эта концентрация будет наблюдаться уже в 60 м от сброса сточных вод. После укрупнения ($\Delta z_1 = 1,48$ м) $\Delta x_{1, \text{комб}} \approx 38$ м, и концентрация в 27,4 % будет иметь место уже на расстоянии 288 м от места выпуска. Продолжив расчет, получим, что на расстоянии 570 м концентрация загрязняющих веществ снижается до требуемой (20 %), следовательно, при заданных условиях можно осуществлять сброс сточных вод.

7.2.5. Упрощенные методы расчета разбавления сточных вод в реках

Рассмотренные выше методы расчета разбавления могут быть названы детальными, так как они позволяют получить распределение концентраций загрязняющих веществ во всей области распространения сточных вод в реках (поле концентраций загрязняющих веществ в потоке). В некоторых случаях требуется определить либо максимальную концентрацию сточных вод $S_{\max}$ на заданном расстоянии от места их поступления, либо определить, на каком расстоянии будет иметь место требуемая кратность разбавления n .

Определение максимальных концентраций загрязняющих веществ на заданных расстояниях от места сброса сточных вод (а следовательно, и определение кратности разбавления в этих створах) может быть выполнено при использовании так называемых упрощенных методов расчета. Ниже будут рассмотрены два расчетных метода: экспресс-метод ГГИ и метод ВОДГЕО.

1. Экспресс-метод ГГИ. Экспресс-метод является аналитической аппроксимацией детального метода ГГИ.

Расчетная формула, позволяющая вычислить значения $S_{\max}$ на заданных расстояниях L от места сброса, имеет вид

$$S_{\max} = S_n + \frac{0,14 Q_{\text{ст}} \sqrt{\frac{N}{\tilde{H}}} B}{L (Q_p + Q_{\text{ст}}) \varphi} S_{\text{ст}}, \quad (7.25)$$

где S_n — средняя концентрация вещества в потоке ниже выпуска, вычисляемая из уравнения баланса вещества (формула 5.1); N — безразмерное характеристическое число турбулентного потока, определяемое по зависимости (7.6); φ — коэффициент извилистости реки, $\varphi = \frac{l_{\text{форв}}}{l_{\text{пр}}}$ ($l_{\text{форв}}$ — длина участка реки по форвату, $l_{\text{пр}}$ — длина участка реки по прямой); $\tilde{H}$ — относительная глубина, характеризующая форму русла, определяемая по отношению

$$\tilde{H} = \frac{H_{\text{ср}}}{B_{\text{ср}}}. \quad (7.26)$$

Формула (7.25) может быть записана и относительно величины L , если нам требуется найти расстояние (м), на котором будет иметь место заданное значение величины $S_{\max}$:

$$L = \frac{0,14 Q_{\text{ст}} \sqrt{\frac{N}{\tilde{H}}} B}{\left(\frac{S_{\max} - S_n}{S_{\text{ст}}} \right) (Q_p + Q_{\text{ст}}) \varphi}. \quad (7.27)$$

Формулы (7.25) и (7.27) позволяют вычислять максимальную концентрацию загрязняющего вещества на любом расстоянии от выпуска сточных вод или решить обратную задачу — найти расстояние до створа с заданным значением максимальной концентрации.

Пример расчета

В р. Поронай у п. Победино с расходом воды $Q_p = 34,6 \text{ м}^3/\text{с}$ сбрасываются сточные воды, расход которых $Q_{\text{ст}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Ширина реки $B_{\text{ср}} = 58 \text{ м}$, средняя глубина $H_{\text{ср}} = 1,53 \text{ м}$, средняя скорость потока $v_{\text{ср}} = 0,39 \text{ м/с}$; уклон на участке $J = 0,0013$; коэффициент извилистости $\varphi = 1,3$.

Требуется найти расстояние, на котором максимальная концентрация загрязняющих веществ $S_{\max} = 10\%$ от начальной концентрации стоков ($S_{\text{ст}} = 100\%$, $S_p = 0$), и определить $S_{\max}$ на расстоянии $L = 100 \text{ м}$ от сброса.

Решение.

1. На основании формулы (5.2) определяется $\hat{S}_n$:

$$S_n = \frac{100 \cdot 0,5}{34,6 + 0,5} = 1,42 \%$$

2. Определяется по формуле (7.26) величина $\tilde{H}$:

$$\tilde{H} = \frac{15,3}{58,0} = 0,026.$$

3. Характеристическое число турбулентного потока N устанавливается по зависимости (7.6) или по табл. 7.6. Значение коэффициента C может быть определено для рассматриваемого участка по измеренным величинам $v_{\text{ср}}$, $H_{\text{ср}}$ и J (формула (7.1)):

$$C = \frac{0,39}{\sqrt{1,53 \cdot 0,0013}} = 8,7 \text{ м}^{1/2}/\text{с}.$$

По табл. 7.6 зависимости M и N от C снимаем по округленному значению $C=10$; величины $M=13,0$ и $N=13,3$.

4. Используя формулу (7.27), находим расстояние от места выпуска сточных вод до створа, на котором будет иметь место заданное значение S_{max} :

$$L = \frac{0,14 \cdot 0,5 \sqrt{\frac{13,3}{0,026}} 58}{\left(\frac{10 - 1,42}{100}\right) (34,6 + 0,5) 1,3} = 23,4 \text{ м}.$$

5. Для определения S_{max} на расстоянии 100 м от сброса используем формулу (7.25):

$$S_{\text{max}} = 1,42 + \frac{0,14 \cdot 0,5 \sqrt{\frac{13,3}{0,026}} 58}{100 (34,6 + 0,5) 1,3} 100 = 3,43 \%$$

2. Метод ВОДГЕО (метод В. А. Фролова и И. Д. Родзиллера). Метод позволяет определить расстояние L до створа с заданной степенью перемешивания P .

Степень перемешивания P характеризует отклонение максимальной концентрации S_{max} от средней концентрации S_n и вычисляется по формуле

$$P = \frac{S_n}{S_{\text{max}}} 100 \%. \quad (7.28)$$

Если в рассматриваемом створе реки $P=80-90 \%$, то S_{max} незначительно отличается от S_n и такой створ принято считать ство-

ром достаточного перемешивания. Для вычисления расстояния до створа с любой заданной степенью перемешивания L_p используется следующая расчетная зависимость:

$$L_p = \left[\frac{2,3}{\alpha} \lg \frac{Q_p}{\left(\frac{100}{P} - 1 \right) O_{ст}} \right]^3, \quad (7.29)$$

где α — коэффициент, учитывающий гидравлические условия в потоке и определяемый по эмпирической зависимости

$$\alpha = \varphi \zeta \sqrt{\frac{\varphi D}{Q_{ст}}}, \quad (7.30)$$

здесь φ — коэффициент извилистости реки; ζ — коэффициент, учитывающий положение места выпуска сточных вод (при выпуске у берега $\zeta=1$, при выпуске в середине потока $\zeta=1,5$); ψ — коэффициент, зависящий от отношения скорости сточных вод к скорости потока,

$$\psi = \frac{v_{ст}}{v}. \quad (7.31)$$

Формула (7.29) может быть использована для определения расстояния до створа с любой степенью перемешивания, т. е. для определения расстояния до створа с заданным значением S_{max} .

Пример расчета

Исходные данные те же, что и в расчете по экспресс-методу. Кроме того, необходимо знать величины ζ , ψ и $H_{max, ср}$.

Примем местоположение выпуска сточных вод у берега, т. е. $\zeta=1$, а скорость истечения сточной жидкости пусть равна скорости течения реки, т. е. $\psi=1$, $H_{max, ср}=2,2$ м. Требуется определить максимальную концентрацию S_{max} и расстояние до створа достаточного перемешивания $L_{80\%}$.

Решение.

1. S_{max} определяем из формулы (7.28): $S_{max} = \frac{1,42 \cdot 100}{80} = 1,78 \%$. (Значение S_n получено по формуле (5.2) и равно 1,42 %).

2. Находим коэффициент α , учитывающий гидравлические условия в потоке, по формуле (7.30). Для вычисления предварительно вычисляем коэффициент турбулентной диффузии D согласно зависимости (7.3), в которой $D = \frac{1,53 \cdot 0,39 \cdot 9,8}{13,0 \cdot 10} = 0,046 \text{ м}^2/\text{с}$:

$$\alpha = 1,3 \cdot 1 \sqrt{\frac{1 \cdot 0,046}{0,5}} = 0,6.$$

Расстояние до створа достаточного перемешивания $L_{90\%}$, т. е. до створа, где $S_{\max} = 1,78 \%$, находим по формуле (7.29):

$$L_{90\%} = \left[\frac{2,3}{0,6} \lg \frac{34,6}{\left(\frac{100}{80} - 1 \right) 0,5} \right]^3 \approx 800 \text{ м.}$$

7.2.6. Расчет начального разбавления с учетом конструктивных особенностей сбросных устройств (метод ЛИСИ)

В настоящее время для сброса сточных вод в водные объекты широко применяются рассеивающие выпуски, обеспечивающие ускорение процесса разбавления. Основными факторами, определяющими интенсификацию процесса разбавления сточных вод, сбрасываемых через рассеивающие выпуски, являются рассредоточение загрязняющих веществ по ширине реки и ускорение процесса разбавления, обусловленное конструкциями сбросных устройств. Формирующаяся ниже сбросного сооружения зона носит название зоны начального разбавления, в которой процесс разбавления происходит вследствие увлечения окружающей жидкости турбулентным струйным потоком, образующимся при истечении сточных вод из оголовка выпуска. Интенсивность разбавления в этой зоне зависит от конструкции оголовков выпуска, их планового и высотного положения в потоке, диаметра оголовков и скорости истечения сточной жидкости. Протяженность зоны начального разбавления невелика, обычно она не превышает нескольких глубин потока.

Инженера-гидролога в первую очередь интересует определение кратности начального разбавления n_n и протяженность зоны начального разбавления $L_{н.р.}$

Начальное разбавление обусловлено различием скорости истечения сточной жидкости из оголовка выпуска ($v_{ст}$) и скорости движения окружающей массы воды ($v_{ср}$). Разность скоростей приводит к возникновению турбулентного струйного потока присоединяющего массы воды из окружающего пространства. Это приводит к увеличению поперечного сечения и расхода струи и к постепенному уменьшению скорости течения в струе и концентрации загрязняющих веществ в ней. Интенсивность начального разбавления зависит от отношения скорости потока к скорости истечения:

$$m = \frac{v_{ср}}{v_{ст}}. \quad (7.32)$$

Начальное разбавление рекомендуется учитывать для следующих условий: при соотношении скоростей потока и выпуска $v_{ст} \geq 4v_{ср}$ или при $0 \leq m \leq 0,25$ при абсолютных скоростях истечения струй из выпуска, больших 2,0 м/с.

Начальное разбавление рассчитывается для участка от места выпуска до сечения, где струя не может больше присоединять новые объемы чистой воды. Это сечение следует принимать расположенным там, где скорость на оси струи на 0,1—0,15 м/с превышает среднюю скорость потока или, где соседние струи, выходящие из рассеивающего выпуска, начинают соприкасаться. Расчетный диаметр загрязненной струи в сечении, где происходит соприкосновение струй рассеивающего выпуска, определяется расстоянием между оголовками и находится по соотношению

$$d = \Delta l \leq H_{\text{ср}}, \quad (7.33)$$

где Δl — расстояние между соседними оголовками выпуска, м.

В случае, если диаметр струи меньше средней глубины водотока, определение кратности начального разбавления может быть выполнено по зависимости, полученной Н. Н. Лапшевым, которая представлена в виде номограммы (рис. 7.11). Если диаметр струи больше средней глубины, то интенсивность начального разбавления будет

Рис. 7.11. Номограмма для определения начального разбавления в потоке.

снижаться за счет стеснения струи (ограничения доступа окружающей жидкости).

Начальное разбавление в стесненной струе ($n_{н.с}$) вычисляется по формуле

$$n_{н.с} = n_n f\left(\frac{H}{d}\right). \quad (7.34)$$

Функция $f\left(\frac{H}{d}\right)$, учитывающая стеснение струи, находится по специальному графику в зависимости от отношения глубины потока H к диаметру нестесненной струи d в расчетном сечении (рис. 7.12).

Определение расстояния до створа, где заканчивается начальное разбавление, выполняется по зависимости

$$L_{н.р} = \frac{d}{0,48(1 + 3,12)m}. \quad (7.35)$$

Если через рассеивающий выпуск, имеющий j оголовков, сбрасывается объем сточных вод $Q_{\text{ст}}$, то расход сточных вод, вытекающих из каждого оголовка $q_{\text{ст}}$, находится из отношения

$$q_{\text{ст}} = \frac{Q_{\text{ст}}}{j}. \quad (7.36)$$

С учетом начального разбавления расход смеси сточных и чистых вод $q_{см}$ (из каждого оголовка выпуска) и средняя концентрация загрязняющего вещества в расчетном сечении в конце зоны начального разбавления находятся по следующим зависимостям:

$$q_{см} = n_n q_{ст}, \quad (7.37)$$

$$S_{ср} = \frac{S_{ст} - S_p}{n_n} + S_p, \quad (7.38)$$

при $S_p = 0$

$$S_{ср} = \frac{S_{ст}}{n_n}. \quad (7.39)$$

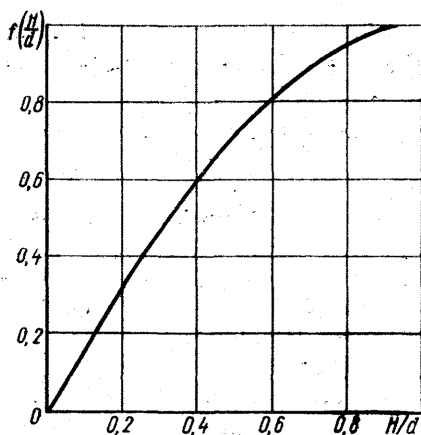


Рис. 7.12. График для расчета функции $f\left(\frac{H}{d}\right)$.

Максимальная концентрация на оси расчетного сечения, необходимая для оценки санитарного состояния,

$$S_{\max} = \frac{S_{ср}}{0,428}, \quad (7.40)$$

где 0,428 — коэффициент для перехода от средних концентраций к максимальным.

Изложенная методика применяется для расчета начального разбавления в реках и водоемах в случае сброса сточных вод в зону устойчивых однонаправленных течений.

Пример расчета

В реку осуществляется сброс сточных вод через один сосредоточенный выпуск с постоянным расходом $Q_{ст}=1 \text{ м}^3/\text{с}$ и постоянной концентрацией загрязняющих веществ $S_{ст}=100 \text{ мг/л}$, диаметр сечения оголовка $d_0=0,2 \text{ м}$, $v_{ст}=2,0 \text{ м/с}$.

Река на участке имеет: $Q_p=46,0 \text{ м}^3/\text{с}$, $H_{ср}=1,6 \text{ м}$, $v_{ср}=0,40 \text{ м/с}$, $B_{ср}=72,0 \text{ м}$, $J=0,001$, $S_p=0$.

Требуется найти кратность начального разбавления n_n ; протяженность зоны начального разбавления $L_{н.р}$; среднюю $S_{ср}$ и максимальную S_{max} концентрации в конце зоны начального разбавления.

Решение.

1. Выясняем, будет ли иметь место начальное разбавление, т. е. соблюдается ли условие $v_{ст} \geq 4v_{ср}$ ($0 \leq m \leq 0,25$):

$$m = \frac{v_{ср}}{v_{ст}} = \frac{0,4}{2,0} = 0,20.$$

Значение $m < 0,25$; при расчетах необходимо учитывать начальное разбавление.

2. По условию выпуск сосредоточенный, осуществляется через одно отверстие и расчетный диаметр струи в створе, где она достигает дна и поверхности потока, равен средней глубине реки, т. е. $d=H_{ср}$, а это указывает на то, что струя не стеснена и для расчета начального разбавления используем графическую зависимость (рис. 7.11), где $d=1,6 \text{ м}$, $\frac{d}{d_0} = \frac{1,6}{0,2} = 8$, что при $m=0,2$ дает величину $n_n=3,5$.

3. Находим протяженность зоны начального разбавления по формуле (7.35):

$$L_{н.р} = \frac{1,6}{0,48(1 + 3,12 \cdot 0,2)} = 2,2 \text{ м}.$$

4. Средняя концентрация загрязняющих веществ в конце зоны начального разбавления находится по формуле (7.39):

$$S_{ср} = \frac{100}{3,5} = 28,1 \text{ мг/л}.$$

5. Максимальная концентрация в расчетном створе — по формуле (7.40):

$$S_{max} = \frac{28,1}{0,428} = 65,6 \text{ мг/л}.$$

7.2.7. Расчет концентрации неконсервативных загрязняющих веществ в водоемах

В водоемах условия разбавления сточных вод зависят в основном от гидрометеорологической обстановки. Существенное значение имеет и характер поступления сточных вод (залповый или установившийся).

При длительном равномерном поступлении загрязненных вод в водоем и при наличии в районе сброса устойчивого течения расчет разбавления может быть выполнен, как и для рек, путем решения уравнения турбулентной диффузии (7.16) методом конечных разностей.

Если сброс сточных вод осуществляется в период, когда скорости течения в водоеме малы по величине и неустойчивы по направлению, то в водоеме происходит накопление загрязненной воды в районе выпуска, сопровождаемое турбулентной диффузией. В этом случае расчет разбавления выполняется по уравнению турбулентной диффузии в цилиндрических координатах.

Дифференциальное уравнение турбулентной диффузии в цилиндрических координатах для неконсервативного вещества записывается следующим образом:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 S}{\partial r^2} + \frac{\beta}{r} \frac{\partial S}{\partial r} + k_n S. \quad (7.41)$$

Здесь параметр β выражается равенством

$$\beta = D - \frac{Q_{ст}}{\varphi H}, \quad (7.42)$$

где $Q_{ст}$ — расход сточных вод; D — коэффициент турбулентной диффузии; H — средняя глубина водоема в области распределения сточных вод; φ — угол сектора распространения сточных вод (при выпуске вдали от берега $\varphi = 2\pi$, при выпуске у прямолинейного берега $\varphi = \pi$), остальные обозначения прежние; k_n — при распаде меньше нуля, а для консервативного вещества $k_n = 0$.

Изменяющееся во времени поле концентрации неконсервативного загрязняющего вещества в водоеме может быть рассчитано путем численного решения уравнения (7.41). В работе [10] предложен алгоритм расчета с использованием метода конечных разностей. Предложенный метод связан с большим объемом вычислительных работ и предполагает использование ЭВМ. Для случая установившегося поля концентрации, описываемого уравнением

$$D \frac{\partial^2 S}{\partial r^2} + \frac{\beta}{r} \frac{\partial S}{\partial r} + k_n S = 0, \quad (7.43)$$

авторами получено аналитическое решение, которое представлено в виде номограммы (рис. 7.13). Номограмма позволяет найти концентрацию загрязняющего вещества на заданном расстоянии

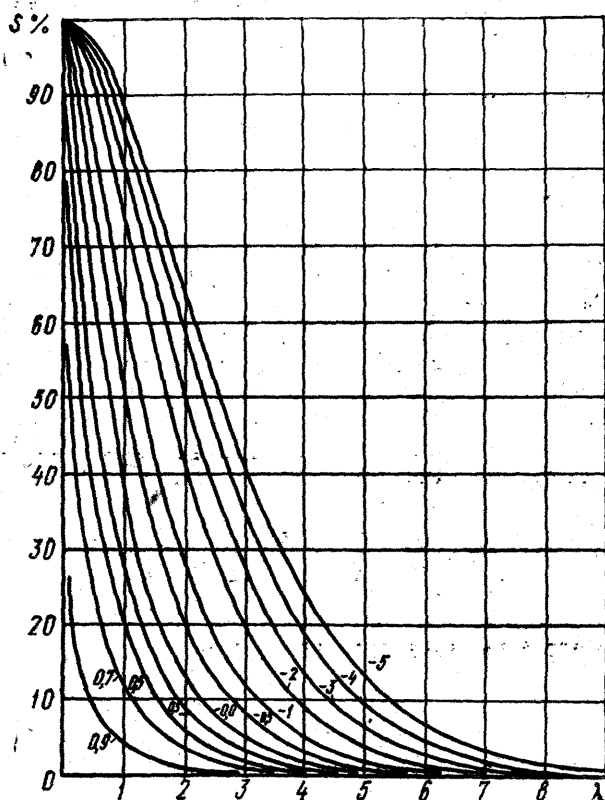


Рис. 7.13. Номограмма для определения концентрации неконсервативного загрязняющего вещества ($S\%$) на различных расстояниях от выпуска.

от места сброса или определить расстояние до изолинии с заданной концентрацией (изолинии концентрации представляют собой концентрические окружности с центром в начале координат, т. е. в месте сброса сточных вод). По оси абсцисс отложены значения безразмерного параметра λ , рассчитываемого по формуле

$$\lambda = r \sqrt{-\frac{k_n}{D}}, \quad (7.44)$$

по оси ординат — значения относительной концентрации $\tilde{S}$:

$$\tilde{S} = \frac{S_{\max}}{S_{\text{ст}}} 100 \%. \quad (7.45)$$

Зависимость $\tilde{S}$ от λ изображена на номограмме при помощи семейства кривых, каждая из которых соответствует определенному значению безразмерного параметра a :

$$a = \frac{\beta}{D}. \quad (7.46)$$

Для определения концентрации на заданном расстоянии необходимо рассчитать параметры β , a , λ , подняться по перпендикуляру до пересечения с кривой, соответствующей вычисленному значению a . От точки пересечения провести перпендикуляр к оси ординат, точка его пересечения с осью даст искомое значение S . Для определения расстояния до изолиний с заданной концентрацией порядок действий на номограмме обратный.

Пример расчета

В озеро через береговой выпуск ($\varphi=3,14$) сбрасываются сточные воды предприятия с постоянным расходом $Q_{ст}=0,5$ м³/с. Глубина озера в районе сброса $H_{ср}=6$ м. Концентрация неконсервативного загрязняющего вещества в сточных водах $S_{ст}=100$ мг/л; коэффициент неконсервативности $k_n=-4 \cdot 10^{-7}$ 1/с; коэффициент турбулентной диффузии $D=0,005$ м²/с. Необходимо определить концентрацию загрязняющего вещества S на расстоянии 500 м от места поступления сточных вод.

Решение.

Для определения концентрации с помощью номограммы (рис. 7.13) необходимо рассчитать значения параметров β , a и λ по соответствующим формулам (7.42), (7.46) и (7.44):

$$\beta = 0,005 - \frac{0,5}{3,14 \cdot 6} = 0,005 - 0,026 = -0,021;$$

$$a = \frac{-0,021}{0,005} = -4,2;$$

$$\lambda = 500 \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-7}}{0,005}} = 500 \sqrt{0,8 \cdot 10^{-4}} = 500 \cdot 0,0089 = 4,45.$$

Значение $\tilde{S}$, снятое с номограммы по найденным a и λ , оказалось равным 15 %, следовательно, искомое значение концентрации $S=0,15 \cdot 100=15$ мг/л.

7.2.8. Определение максимальных концентраций загрязняющих веществ при сбросе сточных вод через рассеивающие выпуски

Рассеивающие выпуски широко применяются в практике проектирования сбросов сточных вод в реки и водоемы с целью интенсификации процессов разбавления на начальном участке.

Методика расчета максимальных концентраций загрязняющих веществ, сбрасываемых со сточными водами в реки и водоемы, изложена в работе [10]. Методика основана на численном решении уравнения турбулентной диффузии по методу А. В. Караушева и реализована в виде номограммы.

Задача решается для водотока или зоны однопровальных постоянно действующих течений в водоеме. В водный объект через j оголовков рассеивающего выпуска, магистральная труба которого перпендикулярна берегу, а длина фронта рассеивания равна L , сбрасываются сточные воды, содержащие растворенное консервативное загрязняющее вещество. Концентрация этого вещества в сточных водах равна $S_{ст}$. Оголовки расположены на одинаковом расстоянии друг от друга. Расход сточных вод $Q_{ст}$

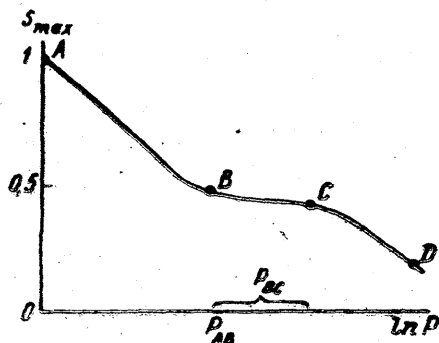


Рис. 7.14. Продольный профиль $\tilde{S}_{max}$.

равномерно распределяется между всеми оголовками и не меняется во времени. Скорость поступления сточных вод принимается равной скорости течения. Глубина на рассматриваемом участке водного объекта осредняется и принимается постоянной и равной H . Течение считается установившимся и равномерным. Скорость его, осредненная по живому сечению, принимается равной v , коэффициент турбулентной диффузии в поперечном направлении — D . В качестве искомой будем рассматривать безразмерную величину:

$$\tilde{S}_{max(x)} = \frac{S_{max(x)}}{S_{ст}}, \quad (7.47)$$

где $S_{max(x)}$ — максимальная по живому сечению концентрация загрязняющего вещества на расстоянии x от места выпуска. $\tilde{S}_{max}$ является величиной, обратной кратности разбавления n и может изменяться в пределах от 0 до 1.

В результате расчетов получены поля концентрации загрязняющего вещества. На рис. 7.14 приведен характерный профиль максимальной концентрации загрязняющего вещества, сбрасываемого

в водный объект через рассеивающий выпуск. По оси абсцисс отложена безразмерная величина P — число расчетных шагов вдоль оси x от места выпуска до данного створа. Это величина определяется по формуле

$$P = \frac{x}{\Delta x} = \frac{8 x D H^2 v j^2}{Q_{\text{ст}}^2} \quad (7.48)$$

В продольном распределении максимальной концентрации можно выделить три участка. В пределах первого (АВ) наблюдается уменьшение $\tilde{S}_{\text{max}}$ от 1 у оголовков рассеивающего выпуска до некоторого значения $\tilde{S}_B$ в конце участка.

Поперечный профиль концентрации в пределах центральной струи представляет собой на этом участке симметричную волну. В процессе перемешивания происходит выравнивание концентрации в поперечном направлении. Створ, где выравнивание заканчивается, является замыкающим створом первого участка. Относительная длина участка P_{AB} и значение $\tilde{S}_B$ зависят от безразмерной величины K — числа расчетных клеток между оголовками рассеивающего выпуска:

$$K = \frac{L}{(j-1)\Delta y} = \frac{2LjHv}{(j-1)Q_{\text{ст}}} \quad (7.49)$$

На втором участке (ВС) происходит дальнейшее перемешивание и расширение загрязненной струи. Однако в центральной части этой струи имеется область, где концентрации выравниваются, поперечный градиент и соответственно диффузионный поток равны нулю. Вследствие этого максимальная концентрация остается постоянной.

На третьем участке (СД) наблюдается перемешивание уже по всей ширине загрязняемой струи и дальнейшее уменьшение максимальной концентрации.

С учетом рассмотренных изменений величин, характеризующих продольный профиль $\tilde{S}_{\text{max}}$, построена номограмма (рис. 7.15), которая позволяет определить максимальную концентрацию загрязняющего вещества в заданном створе как функцию трех безразмерных параметров. В верхней части номограммы по оси ординат отложены в логарифмическом масштабе значения $\tilde{S}_{\text{max}}$; в нижней части оси ординат (также в логарифмическом масштабе) — значения безразмерной величины P ; по оси абсцисс в том же масштабе — значения некоторого условного безразмерного расстояния $\tilde{P}$. Кривые в верхней части номограммы определяют зависимость $\tilde{S}_{\text{max}}$ от $\tilde{P}$ при различных значениях K . Нижняя часть номограммы служит для перехода от безразмерного расстояния P к соответствующему ему $\tilde{P}$ в зависимости от значений K и j . Линией

перехода для каждой пары значений K и j является ломаная, состоящая из следующих звеньев: а) отрезок биссектрисы координатного квадрата от начала координат (точка $P - \tilde{P} - 10$) до вертикальной прямой, соответствующей заданному значению K .

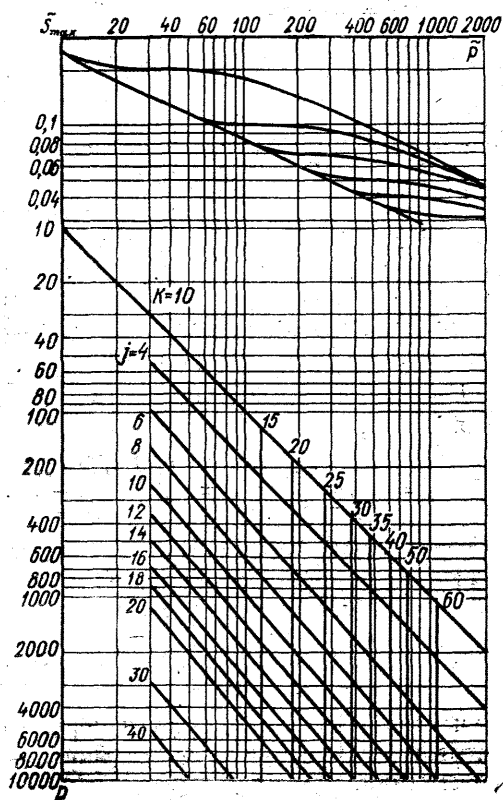


Рис. 7.15. Номограмма $\tilde{S}_{max} = f(j, K, P)$

Этот участок совпадает с участком АВ на рис. 7.14; б) участок вертикальной прямой от биссектрисы до пересечения с наклонной прямой линией, соответствующей заданному значению j (участок ВС); в) луч наклонной прямой вправо от упомянутого пересечения (участок СД). Примеры перехода от P к $\tilde{P}$ и от $\tilde{P}$ к $\tilde{S}_{max}$ при различных значениях P для заданных j и K показаны на рис. 7.16. При использовании номограммы следует по формулам (7.48) и (7.49) рассчитать значения K и P .

Рассчитанное значение K и заданное j позволяют выбрать нужную ломаную линию в нижней части номограммы. Затем из точки по оси ординат, соответствующей полученному значению P , необ-

ходимо провести горизонтальную линию до пересечения с ломаной и подняться из точек пересечения вертикально вверх до пересечения с кривой, соответствующей нужному значению K . Горизонтальная линия, проведенная из точки последнего пересечения к оси ординат, даст нужное значение $\tilde{S}_{\max}$.

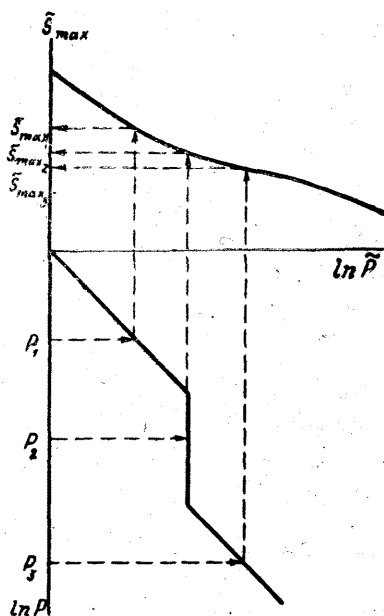


Рис. 7.16. Пример пользования номограммой для определения $\tilde{S}_{\max}$.

Пример расчета

В реку N сбрасываются сточные воды через рассеивающий выпуск. Расход сточных вод $Q_{\text{ст}} = 1 \text{ м}^3/\text{с}$, $S_{\text{ст}} = 100 \text{ мг/л}$, $S_p = 0$; $H_{\text{ср}} = 1,0 \text{ м}$, $B_{\text{ср}} = 100 \text{ м}$; $v_{\text{ср}} = 0,5 \text{ м}$; $C = 50 \text{ м}^{1/2}/\text{с}$. Число оголовков рассеивающего выпуска $j = 10$. Ширина фронта рассеивания (расстояние между крайними оголовками) $L = 10 \text{ м}$. Требуется определить значение максимальной концентрации загрязняющих веществ $S_{\max}$ на расстоянии 500 м от места сброса.

Решение.

1. Определяется величина коэффициента диффузии по формуле (7.3):

$$D = \frac{g H_{\text{ср}} v_{\text{ср}}}{MC} = \frac{9,8 \cdot 1 \cdot 0,5}{(0,7 \cdot 50 + 6) 50} = 0,003 \text{ м}^2/\text{с}.$$

2. Находим значение параметров K и P :

$$K = \frac{2 L j H_{\text{ср}} v_{\text{ср}}}{(j-1) Q_{\text{ср}}} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 0,5}{9 \cdot 1} = 11.$$

$$P = \frac{8 x D H_{\text{ср}}^2 v_{\text{ср}} j^2}{Q_{\text{ср}}^2} = \frac{8 \cdot 500 \cdot 0,003 \cdot 1^2 \cdot 0,5 \cdot 10^2}{1^2} = 600.$$

3. Определяем линию перехода на номограмме. Участок наклонной прямой, выходящей из начала координат, заканчивается в точке, соответствующей значению $K=11$ (эту точку находим путем интерполяции между $K=10$ и $K=15$). Из полученной точки опускается вертикальная прямая до пересечения с наклонной линией, соответствующей $j=10$, далее линией перехода будет отрезок этой наклонной.

4. Находим значение $\tilde{S}$ при помощи номограммы. Для этого из точки $P=600$ в нижней части оси ординат проводим прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с полученной линией перехода. Из точки пересечения поднимаемся вверх до пересечения с кривой, соответствующей $K=11$ (также определяется путем интерполяции), на оси абсцисс определяем $\tilde{S}=0,18$. Следовательно, искомое значение

$$\tilde{S}_{\text{max}} = 0,18 \cdot 100 = 18 \text{ мг/л.}$$

7.2.9. Методы расчета допустимых сбросов сточных вод в водные объекты

В основу решения задачи о предельно допустимых сбросах (ПДС) в реки, озера и водохранилища может быть положена концепция ПДК (предельно допустимых концентраций).

Критерии ПДК разработаны для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, а также для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Количественная оценка ПДС сточных вод в реки, озера и водохранилища осуществляется при учете вида водопользования, значимости водоема как природного объекта, вида сточных вод, характера и размещения сбросных сооружений и мест водопользования, а также особенностей гидрологического и гидродинамического режима водных объектов, их уровня и морфометрии русла или соответственно котловины, скоростей и направлений течений, интенсивности турбулентного перемешивания и т. д. При определении ПДС особо рассматриваются озера и водохранилища, для которых решение задачи оказывается более сложным, чем для водотоков. Это обусловлено большей сложностью гидролого-гидродинамического режима водоемов по сравнению с водотоками.

При планировании сброса сточных вод в реки и водоемы учитываются санитарные и рыбоохранные нормы, регламентирующие как концентрацию лимитирующих веществ в воде, так и расстояние от места сброса сточных вод до створа водопользования. При хозяйственно-питьевом и культурно-бытовом водопользовании состав и свойства воды должны удовлетворять нормативным требованиям на контрольном расстоянии 1000 м от пункта водопользования. Таким образом, если на лимитирующем расстоянии $x_{\text{л}}$ от выпуска по всем основным показателям достигается ПДК, то общее расстояние $x_{\text{общ}}$ между пунктами сброса и водопользования определяется суммой $x_{\text{общ}} = x_{\text{л}} + 1000$, откуда $x_{\text{л}} = x_{\text{общ}} - 1000$.

В водных объектах, используемых в рыбохозяйственных целях, состав и свойства воды в зависимости от требований рыбоохранны должны соответствовать норме в месте выпуска или на расстоянии не более 500 м от выпуска. Если выполняется первое из этих условий, то $x_{\text{л}} = 0$. Во втором случае $x_{\text{л}} \leq 500$.

При промышленном водоснабжении характеристики качества воды должны быть обеспечены в местах водозабора и определяться особыми ПДК, удовлетворяющими данный вид производства. В этом случае, если лимитирующие вещества поступают в водный объект со сточными водами, сбрасываемыми через организованный сброс, то расстояние между пунктами водозабора и сброса должно быть не больше $x_{\text{л}}$.

Нормирование сбросов в реки по концентрации в створе достаточного перемешивания. Решение поставленной задачи выполняется по одному лимитирующему веществу на основании уравнений баланса вещества, записываемых для всего потока в целом. Если водопользователь, сбрасывающий сточные воды в данную реку, берет воду из другого источника, уравнение баланса i -го вещества записывается в виде

$$S_{ni}(Q_p + Q_{\text{ст}}) = S_{\text{ст}, i} Q_{\text{ст}} + S_{p, i} Q_p. \quad (7.50)$$

Здесь S_{ni} — концентрация вещества в створе достаточного перемешивания; индекс «р» относится к естественным характеристикам водного объекта, индекс «ст» — к характеристикам сточных вод.

Если водопользователь берет воду с вышерасположенного участка той же реки, в которую производит сброс сточных вод, а расходы водозабора и сброса примерно равны, то уравнение баланса вещества записывается в виде

$$S_{ni} Q_p = S_{\text{ст}, i} Q_{\text{ст}} + S_{p, i} (Q_p + Q_{\text{ст}}). \quad (7.51)$$

В наиболее часто встречающемся случае $Q_p \geq Q_{\text{ст}}$, тогда уравнения (7.50) и (7.51) приводятся к одному виду:

$$S_{ni} Q_p = S_{\text{ст}, i} Q_{\text{ст}} + S_{p, i} Q_p. \quad (7.52)$$

Предельно допустимое состояние качества вод по i -му лимитирующему веществу в створе достаточного перемешивания отвечает равенству

$$S_{i\text{ пд}} = \text{ПДК}_i. \quad (7.53)$$

Если предельно допустимый секундный сброс лимитирующего вещества (г/с или кг/с) обозначить через $M_{i\text{ пд}}$, т. е. принять

$$M_{i\text{ пд}} = (S_{\text{ст } i} Q_{\text{ст}})_{\text{пд}}, \quad (7.54)$$

то из уравнения (7.52) получим расчетную формулу вида

$$M_{i\text{ пд}} = (\text{ПДК} - S_{p\text{ } i}) Q_p. \quad (7.55)$$

Формула показывает, что при $S_{p\text{ } i} \cong \text{ПДК}_i$ сброс i -го вещества в реку недопустим.

В случае, когда $Q_{\text{ст}}$ соизмерим с Q_p , для решения задач о ПДС используются уравнения (7.50) или (7.51). В обоих этих случаях предполагается, что при проектировании заранее задается расход сточных вод $Q_{\text{ст}}$ или концентрация лимитирующего вещества, которая может быть реально получена в результате очистки сточных вод.

Если предприятие, сбрасывающее в реку сточные воды, берет воду из другого водного объекта, то при использовании уравнения (7.51) находим

$$M_{i\text{ пд}} - \text{ПДК}_i Q_{\text{ст}} = (\text{ПДК}_i - S_{p\text{ } i}) Q_p, \quad (7.56)$$

или

$$M_{i\text{ пд}} = \text{ПДК}_i Q_p \left(\frac{Q_{\text{ст}}}{Q_p} + 1 - \frac{S_{p\text{ } i}}{\text{ПДК}_i} \right). \quad (7.57)$$

При водозаборе из той же реки (выше створа сброса) получаем

$$M_{i\text{ пд}} = \text{ПДК}_i Q_p \left(\frac{S_{p\text{ } i}}{\text{ПДК}_i} \frac{Q_{\text{ст}}}{Q_p} + 1 - \frac{S_{p\text{ } i}}{\text{ПДК}_i} \right). \quad (7.58)$$

Расчет по формулам (7.57) и (7.58) выполняется в нескольких вариантах при заданных значениях $Q_{\text{ст}}$ или $S_{\text{ст } i}$, окончательное решение принимается на основе технической или экономической целесообразности. Если $S_{p\text{ } i} < \text{ПДК}$ и $S_{\text{ст}} > \text{ПДК}$, предварительные вычисления ведутся по формуле (7.55).

Нормирование по нескольким веществам. При сбросе нескольких веществ одного ЛПВ предельно допустимая концентрация лимитирующих веществ в створе достаточного перемешивания определяется в соответствии с условием

$$\left(\sum_{i=1}^m \frac{S_{p\text{ } i}}{\text{ПДК}_i} \right)_{\text{пд}} = 1. \quad (7.59)$$

Для нормирования сброса по нескольким веществам одного ЛПВ используется обобщенный показатель вредности R . Для состава сточных вод он записывается в виде

$$R_{\text{ст}} = \frac{1}{S_{\text{ст}}} \sum_{i=1}^m \frac{S_{\text{ст } i}}{\text{ПДК}_i}. \quad (7.60)$$

Учитывая инвариантность R , записываем

$$\sum_{i=1}^m \frac{S_{n i}}{\text{ПДК}_i} = S_n R_{\text{ст}}. \quad (7.61)$$

Для предельного состояния левая часть этого выражения оказывается равной единице, т. е.

$$(S_n)_{\text{ПД}} = \frac{1}{R_{\text{ст}}}. \quad (7.62)$$

Если принять фоновую концентрацию S_p равной нулю, то из уравнения баланса получим

$$M_{m \text{ ПД}} = (S_{\text{ст}} Q_{\text{ст}})_{\text{ПД}} = (S_n)_{\text{ПД}} Q_p, \quad (7.63)$$

откуда

$$M_{m \text{ ПД}} = \frac{Q_p}{R_{\text{ст}}}. \quad (7.64)$$

Индекс m при M означает, что расчет дает суммарную массу всех m учитываемых веществ.

Нормирование сбросов по концентрации в створе недостаточного перемешивания.

а). Нормирование по одному веществу. Согласно «Правилам» [18] максимальная концентрация загрязняющего вещества $S_{\text{max}, i}$ на лимитирующем расстоянии от створа водопользования не должна превышать ПДК_i . Для этого створа должно удовлетворяться соотношение

$$\frac{S_{\text{max}, i}}{\text{ПДК}_i} \leq 1.$$

Значение $S_{\text{max}, i}$ связывается с $S_{\text{ст}, i}$ коэффициентом n , называемым кратностью разбавления. При отсутствии в водах реки рассматриваемого вещества ($S_{p i} = 0$) будем иметь

$$n_i = \frac{S_{\text{ст } i}}{S_{\text{max}, i}}. \quad (7.65)$$

Если $S_{p i} \neq 0$, то

$$n_i = \frac{S_{\text{ст } i} - S_{p i}}{S_{\text{max}, i} - S_{p i}}. \quad (7.66)$$

Предельная концентрация вещества в контрольном створе определяется равенством $S_{\max, i} = \text{ПДК}_i$. Учитывая это, из уравнения (7.66) получаем

$$M_{i \text{ пд}} = [n_{i \text{ пд}} (\text{ПДК}_i - S_{p i}) + S_{p i}] Q_{\text{ст}}. \quad (7.67)$$

Если $S_{p i} = 0$, то

$$M_{i \text{ пд}} = n_{i \text{ пд}} \text{ПДК}_i Q_{\text{ст}}. \quad (7.68)$$

б). Нормирование по концентрации нескольких веществ. Для этого случая используем общее выражение для кратности разбавления

$$n_{\text{общ}} = \frac{S_{\text{ст}} - S_p}{S_{\text{max}} - S_p}. \quad (7.69)$$

Расчетную формулу получаем в виде

$$M_{m \text{ пд}} = \frac{(n_{\text{общ}} Q_{\text{ст}})_{\text{пд}}}{R_{\text{ст}}} \left(\frac{S_p R_p}{n_{\text{общ пд}}} + 1 - S_p R_p \right), \quad (7.70)$$

а при $S_p = 0$ в виде

$$M_{m \text{ пд}} = \frac{1}{R_{\text{ст}}} (n_{\text{общ}} Q_{\text{ст}})_{\text{пд}}. \quad (7.71)$$

Величины $R_{\text{ст}}$ и $S_p R_p$ не зависят от абсолютных значений концентраций и расхода загрязняющих веществ в сточных водах. Они определяются относительными характеристиками содержания загрязняющих веществ в сточных водах и фоновыми гидрохимическими характеристиками речного потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беличенко Ю. П., Шведов М. М. Рациональное использование и охрана водных ресурсов. — М.: Россельхозиздат, 1986, с. 303.
2. Бесценная М. А., Орлов В. Г. Практикум по оценке загрязненности водных объектов. Учебное пособие. Л., изд. ЛПИ, 1983, с. 52 (ЛГМИ).
3. Бесценная М. А., Орлов В. Г. Использование, преобразование и охрана водных ресурсов. Учебное пособие. Л., изд. ЛПИ, 1979, с. 59. (ЛГМИ).
4. Воробьев Г. В. Водные проблемы СССР. Генеральные доклады V Всесоюзного гидрологического съезда, т. 1. Л., Гидрометиздат, 1986, с. 119—151.
5. Израэль Ю. А. Проблемы охраны природной среды и пути ее решения. — Л.: Гидрометеониздат, 1984, с. 46.
6. Караушев А. В., Меерович Л. Н., Серков Н. К. Моделирование зон распространения неконсервативных загрязняющих веществ в водоемах. — Тр. ГГИ, 1982, вып. 283, с. 116—125.
7. Караушев А. В. Вопросы регламентирования сбросов сточных вод в реки. — Тр. ГГИ, 1983, вып. 297, с. 91—102.
8. Колбасов О. С. Правовая охрана природы. — М.: Мысль, 1984, с. 3—31, 43—64.
9. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. — М.: Агропромиздат, 1985, с. 176—213, 243—293.
10. Меерович Л. Н., Шварцман А. Я. Определение максимальных концентраций загрязняющих веществ при сбросе сточных вод через рассеивающие выпуски. — Метеорология и гидрология, 1982, № 10, с. 89—96.

11. Лапшев Н. Н. Расчеты выпусков сточных вод. — М.: Стройиздат, 1977, с. 85.
12. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. — Л.: Гидрометеониздат, 1984 с. 39.
13. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод. Под редакцией А. В. Караушева. — Л.: Гидрометеониздат, 1981, с. 174.
14. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. — Л.: Гидрометеониздат, 1974, с. 575—606.
15. Никаноров А. М., Львов В. А., Каминский В. С. Контроль качества вод и их охрана. Генеральные доклады V Всесоюзного гидрологического съезда, т. II. Л., Гидрометеониздат, 1986, с. 3—26.
16. Охрана окружающей среды. Справочник. Л., 1978.
17. Охрана водных ресурсов. — М.: Колос, 1979, с. 247.
18. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. — М.: Минздрав СССР, 1975, с. 41.
19. Соколов А. А., Будыко М. И., Бабкин В. И. Водные ресурсы и водообеспеченность СССР в настоящем и будущем. Генеральные доклады V Всесоюзного гидрологического съезда, т. I. Л., Гидрометеониздат, 1986, с. 84—119.
20. Соколов А. А. Вода: проблемы на рубеже XXI века. — Л.: Гидрометеониздат, 1986, с. 3—87.
21. Воронков П. П. Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР. — Л.: Гидрометеониздат, 1970.
22. Скальскийкий Б. Г. Основные географические гидрохимические характеристики местного стока природных зон Европейской территории СССР — Тр. ГГИ 1966, вып. 137.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	—
ГЛАВА 1. Водные ресурсы СССР и их использование. Правовая охрана вод	7
1.1. Водные ресурсы СССР	—
1.2. Использование водных ресурсов	12
1.3. Правовая охрана природы	15
1.3.1. Вопросы правовой охраны природы	16
1.3.2. Правовая охрана вод	17
1.3.3. Правовая охрана малых рек	17
ГЛАВА 2. Формирование химического состава поверхностных вод. Принципы нормирования качества воды.	20
2.1. Общие сведения	—
2.2. Классификация природных вод по минерализации и химическому составу	22
2.3. Основные факторы формирования состава природных вод	24
2.4. Формирование химического состава речных вод	25
2.5. Принципы нормирования качества воды	37
ГЛАВА 3. Преобразование водных ресурсов под влиянием антропогенных факторов	39
3.1. Качественные и количественные изменения водных ресурсов под влиянием хозяйственной деятельности	—
3.1.1. Изменение качества воды в водотоках и водоемах под влиянием промышленности	40
3.1.2. Изменение качества воды под влиянием сброса коммунально-бытовых сточных вод	43
3.1.3. Изменение водных ресурсов под влиянием урбанизации	46
3.1.4. Влияние мелиоративных мероприятий на состояние водных ресурсов	48
3.2. Инженерные методы защиты вод от загрязнения	53
3.2.1. Очистка сточных вод в искусственных условиях	54
3.2.2. Очистка сточных вод в естественных условиях	56
3.2.3. Совершенствование технологии промышленности, сельского хозяйства, мелиоративных мероприятий в вопросах охраны водных ресурсов	57
ГЛАВА 4. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения. Организация системы наблюдения и контроля за качеством воды	60
4.1. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения	—
4.2. Организация системы наблюдения и контроля за качеством воды	63
4.3. Организация работ по наблюдению и контролю качества поверхностных вод	64
ГЛАВА 5. Методы обобщения гидрохимической информации и оценки качества воды	75
5.1. Статистические характеристики рядов гидрохимической информации	—
5.2. Система интегральных показателей для оценки загрязненности поверхностных вод	79

ГЛАВА 6. Вопросы экономики водоохранных мероприятий	88
6.1. О планировании использования и охраны водных ресурсов	—
6.2. Вопросы экономической эффективности водоохранных мероприятий	91
6.3. Компенсация ущербов при строительстве и использовании водохозяйственных комплексов	93
ГЛАВА 7. Основные методы расчета характеристик качества воды с учетом гидрологических факторов	95
7.1. Расчет основных гидрологических величин и гидравлических элементов, необходимых для расчета разбавления в реках и озерах	—
7.2. Практические методы расчета качества воды в реках и водоемах	102
7.2.1. Вычисление гидрологических показателей средней загрязненности и общей нагрузки потока консервативными загрязняющими веществами	103
7.2.2. Расчет кратности разбавления методом номограмм	106
7.2.3. Расчет разбавления сточных вод в реках по методу А. В. Караушева (плоская задача)	110
7.2.4. Комбинированный метод расчета разбавления сточных вод в реках	115
7.2.5. Упрощенные методы расчета разбавления сточных вод в реках	117
7.2.6. Расчет начального разбавления с учетом конструктивных особенностей сбросных устройств (метод ЛИСИ)	121
7.2.7. Расчет концентрации неконсервативных загрязняющих веществ в водоемах	125
7.2.8. Определение максимальных концентраций загрязняющих веществ при сбросе сточных вод через рассеивающие выпуски	127
7.2.9. Методы расчета допустимых сбросов сточных вод в водные объекты	132
Литература	136

Вадим Георгиевич Орлов
Борис Гдальевич Скакальский
Маргарита Александровна Бесценная
Алиса Яковлевна Шварцман
Лев Наумович Меерович

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Учебное пособие

Редактор О. С. Крайнова
Корректор Л. В. Ломакина

Сдано в набор 21.10.87.	Подписано в печать 02.06.88.	М-2713
Формат бумаги 60×90 ¹ / ₁₆ .	Бумага тип. № 2.	Лит. гарн. Печать высока
Печ. л. 8,7.	Уч.-изд. л. 8,0.	Тираж 800 экз.
	Зак. 443.	Цена 50 коп.
		Темплан 1988 г. поз. 26

ЛПИ им. Калинина. 195251, Ленинград, Политехническая ул., 29

Типография ВСОК ВМФ