

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**О.Г. Савичев, К.И. Кузеванов,
А.А. Хващевская, В.В. Янковский**

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ: МЕТОДЫ РАСЧЁТА ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТ- НЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СУШИ. ЧАСТЬ I

*Допущено Учебно-методическим объединением
по профессионально-педагогическому образованию
в качестве учебного пособия для слушателей институтов
и факультетов повышения квалификации, преподавателей,
аспирантов и других профессионально-педагогических работников*

2-е издание

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 550.42: 577.4
ББК 26.22
М00

Савичев О.Г.

М00 Экологическое нормирование: методы расчёта допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. Часть I / О.Г. Савичев, К.И. Кузеванов, А.А. Хващевская, В.В. Янковский. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 108 с.

ISBN 0-00000-000-0

В пособии рассмотрены цель и задачи одного из важных этапов экологического нормирования – определения фонового химического состава поверхностных вод и нормирования сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. Изложены сведения об общепринятых методах расчета и приведены примеры их использования. Рассмотрены необходимые нормативно-правовые документы, регламентирующие водопользование.

Предназначено для студентов и аспирантов вузов обучающихся по специальности 320600 – «Комплексное использование и охрана водных ресурсов» по направлению «Природообустройство».

УДК 550.42: 577.4
ББК 26.22

Рецензенты

Кандидат химических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории изучения природных лечебных ресурсов Томского НИИ курортологии и физиотерапии

Н.К. Джабраилова

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института оптики атмосферы СО РАН

С.Л. Бондаренко

ISBN 0-00000-000-0

© Савичев О.Г., Кузеванов К.И., Хващевская А.А., Янковский В.В., 2009

© Томский политехнический университет, 2009

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

Введение

В соответствии с действующим водным законодательством Российской Федерации (РФ), целями государственного управления водными ресурсами являются: 1) обеспечение прав граждан на чистую воду и благоприятную водную среду; 2) поддержание оптимальных условий водопользования; 3) поддержание качества поверхностных и подземных вод в состоянии, отвечающем санитарным и экологическим требованиям; 4) защита водных объектов от загрязнения, засорения и истощения; 5) предотвращение или ликвидация вредного воздействия вод; 6) сохранение биологического разнообразия водных экосистем. Одним из инструментов, обеспечивающих их достижение, является механизм нормирования допустимых воздействий хозяйственной и иной деятельности на поверхностные водные объекты [12]. Важнейшая часть этого механизма – процедура разработки нормативов допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ (ЗВ) и микроорганизмов в поверхностные водные объекты, призванная смягчить последствия одного из видов водопользования – водоотведения.

Согласно [40, 42], нормативы НДС устанавливаются для водохозяйственного участка или для отдельных выпусков сточных вод проектируемых, реконструируемых и действующих предприятий-водопользователей с учётом предельно допустимых концентраций веществ (ПДК) в местах водопользования, ассимилирующей способности водного объекта и оптимального распределения массы сбрасываемых веществ между водопользователями, сбрасывающими сточные воды. При этом под водохозяйственным участком понимается часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и другие параметры использования водного объекта, а под ассимилирующей способностью – способность водного объекта принимать определенную массу вещества в единицу времени без нарушения нормативов качества воды в контролируемом створе.

В общем случае величина НДС отдельного выпуска сточных вод определяется как произведение их расхода q_{cm} на допустимую концентрацию загрязняющего вещества $C_{ст.дк}$. Обычно предполагается, что величина q_{cm} задана оптимально, исходя из действующих нормативов водоотведения. Поэтому основной задачей определения нормативов НДС достаточно часто является объективная оценка допустимой концентрации веществ в сточных водах. Однако существующие способы расчета $C_{ст.дк}$ не безупречны как с теоретической, так и с практической точек зрения, что определяет актуальность их дальнейшего совершенствова-

ния с учетом опыта нормирования антропогенных воздействий на территории Российской Федерации. В то же время, водохозяйственная практика требует решения задач оценки допустимых сбросов ЗВ уже сейчас, а не в отдаленном будущем. Причем от объективности этой оценки зависит не только функционирование отдельных предприятий или даже отраслей, но и социально-экономическое развитие целых регионов России.

1. Подходы и принципы оценки допустимых сбросов загрязняющих веществ

1.1. Математические модели процессов формирования химического состава вод

Для решения многочисленных фундаментальных и прикладных задач, включая задачи нормирования сбросов веществ в водные объекты, необходимо математическое описание процессов формирования химического состава поверхностных вод. Исследования в этом направлении проводятся достаточно давно, и в настоящее время, согласно [29], используются четыре основных вида математических моделей: 1) транспортные (моделирование переноса «консервативных» примесей без учета химических взаимодействий, адсорбции и т.д.); 2) геомиграционные (моделирование и переноса, и физико-химических взаимодействий); 3) термодинамические (моделируются, прежде всего, химические взаимодействия без учета времени); 4) кинетические (моделируются химические взаимодействия с учетом времени).

В практике нормирования сбросов веществ в водные объекты наибольшее распространение получили геомиграционные модели, которые основываются на упрощении системы дифференциальных уравнений неразрывности жидкости, Навье-Стокса, тепло- и массопереноса в водных массах и донных отложениях:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) + g_x, \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_y}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) + g_y, \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + g_z, \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{T,x} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{T,y} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{T,z} \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) + f_* \mathbf{C}^-, \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial T_\delta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{T\delta,x} \cdot \frac{\partial T_\delta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{T\delta,y} \cdot \frac{\partial T_\delta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{T\delta,z} \cdot \frac{\partial T_\delta}{\partial z} \right) + \psi_* \mathbf{C}_{\delta}^-, \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_i}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial C_i}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial C_i}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{C,x} \cdot \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{C,y} \cdot \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{C,z} \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + f(C_1, \dots, C_N), \end{aligned} \quad (1.7)$$

$$\frac{\partial C_{\delta,i}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{\delta,x} \cdot \frac{\partial C_{\delta,i}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{\delta,y} \cdot \frac{\partial C_{\delta,i}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{\delta,z} \cdot \frac{\partial C_{\delta,i}}{\partial z} \right) + \psi \mathbf{C}_{\delta,1}, \dots, C_{\delta,N}^-, \quad (1.8)$$

где t – координата времени; x, y, z – координаты пространства; v_x, v_y, v_z – компоненты скорости жидкости; g_x, g_y, g_z – компоненты вектора плотности массовой силы; η – коэффициент кинематической вязкости жидкости; P – давление; T и T_δ – температура жидкости и донных отложений; C_i и $C_{\delta,i}$ – концентрация i -о вещества из N компонентов химического состава жидкости и донных отложений (далее могут использоваться обозначения C и C_δ); $D_{C,j}$ и $D_{T,j}$ – коэффициенты турбулентной диффузии вещества и теплопроводности жидкости в j -м направлении; $D_{\delta,j}$ и $D_{T\delta,j}$ – коэффициенты диффузии вещества и теплопроводности донных отложений в j -м направлении; f и f_* – функции источника вещества и тепла в жидкости соответственно; ψ и ψ_* – функции источника вещества и тепла в донных отложениях соответственно [10, 34].

Функция источника вещества в общем случае зависит от решения нелинейных уравнений, описывающих химические равновесия, сорбционные процессы, массоперенос между фазами; может иметь вид $f(C_1, \dots, C_N) = \sum_l \prod_i C_i^{m_i}$, где m_i – стехиометрический коэффициент; L – количество учитываемых химических реакций, протекающих в водной

среде. Например, для обратимой реакции типа $m \cdot [B] \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} [C]$ функция

$f(B, C)$ для вещества B может быть записана в виде уравнения для скорости реакции: $f(B, C) = \frac{d[B]}{dt} = -k_1 \cdot [B]^m + k_2 \cdot [C]$. Следует отметить, что

преобразование уравнения (1.7) к выражению вида $f(B, C)=0$ при ряде допущений представляет собой реализацию термодинамического метода моделирования, широко применяемого при изучении подземных вод и относительно редко и избирательно – при исследовании поверхностных водных объектов.

Методология моделирования гидрохимических процессов на основе положений химической термодинамики и представлении о частичных или локальных равновесиях детально описаны в работах Р.В. Гаррелса, Г. Хелгесона, А. Ласага, С.Р. Крайнова, В.М. Швеца, Б.Н. Рыженко, В.Г. Румынина, И.К. Карпова, Ю.В. Шварова, В.А. Мироненко, М.Б. Букаты и др., в частности в работах [2, 5, 15, 19, 25, 30, 31, 46, 80 и др.]. При этом используются два основных подхода, базирующихся на методе минимизации свободной энергии Гиббса и решении системы уравнений термодинамических констант равновесий при соблюдении баланса масс. Согласно сложившимся представлениям, если в частной закрытой гетерогенной системе отсутствует движение воды или его скорость стремится к нулю, то равновесное состояние является конечным для этой системы, причем степень приближения определяется соотношением скоростей химических реакций и скоростей движения воды [30]. С учетом этого в реальных гидрохимических системах наблюдаются только частичные или локальные равновесия.

Несколько иной точки зрения придерживается ряд других авторов, в частности, С.Л. Шварцев [2, 80], по мнению которого «... в системе вода – порода, взятой целиком, невозможно установление равновесия даже в том случае, если вода абсолютно неподвижна, а диффузионные процессы крайне замедлены. В то же время вода при любых скоростях ее движения всегда равновесна с определенным комплексом вторичных минералов, который в этих условиях формируется. И это происходит не локально, а регионально всюду, где есть вода и порода» [2, с. 109-110]. Данный вывод хорошо подтверждается не только для подземных, но и поверхностных (в том числе, болотных) вод [4, 58, 63]. Тем не менее, как уже отмечалось выше, в случае поверхностных вод термодинамические модели пока имеют весьма ограниченное распространение, связанное в основном с расчетами величины рН, содержания CO_2 и макрокомпонентов [17, 21, 73].

Очевидно, что решение системы уравнений (1.1-1.8) – задача исключительно сложная, в связи с чем многими авторами иногда рассматривается упрощенная система одномерных уравнений [11, 16, 20, 48, 70, 75, 78, 83, 85 и др.]: уравнения Сен-Венана; одномерное уравнение турбулентной диффузии вещества в водном потоке; одномерное уравнение диффузии вещества в донных отложениях:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_*, \quad (1.9)$$

$$i_0 - \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v^2}{C_{uu} \cdot R}, \quad (1.10)$$

$$\frac{\partial \mathbf{C} \cdot \omega}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{C} \cdot Q}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_c \cdot \omega \cdot \frac{\partial \mathbf{C}}{\partial x} \right) + q_* \cdot C_* - f \mathbf{C}, \quad (1.11)$$

$$\frac{\partial C_o}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_o \cdot \frac{\partial C_o}{\partial z} \right) + \psi \mathbf{C}_o, \quad (1.12)$$

где ω – площадь живого сечения водного потока; Q – расход воды потока; q_* – боковой приток воды в водный объект; C_* – концентрация рассматриваемого вещества в водах, поступающих на участок в размере q_* ; R – гидравлический радиус потока; h – глубина потока; C_{uu} – коэффициент Шези; i_0 – уклон дна потока; g – ускорение свободного падения; v – скорость течения воды.

В ряде случаев функция источника может быть приближенно представлена в виде:

$$f(C) = -k_* \cdot A \cdot C, \quad (1.13)$$

или

$$f(C) = -k_* \cdot A \cdot (C - Y), \quad (1.14)$$

где Y – величина, обычно характеризующая либо фактическую концентрацию вещества в донных отложениях, либо равновесное содержание в растворе; k_* – удельная скорость поступления вещества; A – площадь взаимодействия водных масс с веществом. Согласно [86], величина A обратно пропорциональна диаметру частиц породы, соприкасающихся с водой, и плотности минерала, в них содержащегося. Для взвешенных наносов формула определения площади A_i взаимодействия воды с i -ым минералом принимает вид:

$$A_i = S_g \cdot \frac{6 \cdot \alpha_{m,i}}{\rho_{m,i} \cdot d_s}, \quad (1.15)$$

где $\alpha_{m,i}$ – коэффициент, учитывающий процентное содержание i -го минерала; $\rho_{m,i}$ – плотность i -го минерала; d_s – диаметр взвешенных частиц; S_g – содержание взвешенных веществ. Очевидно, что достоверно оце-

нить удельную скорость перехода в раствор и площадь взаимодействия с водой каждого минерала в конкретный момент времени весьма сложно. Поэтому в ряде случаев в уравнения (1.13, 1.14) вводятся площадь живого сечения ω и константа k , учитывающая различие между величинами ω и A , либо единственный параметр – k_c .

Использование системы уравнений (1.9-1.12) также сопряжено с многочисленными затруднениями [9, 66]. Поэтому для получения приемлемых для практического использования расчетных зависимостей обычно рассматривается система усеченных уравнений неразрывности потока вещества и воды, записанных с помощью уже не частных производных, а в полных дифференциалах:

$$\frac{dQ}{dx} = q_*, \quad (1.16)$$

$$\frac{d(Q \cdot C)}{dx} = q_* \cdot C_*, \quad (1.17)$$

причем подобные уравнения могут описывать приток в водный объект и сточных, и природных вод. Интегрирование этих уравнений приводит к уравнению материального баланса (1.18), которое применительно к потоку сточных вод $C_{cm} \cdot q_{cm}$ преобразуется к виду (1.19):

$$C_x \cdot Q_x = C_\phi \cdot Q_\phi \cdot \gamma + C_{cm} \cdot q_{cm}, \quad (1.18)$$

$$C_x = \frac{C_\phi \cdot Q_\phi \cdot \gamma + C_{cm} \cdot q_{cm}}{Q_\phi \cdot \gamma + q_{cm}}, \quad (1.19)$$

где C_x и Q_x – концентрация вещества в воде и расход воды в контрольном створе, расположенном на расстоянии X от выпуска сточных вод (притока); C_ϕ и Q_ϕ – концентрация вещества в воде и расход воды до поступления бокового притока или сточных вод; C_{cm} и Q_{cm} – концентрация вещества в сточных водах и их расход; γ – коэффициент смешения, характеризующий долю расхода воды в реке, которая смешивается со сточными водами (водами притока).

Полагая, что деструкция вещества в водном потоке описывается линейным дифференциальным уравнением первого порядка (1.20), производится совмещение решения этого уравнения в виде зависимости (1.21) и уравнения (1.19), результатом чего является выражение (1.22) [3, 73]:

$$\frac{dC}{dt} = -k_c \cdot C, \quad (1.20)$$

$$C = C_0 \cdot \exp(-k_c \cdot t), \quad (1.21)$$

$$C_x = \frac{C_\phi \cdot Q_\phi \cdot \gamma + C_{cm} \cdot q_{cm}}{Q_\phi \cdot \gamma + q_{cm}} \cdot \exp(-k_c \cdot t), \quad (1.22)$$

где C_0 – концентрация вещества в начальный момент времени $t=0$, например, в момент смешения природных и сточных вод; C_x – концентрация вещества в контрольном створе исследуемого водного объекта. Величина k_c в общем случае зависит от температуры водной среды и может быть определена по данным наблюдений с использованием (1.21, 1.22) или по специальным таблицам с учетом температуры воды [39, 40, 44, 73].

Уравнение (1.22) после замены $C_x = \text{ПДК}$ и с учетом выражения для кратности основного разбавления n_o (1.23) нетрудно преобразовать к виду (1.24) или к более привычной форме (1.25), используемой для расчета допустимых концентраций вещества в сточных водах $C_{cm.ок}$ [73]:

$$n_o = \frac{\gamma \cdot Q_\phi + q_{cm}}{q_{cm}}, \quad (1.23)$$

$$C_{cm.ок} = \text{ПДК} \cdot n_o \cdot \exp(-k_c \cdot t) - (n_o - 1) \cdot C_\phi, \quad (1.24)$$

$$C_{cm.ок} = n_o \cdot (\text{ПДК} \cdot \exp(-k_c \cdot t) - C_\phi) + C_\phi. \quad (1.25)$$

В общем случае в формуле (1.25) используется кратность не основного (n_o), а общего разбавления (n), связанную с параметром n_o выражением (1.26), а с концентрациями вещества в сточных и поверхностных водах – соотношением (1.27):

$$n = n_o \cdot n_n, \quad (1.26)$$

$$n = \frac{C_{cm} - C_\phi}{C_{x,max} - C_\phi}, \quad (1.27)$$

где $C_{x,max}$ – максимальная концентрация вещества в расчетном створе (ниже по течению притока природных или сточных вод); n_n – кратность начального разбавления [7, 21, 35]. Основное разбавление происходит благодаря турбулентному обмену в водном объекте, а начальное – вследствие увлечения окружающей жидкости турбулентным струйным потоком, образующимся при истечении сточных вод из оголовка выпуска. Границей начального разбавления является сечение, где разность скоростей струйного потока и окружающей среды становится незначительной [35]. Практические методы расчета общего, основного и начального разбавления приведены в главе 3.

Таким образом, базовое уравнение для расчета допустимой концентрации рассматриваемого вещества в сточных водах имеет вид (1.28), а для расчета величины НДС – (1.29):

$$C_{cm.ок} = n \cdot (\text{ПДК} \cdot \exp(-k_c \cdot t) - C_\phi) + C_\phi. \quad (1.28)$$

$$\text{НДС} = q_{\text{см}} \cdot C_{\text{см.дк}} \quad (1.29)$$

где $q_{\text{см}}$ – максимальный часовой расход сточных вод, м³/с; $C_{\text{см.дк}}$ – в г/м³.

Данная модель, на первый взгляд, отличается простотой и характеризует основные процессы антропогенной трансформации химического состава поверхностных вод за счет их смешения со стоками и деструкции загрязняющих веществ. Однако это не совсем верно из-за целого ряда причин. Перечислим лишь некоторые из них: 1) в модели с целью учета разнообразных природно-техногенных условий используются многочисленные коэффициенты, определение которых приводит к неоправданному усложнению расчетов и накоплению погрешности расчетов; 2) изменение концентраций веществ далеко не всегда может быть описано уравнением (1.22); 3) в настоящее время отсутствует теоретическое обоснование способа расчета параметра C_{ϕ} в уравнении (1.28), имеющего смысл фоновой концентрации [62, 63].

Согласно [40], под «фоновой» понимается концентрация вещества, сформировавшаяся под влиянием природных факторов, не входящих в хозяйственное звено круговорота воды, включающее возвратные воды всех видов (сточные, сбросные, дренажные). На практике за фоновую концентрацию вещества C_{ϕ} принимается статистически обоснованная верхняя доверительная граница среднего содержания этого вещества, рассчитанная с доверительной вероятностью 95 % по результатам гидрохимических наблюдений в створе, расположенном выше по течению от выпуска сточных вод. Если между расходом воды и концентрацией рассматриваемого вещества существует статистически значимая связь, то расчет проводится по формуле (1.30), а если нет – то по формуле (1.31):

$$C_{\phi} = C(Q_{95\%}) + \frac{Z_{k,\alpha} \cdot \sigma_R}{\sqrt{M}}, \quad (1.30)$$

$$C_{\phi} = \bar{C}_m + \frac{Z_{k,\alpha} \cdot \sigma}{\sqrt{M}}, \quad (1.31)$$

где $C(Q_{95\%})$ – концентрация вещества, определенная по регрессионной зависимости при минимальном среднемесечном расходе воды в год с водным стоком обеспеченностью 95 %; $Z_{k,\alpha}$ – критическое значение коэффициента Стьюдента при уровне значимости $\alpha=5\%$; M – длина ряда гидрохимических наблюдений; σ – среднее квадратическое отклонение концентрации вещества; σ_R – средняя квадратическая погрешность расчета концентрации вещества от расхода воды по регрессионной зависимости; \bar{C}_m – среднее арифметическое значение концентрации вещества в

водном объекте в период года, наиболее неблагоприятный с точки зрения самоочищения [44].

Процедура вычисления фоновых концентраций, как и расчет параметра n , существенно осложняется использованием ряда поправок и допущений, в результате чего на практике их определение нередко сводится к использованию формулы (1.31) для зимнего периода. Но самое главное, в настоящее время нет методики определения антропогенной и природной составляющих C_f , особенно для случаев, когда фоновая концентрация больше предельно допустимой. В этом случае громоздкие вычисления оказываются ненужными, так как в нормативных документах указывается на целесообразность в подобных случаях проводить расчет нормативов ПДС на основе предельно допустимых концентраций ($C_{ст.ок}$ =ПДК). Кроме того, следует отметить, что в настоящее время разработан и действует на всей территории России нормативный документ только для расчета фоновых концентраций в водотоках, методика расчета фоновых концентраций в озерах и водохранилищах в весьма сокращенном виде присутствует в [40], а расчет фоновых концентраций в болотных водах регламентирован только на территории отдельных субъектов РФ.

Помимо указанных, существует еще целый ряд нерешенных вопросов, касающихся подготовки и использования гидрохимической и гидрологической информации, выбора нормируемых показателей, выявления вклада природных и антропогенных факторов в формирование химического состава поверхностных вод и т.д. Тем не менее, проблема объективного определения допустимых сбросов ЗВ в поверхностные водные объекты требует своего решения. С учетом этого и в соответствии с положениями нормативных документов [40, 42] вкратце рассмотрим последовательность расчета ПДС.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Какие виды математических моделей формирования химического состава поверхностных вод вам известны?
2. Запишите одномерное уравнение турбулентной диффузии вещества в потоке.
3. Запишите уравнение материального баланса для водотока – приемника сточных вод, содержащих консервативную и неконсервативную примесь.
4. Дайте определение понятий НДС и ПДК, запишите уравнение для расчета НДС.

5. Запишите основное уравнения для расчета допустимой концентрации неконсервативного вещества в сточных водах, поступающих в водный объект.
6. Объясните смысл определения кратности общего, основного и начального разбавления.

1.2. Алгоритм расчета НДС ЗВ

Для определения величины НДС ЗВ в поверхностные водные объекты требуется решить следующие задачи.

Во-первых, необходимо выбрать схему расчета НДС: а) для водохозяйственного участка; б) для отдельного водопользователя. Согласно [40, 42], локальный способ применяется в случаях отсутствия утвержденных в установленном порядке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. При наличии указанных нормативов значения НДС для водопользователей в пределах рассматриваемого водохозяйственного участка определяются из условия:

$$\Sigma \text{НДС} + \Sigma \text{Lim} < 0,8 \cdot \text{НДВ}_{\text{химупр}}, \quad (1.32)$$

где $\Sigma \text{НДС}$ – сумма нормативов допустимых сбросов по выпускам сточных вод в пределах расчётного водохозяйственного участка, т/год; $\Sigma \text{НДС}$ – сумма лимитов на сброс ЗВ в пределах расчётного водохозяйственного участка, т/год; $0,8 \cdot \text{НДВ}_{\text{химупр}}$ – 80 % от норматива допустимого воздействия, установленного для расчётного водохозяйственного участка, т/год;

Во-вторых, следует оценить условия сброса сточных вод в водный объект и выбрать нормируемые показатели. Условия сброса сточных вод заключаются в определении местоположения выпуска, необходимости его обустройства, установлении режима сброса и т.д. При этом в состав исходной информации, необходимой для проведения расчетов, входят [40]:

- 1) схема водопотребления и водоотведения с указанием источников образования сточных вод;
- 2) схема расположения выпусков сточных вод в водный объект;
- 3) сведения о водопользователе;
- 4) гидравлическая характеристика выпуска и водоприемника;
- 5) сведения о водном объекте-водоприемнике (при необходимости проводятся наблюдения в соответствии с ГОСТ и нормативными документами Росгидромета, Госстроя и МПР РФ [18, 38, 43, 44, 45, 49, 50, 67, 68, 69]);

- б) сведения о сточных водах, сбрасываемых в водный объект (наблюдения за составом сточных вод проводятся с учетом требований [18, 23, 38]);
- 7) нормативы качества воды, принимаемые при нормировании [51, 54, 64, 65].

На первый взгляд, содержание и объем этих материалов очевидны и не должны вызывать особые вопросы. Однако на практике они достаточно часто возникают у весьма многих водопользователей. Например, достаточно часто встает вопрос о составе перечня нормируемых показателей. Понятно, что любая хозяйственная деятельность сопряжена с усилением природных миграционных циклов или созданием техногенных циклов для огромного количества веществ. Если для них всех разрабатывать нормативы, то это парализует или ликвидирует практически любое производство, в связи с чем еще раз возникает вопрос о приоритетах использования и охраны природных ресурсов. Выход из этой ситуации ряду специалистов видится *в нормировании только тех веществ, для которых зафиксированы случаи превышения ПДК*.

Но на территории России в поверхностных водах присутствуют компоненты, концентрации которых, независимо от антропогенной нагрузки, почти всегда больше нормативов (вещества, идентифицируемые как нефтепродукты, железо, медь и т.д.). Некоторые из них могут иметь природное происхождение, но документ, регламентирующий разработку регионального норматива содержания или однозначно определяющий метод обоснования происхождения вещества в природных вод (природного, природно-антропогенного, антропогенного), в настоящее время отсутствует, что не позволяет разработать и сами нормативы. Поэтому очень часто априори предполагается, что все вещества в концентрациях больше ПДК имеют антропогенное происхождение. Следовательно, весь расчет НДС сводится к умножению значений расхода сточных вод на величину ПДК. Следует также отметить, что при использовании различных методик определения могут быть получены совершенно разные результаты, причем более точный, но, как правило, и более дорогой метод часто позволяет получить содержание вещества менее ПДК, а более распространенный, но менее точный – больше ПДК [59, 63].

В-третьих, необходимо оценить состояние водного объекта до и после воздействия от рассматриваемого выпуска сточных вод. Прежде всего, необходимо установить границы оцениваемого участка водного объекта – «фоновый» и контрольный створы. Местоположение первого из них определяется на водотоках в соответствии с [44], а второго – исходя из вида водопользования с учётом [40, 42]. Так, для питьевого и

хозяйственно-бытового водопользования нормативы качества воды в водотоках должны быть достигнуты в створе за 1 км выше по течению от ближайшего пункта водопользования, а в водоемах – на акватории в радиусе 1 км от пункта водопользования, а для рыбохозяйственного водопользования нормативы следует соблюдать, начиная с контрольного створа, расположенного не далее 500 м от места сброса сточных вод (в черте населенного пункта НДС устанавливают, исходя из отнесения нормативных требований к составу и свойствам воды водных объектов к самим сточным водам, а при сбросе сточных вод в водный объект через рассеивающие выпуски нормативы качества воды должны обеспечиваться в створе начального разбавления выпуска сточных вод).

Следующий этап – оценка влияния рассматриваемого источника загрязнения на состояние водного объекта. Обычно он сопряжен с рассмотрением двух важных вопросов:

- 1) как выявить генезис нормируемого вещества в поверхностных водах;
- 2) как именно оценить качество поверхностных вод.

В отечественной научной и нормативной литературе закреплен подход, в соответствии с которым в контрольном створе для группы из M веществ с одинаковым лимитирующим признаком вредности (ЛПВ) должно соблюдаться условие [56, 65, 79]:

$$\sum_i^M \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1. \quad (1.33)$$

Уточненная формулировка этого подхода с учетом наличия L источников загрязнения и кратности разбавления стоков n_j ($j=1, \dots, L$) приведена в работе [33]:

$$\sum_i^M \frac{C_{\phi,i}}{ПДК_i} + \sum_j^L \frac{1}{n_j} \cdot \left(\sum_i^M \frac{C_{cm,i,j}}{ПДК_i} - \sum_i^M \frac{C_{\phi,i}}{ПДК_i} \right) \leq 1. \quad (1.34)$$

В-четвертых, проводится выбор метода расчета ПДС, обоснование его применимости и собственно расчет. Как указывалось выше, в черте населенного пункта и при «фоновых» концентрациях недоказанного генезиса, превышающих ПДК, допустимая концентрация ЗВ в сточных вод просто приравнивается ПДК. В прочих случаях применяются методы расчета НДС, основанные на аналитическом или численном решении уравнения турбулентной диффузии. Все эти методы разработаны при определенных допущениях, а поэтому имеют те или иные ограничения по использованию. Так, метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера для водотоков может применяться только при условии $0,0025 \leq q_{cm}/Q \leq 0,1$ [40]. Согласно [21], расчет основного разбавления в водоеме по методу М.А. Руффеля ограничен участком протяженностью до 20 км при вы-

пуске в верхнюю треть глубины или мелководье и до 500 м при выпуске в нижнюю треть глубины и т.д.

В-пятых, в случае превышения расчетных значений ПДС должен быть разработан план мероприятий по снижению сбросов этих веществ, выполнены обоснование и расчет временно согласованных сбросов (ВСС). Данный этап разработки проекта нормативов ПДС представляет, по-сути, самостоятельную проблему и в данном учебном пособии не рассматривается (вопросы очистки сточных вод подробно изложены в многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов [21, 26, 32, 37, 71, 74, 81 и др.]). Отметим лишь, что очень часто допустимые содержания нормируемых веществ в сточных водах приравниваются к ПДК. Добиться достижения последних в ряде случаев невозможно по экономическим соображениям, поскольку стоимость очистки стоков в ряде случаев делает невозможным рентабельное производство, причем не в единичных случаях, а как минимум, в масштабе целых регионов.

В заключение следует отметить, что достоверность существующих подходов к определению НДС в значительной мере определяется достоверностью исходной информации. Для ее получения, в свою очередь, требуется организация и проведение режимных гидрохимических и гидрологических наблюдений.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Перечислите основные задачи расчета НДС.
2. Дайте определение понятия «фоновая концентрация» вещества в поверхностных водах.
3. Назовите критерии оценки качества поверхностных вод.
4. На каком расстоянии от выпуска сточных вод в водоток должны располагаться контрольный и фоновый створы?
5. На каком расстоянии от выпуска сточных вод в водоем должны располагаться контрольный и фоновый створы?
6. Напишите уравнение для расчета фоновой концентрации в поверхностных водах при наличии зависимости между концентрацией рассматриваемого вещества и расходом воды.
7. Напишите уравнение для расчета фоновой концентрации в поверхностных водах при отсутствии зависимости между концентрацией рассматриваемого вещества и расходом воды.

1.3. Определение расчетного расхода воды

При определении кратности основного разбавления в водотоке требуется предварительно найти расчетный расход воды, представляющий

собой минимальный среднемесячный расход воды в год с обеспеченностью годового водного стока 95 %. Для его определения производится ранжирование ряда среднегодовых расходов воды исследуемой реки по убыванию и расчет эмпирической обеспеченности по формуле:

$$P = \frac{m}{N+1} \times 100 \%, \quad (1.35)$$

где m – порядковый номер элемента в ранжированном ряду; N – длина ряда. Затем выбирается год, когда наблюдался среднегодовой расход близкой обеспеченности. По данным за этот год производится выбор минимального среднемесячного расхода воды, который и используется в качестве расчетного. В качестве примера в таблицах 1.1-1.3 приведены последовательность и результаты определения минимального среднемесячного расхода воды р. Кеть у п. Максимкин Яр (Томская область) в год с обеспеченностью годового стока 95 %.

Таблица 1.1. Среднегодовые расходы воды р. Кеть у п. Максимкин Яр, м³/с

Год	Среднегодовой расход воды $Q_{г}$, м ³ /с
1937	252
1938	230
1939	235
1940	164
1941	302
1942	198
1943	172
1944	187
1945	185
1946	235
1947	280
1948	281
1949	312
1950	229
1951	263
1952	204
1953	194
1954	214
1955	193

Продолжение табл. 1.1.

Год	Среднегодовой расход воды Q_2 , м ³ /с
1956	230
1957	244
1958	223
1959	317
1960	391
1961	295
1962	299
1963	271
1964	236
1965	217
1966	278
1967	243
1968	167
1969	257
1970	252
1971	294
1972	309
1973	333
1974	223
1975	258
1976	161
1977	189
1978	280
1979	287
1980	192
1981	167
1982	171
1983	272
1984	258
1985	264
1986	231
1987	217

В случае, когда данные наблюдений отсутствуют, для определения расчетного расхода воды следует воспользоваться методами, предусмотренными в СП 33-101-2003 для расчета основных гидрологических характеристик при недостаточности или отсутствии данных наблюдений.

Таблица 1.2. Расчет эмпирической обеспеченности среднегодовых расходов воды р. Кеть у п. Максимкин Яр

Год	Среднегодовой расход воды Q_z , $\text{м}^3/\text{с}$	Порядковый номер в ранжированном ряду m	Эмпирическая обеспеченность P
1	2	3	4
1960	391	1	1,9
1973	333	2	3,8
1959	317	3	5,8
1949	312	4	7,7
1972	309	5	9,6
1941	302	6	11,5
1962	299	7	13,5
1961	295	8	15,4
1971	294	9	17,3
1979	287	10	19,2
1948	281	11	21,2
1978	280	12	23,1
1947	280	13	25,0
1966	278	14	26,9
1983	272	15	28,8
1963	271	16	30,8
1985	264	17	32,7
1951	263	18	34,6
1975	258	19	36,5
1984	258	20	38,5
1969	257	21	40,4
1970	252	22	42,3
1937	252	23	44,2
1957	244	24	46,2
1967	243	25	48,1
1964	236	26	50,0
1939	235	27	51,9
1946	235	28	53,8
1986	231	29	55,8
1956	230	30	57,7
1938	230	31	59,6
1950	229	32	61,5

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4
1958	223	33	63,5
1974	223	34	65,4
1987	217	35	67,3
1965	217	36	69,2
1954	214	37	71,2
1952	204	38	73,1
1942	198	39	75,0
1953	194	40	76,9
1955	193	41	78,8
1980	192	42	80,8
1977	189	43	82,7
1944	187	44	84,6
1945	185	45	86,5
1943	172	46	88,5
1982	171	47	90,4
1981	167	48	92,3
<i>искомый год – 1968</i>	<i>167</i>	<i>49</i>	<i>94,2</i>
1940	164	50	96,2
1976	161	51	98,1

Таблица 1.3. Выбор минимального среднемесячного расхода воды в 1968 г.

Месяц	Среднегодовой расход воды Q_z , м ³ /с
I	78,6
II	73,2
III	71,7
IV	142
V	603
VI	317
VII	215
VIII	144
IX	107
X	102
XI	78,3
Искомый месяц – XII	Искомое значение – 70,6

В частности, при недостаточности данных гидрометрических наблюдений ряды, по которому определяются среднегодовой расход воды обеспеченностью 95 % и соответствующий ему минимальный среднемесячный расход, необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов. Приведение осуществляют в случаях, когда средняя квадратическая погрешность расчетного значения гидрологической характеристики превышает 10 % для годового стока, 20 % — для минимального. При выборе пункта-аналога основным критерием является наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов, которые количественно выражают через коэффициент парной или множественной (при одновременном использовании нескольких аналогов) корреляции между стоком в этих пунктах.

При выборе аналогов следует учитывать возможно большую продолжительность наблюдений в этих пунктах, более тесные связи между стоком в приводимом к многолетнему периоду пункте и стоком в пунктах-аналогах, пространственную связанность рассматриваемой гидрологической характеристики, которую количественно выражают через матрицу парных коэффициентов корреляции или пространственную корреляционную функцию, представляющую собой зависимость коэффициентов парной корреляции стока рек от расстояния между центрами тяжести водосборов. Матрицы парных коэффициентов корреляции и корреляционные функции определяют в однородном гидрологическом и физико-географическом районе.

При приведении допускается использование гидрометрической информации, а также метеорологической и другой информации, период наблюдений за которой превышает период наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой. При этом могут быть использованы региональные зависимости рассматриваемой гидрологической характеристики от факторов, ее определяющих. Приведение гидрологических рядов и их параметров распределения к многолетнему периоду, как правило, осуществляют аналитическими методами. Для предварительного приведения допускается использование графических и графоаналитических методов.

При расчете параметров распределения и значений стока за отдельные годы Q_i с использованием аналитических методов, основанных на регрессионном анализе, должны соблюдаться следующие условия:

$$n' \geq (6-10); R \geq R_{кр}; R/\sigma_R \geq A_{кр}, k/\sigma_k \geq B_{кр}, \quad (1.36)$$

где n' — число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах-аналогах ($n' \geq 6$ при одном аналоге, $n' \geq 10$ при двух и более аналогах) или число пунктов-аналогов при восстановлении с привлече-

нием кратковременных наблюдений ($n' \geq 6$); R – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах-аналогах; k – коэффициент уравнения регрессии; σ_k – средняя квадратическая погрешность коэффициента регрессии; $R_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (обычно задается $\geq 0,7$); $A_{кр}$, $B_{кр}$ – критические значения отношений R/σ_R и k/σ_k соответственно (обычно задаются $\geq 2,0$). Если хотя бы один из коэффициентов уравнения регрессии не удовлетворяет условию (1.36), то это уравнение не используют для приведения к многолетнему периоду.

При отсутствии данных наблюдений в качестве расчетной характеристики могут быть использованы минимальный 30-суточный или среднемесячный расход воды в зимний и (или) летне-осенний сезоны. Минимальный среднесуточный расход определяют по связи с 30-суточным. Метод определения минимального 30-суточного расхода воды зависит от категории реки: малая, средняя или большая. К малым относят реки, у которых модуль минимального стока изменяется с возрастанием площади водосбора. В зависимости от района к малым относят реки с верхним пределом площади водосбора от 1000 до 5000 км². Наименьшие значения отмечены в зонах избыточного и достаточного увлажнения, наибольшие – в районах с наличием пересыхающих или перемерзающих рек. К средним относят реки с площадью водосбора от вышеуказанных до 50000–75000 км². Реки с большей площадью считают большими.

Минимальные расходы воды на больших и средних реках определяют по интерполяции между пунктами наблюдений с учетом боковой приточности и данных полевых гидрометеорологических изысканий в расчетном створе. При невозможности использовать этот способ для расчета минимальных 30-суточных (среднемесячных) расходов применяют методы пространственной интерполяции минимального 30-суточного модуля стока 80 %-ной обеспеченности для зимнего или летне-осеннего сезона.

Минимальный сток малых равнинных и полугорных рек $Q_{p\%}$, м³/с, рассчитывают по зависимости минимальных 30-суточных расходов воды 80 %-ной обеспеченности от площади водосбора для районов, однородных по условиям формирования минимального стока. В общем виде эта зависимость имеет вид:

$$Q_{p\%} = b(A \pm A_1)^m \delta_1 \delta_2 \lambda_{p\%}, \quad (1.37)$$

где A – площадь водосбора, км²; A_1 – дополнительная площадь водосбора: при положительном значении отражает дополнительное питание рек

в период минимального стока за счет озерного регулирования при относительной озерности водосбора до 5 %; в случае отрицательного значения показывает площади водосбора с ежегодным отсутствием стока в течение 30 сут; δ_1 – коэффициент, учитывающий увеличение минимальных расходов воды на озерных реках; δ_2 – коэффициент, учитывающий увеличение минимальных расходов воды заболоченных водосборов; $\lambda_{p\%}$ – переходный коэффициент от минимального 30-суточного расхода воды 80 %-ной обеспеченности к расходу воды расчетной обеспеченности; b, m – районные параметры, определяемые по рекам-аналогам или как средние районные значения с использованием минимальных расходов воды опорной обеспеченности, обычно 80%.

Значение δ_1 определяют по формуле:

$$\delta_1 = 1 / (1 - cA_{оз}), \quad (1.38)$$

где c – коэффициент, определяемый в зависимости от среднего многолетнего или 80 %-ной обеспеченности слоя минимального стока; $A_{оз}$ – относительная озерность водосбора.

Коэффициент δ_2 определяют по формуле:

$$\delta_2 = 1 + \beta^* \lg(0,1A_б + 1), \quad (1.39)$$

где β^* – эмпирический коэффициент, определяемый в зависимости от типа болот; $A_б$ – относительная площадь болот на водосборе. При заболоченности водосбора менее 5 % коэффициент δ_2 принимают равным единице.

Коэффициент $\lambda_{p\%}$ определяют как средний в однородном районе по данным рек-аналогов с учетом гидрогеологических условий, глубины вреза русла реки и других факторов минимального стока.

В горных районах минимальный сток следует определять по графической зависимости модуля минимального 30-суточного стока от средней высоты водосбора. Дополнительным параметром для водосборов со средней высотой до 2500 м может служить площадь водосбора.

Минимальный среднесуточный расход воды расчетной обеспеченности определяют по формуле:

$$Q_{сут.p\%} = k Q_{30,80\%} \lambda_{p\%}, \quad (1.40)$$

где k – коэффициент, определяемый как средний по району по связи суточных и 30-суточных минимальных расходов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Назовите нормативный документ, регламентирующий определение основных гидрологических характеристик в Российской Федерации.
2. Что такое обеспеченность?

3. Опишите последовательность определения расчетного расхода воды при наличии данных наблюдений.
4. Опишите последовательность определения расчетного расхода воды при недостаточности данных наблюдений.
5. Опишите последовательность определения расчетного расхода воды при отсутствии данных наблюдений.

1.4. Пример характеристики предприятия – водопользователя и природных условий на участке сброса ЗВ (ЗАО «Нейтрализация и очистка промышленных сточных вод», Томская область)

В соответствии с [40], сведения о предприятии-водопользователе. Условиях водопользования и водном объекте – приёмнике сточных вод приводятся в основной форме нормативов допустимых сбросов (общая характеристика предприятия – водопользователя и условий сброса ЗВ в водный объект) и девяти приложениях к НДС: 1) гидрологическая и гидрохимическая характеристика водного объекта на участке существующего или проектируемого выпуска сточных вод; 2) данные о технологических процессах, в результате которых образуются сточные воды; 3) данные о составе очистных сооружений; 4) данные об эффективности очистки; 5) данные о соответствии работы очистных сооружений проектным характеристикам; 6) данные о расходе сточных вод и фактической концентрации загрязняющих веществ в сточных водах на момент разработки НДС; 7) данные о качестве воды в контрольном створе водного объекта после сброса сточных вод; 8) данные о величинах фоновых концентраций, принятых для расчёта НДС, их обоснование; 9) расчёт НДС.

1.4.1. Общая характеристика ЗАО «НОПСВ» и условий сброса ЗВ в водный объект

Характеристика предприятия- водопользователя и приемника сточных вод дана по материалам государственного мониторинга водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области за 2000-2002 гг., опубликованным в [59, 72].

Название документа: нормативы допустимого сброса веществ и микроорганизмов в р. Томь, КАР/ОБЬ/2677/24.

1. Предприятие: ЗАО «НОПСВ»; приводятся сведения об адресе, ИНН, Ф.И.О, должности и телефоне должностного лица, ответственного за водопользование.

2. Цель использования водного объекта: сброс сточных вод.
3. Место сброса сточных вод: р. Томь в 24 км от устья, севернее с. Орловка; 56°49'; 84°38'.
4. Категория сточных вод: хозяйственно-бытовые и производственные.
5. Утвержденный расход сточных вод для установления НДС: 80300 тыс. м³/год, 12400 м³/час.
6. Утвержденный норматив допустимого сброса веществ и микроорганизмов (для ЗВ приводится таблица с месячными и годовыми значениями сбросов в г/ч, т/мес и т/год; для микроорганизмов – таблица с допустимыми концентрациями в КОЕ/100 мл и годовыми значениями сбросов микроорганизмов в единиц/час).
7. Утвержденные свойства сточных вод:
 - 7.1. Плавающие примеси: на поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопления других примесей.
 - 7.2. Окраска: вода не должна приобретать посторонней окраски.
 - 7.3. Запахи, привкусы: вода не должна сообщать посторонних запахов и привкусов мясу рыбы.
 - 7.4. Температура: не должна повышаться по сравнению с естественной температурой водного объекта более, чем на 5 °С с общим повышением не более, чем до 28 градусов летом 8 °С зимой.
 - 7.5. Водородный показатель: рН в пределах 6.5-8.5.
 - 7.6. Коли-индекс: не более 100.
 - 7.7. Растворенный кислород: не менее 6 мг/дм³.
 - 7.8. ХПК: не более 15 мгО/дм³.
 - 7.9. БПК_{полн}: не более 3 мгО₂/дм³.
 - 7.10. Минерализация: не более 1000 мг/дм³.
 - 7.11. Сточная вода на выпуске в водный объект не должна оказывать острого токсического действия на тест-объекты.
 - 7.12. Вода водного объекта в контрольном створе не должна оказывать хронического действия на тест-объекты.
8. Наименование и адрес организации, разработавшей НДС.
9. Информация о водном объекте, об образовании, очистке сточных вод и расчёт НДС (приложения).

Для существующего выпуска сточных вод также заполняется форма: фактический сброс веществ и микроорганизмов в р. Томь, КАР/ОБЬ/2677/24.
1. Предприятие: ЗАО «НОПСВ»; приводятся сведения об адресе, ИНН, Ф.И.О, должности и телефоне должностного лица, ответственного за водопользование.

2. Цель использования водного объекта: сброс сточных вод.
3. Место сброса сточных вод: р. Томь в 24 км от устья, севернее с. Орловка; 56°49'; 84°38'.
4. Категория сточных вод: хозяйственно-бытовые и производственные.
5. Фактический расход сточных вод для установления НДС: 80300 тыс. м³/год, 12400 м³/час.
6. Фактический сброс веществ и микроорганизмов за последние 5 лет (для ЗВ приводится таблица с месячными и годовыми значениями сбросов в г/ч, т/мес и т/год; для микроорганизмов – таблица с допустимыми концентрациями в КОЕ/100 мл и годовыми значениями сбросов микроорганизмов в единиц/час).
7. Наименование и адрес организации, разработавшей НДС.

1.4.2. Гидрологическая и гидрохимическая характеристика водного объекта на участке выпуска сточных вод ЗАО «НОПСВ»

Общая характеристика района исследований. Рассматриваемый водный объект р. Томь является правым притоком р. Оби (место впадения расположено в 2677 км от устья р. Оби). Площадь водосборного бассейна р. Томь составляет 62000 км², а длина реки – 827 км. Водосборный бассейн расположен в пределах Томской, Кемеровской, Новосибирской областей, республик Горный Алтай и Хакасия и отличается большим разнообразием природных условий формирования гидрологического режима – от горных и полугорных районов Горной Шории и Кузнецкого Алатау до южно-таежных районов Томской области и лесостепи Кузбасса и Хакасии.

Очистные сооружения ЗАО «НОПСВ» расположены в северной части бассейна р. Томи в ее нижнем течении (24 км от устья реки, рис. 1.1, 1.2). По схеме почвенно-географического районирования Томской области район исследований относится к подзоне дерново-подзолистых супесчаных и песчаных, серых лесных оподзоленных почв со значительными контурами темно-серых лесных, черноземно-луговых, лугово-черноземных оподзоленных, дерново-оподзоленных и пойменных почв. По характеру растительного покрова рассматриваемая территория входит в состав Томского подтаежного района. В ее пределах распространены осина, береза, пихта, сосна, кедр. Травяной покров в тайге однообразен и достаточно редок. В лиственных лесах, напротив, густой, представлен папортником, крестовиком, какалией, борцом, звездчаткой и другими. Достаточно большую территорию занимают лесные высокотравные, суходольные и заливные луга. На слабо дрени-

рованных участках поймы рек расположены осоковые и злаково-осоковые луга. Здесь также распространены кустарниковые заросли, состоящие из тальника, черемухи, смородины.



Рис. 1.1. Схема расположения выпуска очищенных сточных вод ЗАО «НОПСВ», Томская область (▼ – выпуск сточных вод)

Климат рассматриваемой территории резко континентальный с четко выраженными четырьмя сезонами (зима, весна, лето, осень). Отличается значительной сезонной изменчивостью притока солнечной радиации, преобладанием переноса воздушных масс с запада на восток и хорошо выраженным годовым ходом температуры воздуха. Среднегодовая температура воздуха (данные по г. Томску) составляет $-0,6^{\circ}\text{C}$. Максимум приходится на июль ($18,1^{\circ}\text{C}$), минимум – на январь ($-19,2^{\circ}\text{C}$). Коэффициент вариации средней годовой температуры равен по модулю 1,5, что свидетельствует о довольно существенной ее изменчивости. Тем не менее, в 67 % случаев средняя годовая температура колеблется в диапазоне от $-1,5^{\circ}\text{C}$ до $0,3^{\circ}\text{C}$. Менее значительно в многолетнем разрезе изменяется средняя годовая температура почвы – всего лишь в пределах десятых долей градуса. Однако ее годовой ход выражен ярко, особенно, в верхних слоях почвы. Средняя глубина промерзания серой лесной почвы в Томске составляет 108 см. По количеству выпадающих атмосферных осадков рассматриваемая территория относится к зоне умеренного увлажнения. В среднем выпадает 517 мм, причем максимум приходится на июль. Изменчивость месячных сумм осадков

из года в год достаточно велика. Устойчивый снежный покров в среднем устанавливается 31 октября, а разрушается – 19 апреля.



Рис. 1.2. Вид русла р. Томи в створе рассеивающего выпуска очищенных сточных вод ЗАО «НОПСВ» (фото О.Г. Савичева)

Район исследований представляет собой всхолмленную равнину четвертичного возраста с общим уклоном поверхности на северо-запад. Долины р. Томи и ее притоков достаточно хорошо выражены и сложены галечником, разнозернистыми песками и суглинками. Остальные водосборные площади сформировались в результате накопления мощного покрова рыхлых отложений, перекрывших палеозойский фундамент. Последний имеет блочное строение, связанное с системой субмеридианальных разломов.

При изучении подземных вод в пределах рассматриваемой территории по литолого-стратиграфическому принципу, условиям залегания, движения и формирования подземных вод в пределах чехла выделяются водоносные комплексы четвертичных и палеогеновых отложений, подстилаемые обводненными трещиноватыми породами палеозойского фундамента. Подземные воды в местах без признаков явного промышленного загрязнения преимущественно гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-магниевого, пресные с минерализацией от 250 мг/дм³ до 1,5

г/дм³, нейтральные или слабощелочные. Наиболее пресными и кислыми являются воды аллювиальных отложений, наиболее минерализованными и щелочными – воды коренных пород.

Гидрологический режим. Регулярные измерения расходов воды р. Томи в створах г. Томска проводятся Росгидрометслужбой с 1918 г. Основным источником гидрологической информации для выполнения расчетов ПДС веществ ЗАО «НОПСВ» являются данные ТЦГМС (письмо ТЦГМС № 512 от 19.06.02 г.).

В питании реки участвуют талые снеговые воды, жидкие осадки и подземные воды. Питание реки в зимнюю межень – подземное, в летнюю – дождевое и подземное, во время половодья – преимущественно снеговое и в меньшей степени – подземное. Среднегодовое значение элементов водного баланса на территории водосборного бассейна р. Томи с замыкающим створом в г. Томске составляют: атмосферные осадки – 57.3 км³/год, испарение – 24.5 км³/год, речной сток – 32.8 км³/год. Водный режим р. Томи имеет сложный характер, обусловленный трансформацией различных типов режима тех зон, через которые она протекает. В целом, река характеризуется наличием весенне-летнего половодья и паводков в теплое время года.

Весеннее половодье. Средние сроки начала половодья - середина апреля; окончания - начало июля, а продолжительность половодья (средняя) - 87 дней. Максимальные срочные расходы воды за период весеннего половодья в створе г. Томска превышают 13000 м³/с, многократно превосходя среднегодовые значения (1041 м³/с). За время половодья проходит примерно 70 % годового стока. Основными факторами, влияющими на величину половодья, являются: запас воды в снеге перед началом таяния, интенсивность таяния, количество осадков в период половодья, влажность и степень промерзания почв и грунтов, наличие ледяной корки на поверхности почвы, неравномерность проявления климатических и метеорологических процессов в разных частях водосборного бассейна р. Томи.

Летне-осенняя межень. После прохождения весеннего половодья устанавливается летне-осенняя межень продолжительностью с июля по октябрь. Доля летне-осенней межени составляет 20-25%. Дождевые паводки начинаются уже на спаде половодья и продолжаются до установления ледового покрова. Наименьший срочный расход воды в летне-осенний период в среднем за многолетний период составляет 280 м³/с.

Зимняя межень. Зимняя межень устанавливается в ноябре-декабре и продолжается до конца марта - начала апреля. Доля стока за зимнюю межень составляет 5-10% годового стока. Наименьший срочный расход воды за зимнюю межень в среднем за многолетний период составляет

113 м³/с. В целом, именно зимняя межень является лимитирующим гидрологическим периодом, в котором, в свою очередь, выделяется месяц с наименьшей водностью – март (среднемесячный расход воды за многолетний период - 133 м³/с).

Появление ледяных образований в среднем фиксируется в конце октября, начало ледостава – в 7-8 ноября, начало ледохода – 22 апреля, окончание ледохода – 30 апреля-1 мая. Средняя продолжительность периода с ледовыми явлениями – 183-184 суток, наибольшая продолжительность – 208 суток (в начале 1940-х гг.).

Среднемноголетний годовой сток взвешенных наносов у г. Томска составляет 3600 тыс. т/год. Наибольшие расходы (до 9300 кг/с) и мутность воды (до 1900 мг/дм³) обычно наблюдаются во второй половине апреля.

Расчетные гидрологические условия. По данным Томского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ТЦГМС), среднегодовой расход воды р. Томи обеспеченностью 95 % наблюдался в 1951 г. При этом минимальный среднемесячный расход (в марте 1951 г.), принятый в качестве расчетного расхода воды, составил 116 м³/с, средняя и максимальная скорости течения – 0,15 и 0,32 м/с соответственно, ширина русла – 508 м, средняя и максимальная глубины – 2,34 и 3,41 м соответственно. Коэффициент извилистости на рассматриваемом участке р. Томи (у с. Орловка) составляет 1,5, коэффициент шероховатости при открытом русле – 0,040, коэффициент шероховатости нижней поверхности льда – 0,020.

Качество речных вод. Река Томь по указанию органов рыбоохраны является водным объектом рыбохозяйственного назначения I категории, что определяет необходимость применения наиболее строгих критериев оценки качества речных вод.

Регулярные гидрохимические наблюдения на р. Томи у г. Томска стали проводиться Росгидрометслужбой с 1940-х гг., однако программа их проведения приобрела современный вид только в 1970-х гг. Обобщение материалов Росгидромета, ОАО «Томскгеомониторинг», Томского политехнического университета и других организаций показало, что в гидрохимическом отношении воды р. Томи по классификации О.А. Алекина, преимущественно, пресные с малой (до 200 мг/дм³) и средней (200-500 мг/дм³) величиной минерализации, гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные, в летний период слабощелочные.

Отличительной их особенностью являются повышенные содержания ряда органических веществ, меди и некоторых других веществ, обычно значительно превышающие установленные нормативы рыбохозяйственного водопользования. Причем нарушение рыбохозяйственных

нормативов по содержанию нефтепродуктов, фенолов, меди, железа и других веществ отмечается не только ниже по течению от промышленных центров и городов, но и там, где нет крупных хозяйственных объектов, например, в верховьях р. Томи.

Воздействие ЗАО «НОПСВ» на качество вод р. Томи проявляется в увеличении на 500-метровом участке концентраций железа, кремния, сульфатов, соединений азота и ряда других веществ. В целом же, состав речных вод на участке ниже г. Томска в результате сбросов ЗАО «НОПСВ» и предприятий Томского района (Самусьское ЖКХ, судоремонтный завод и т.д.) существенно не меняется, причем содержания многих веществ даже снижаются за счет процессов разбавления и самоочищения.

Фоновые концентрации веществ в водах р. Томи. В зимний меженьный период, для которого специалистами ТЦГМС были рассчитаны фоновые концентрации ряда веществ в водах р. Томи в фоновом створе 0.3 км выше г. Томска (письмо ТЦГМС № 512 от 19.06.02 г.), наблюдаются достаточно высокие содержания свинца, меди, титана, нефтепродуктов, превышающие нормативы рыбохозяйственного водопользования. Близки или равны ПДК_{р-х} концентрации фенолов и никеля. Содержания прочих веществ, в основном, весьма незначительны. С учетом данных ЗСУГМС (табл. 1.4) отмеченные случаи нарушения нормативов связаны во многом с природными условиями формирования качества вод р. Томи.

Таблица 1.4. Фоновые концентрации веществ в водах р. Томи 0.3 км выше г. Томска, мг/дм³ (данные ТЦГМС, письмо № 513 от 19.06.02 г.)

№ п/п	Вещество	ПДК для рыбохозяйственных водных объектов	Фоновая концентрация
1	2	3	4
1	БПК _{полн.}	3,00	2,17
2	Взвешенные вещества	6,75	6,5
3	Минеральные вещества по сухому остатку	1000	217,5
4	Нитриты	0,08	0,043
5	Фосфаты (по Р)	0,20	0,053
6	Хлориды	300	8,1
7	Метанол	0,10	0,04

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4
8	Мочевина	80,00	5,74
9	Магний	40,0	7,1
10	Кальций	180,0	31,2
11	Сульфаты	100,0	19,8
12	Азот аммонийный	0,39	0,22
13	Нитраты	40,00	2,04
14	СПАВ	0,50	0,01
15	Железо общее	0,10	0,04
16	Никель	0,010	0,0093
17	<i>Свинец</i>	<i>0,006</i>	<i>0,009</i>
18	<i>Медь</i>	<i>0,001</i>	<i>0,0024</i>
19	Цинк	0,010	0,0041
20	Формальдегид	0,100	0,01
21	Кадмий	0,005	0,00
22	Бутанол	0,030	0,00
23	Алюминий	0,040	0,00
24	Хром (6+)	0,020	0,0012
25	<i>Титан</i>	<i>0,060</i>	<i>0,078</i>
26	Кремний	10,0 (хоз-пит.)	2,7
27	Бензол	0,500	0,00
28	Полиакриламид	0,05	0,00
29	<i>Нефтепродукты</i>	0,05	0,36
30	Фенолы	0,001	0,001

Примечание: курсивом выделены вещества, фоновые концентрации которых превышают ПДК

1.4.3. Данные о технологических процессах, в результате которых образуются сточные воды ЗАО «НОПСВ»

Закрытое акционерное общество «Нейтрализация, очистка промышленных сточных вод» (ЗАО «НОПСВ») обеспечивает прием сточных вод от предприятий г. Томска, их биологическую очистку и сброс очищенных сточных вод в р. Томь в створе 500 м ниже с. Орловка (24 км выше устья). Очистные сооружения биологической очистки являются муниципальной собственностью Томского управления жилищно-коммунального хозяйства.

Сброс сточных вод в р. Томь осуществляется с очистных сооружений биологического типа. Очистные сооружения построены по проекту, разработанному проектным институтом «Укрводоканал» (г. Киев) и эксплуатируются с 1976 г. Проектная мощность очистных сооружений 220 тыс. м³/сут. Сточные воды на предприятие поступают четырьмя потоками: 1) от МУП «Томскводоканал» - 172 000 м³/сут; 2) от ОАО «ТНХЗ» - 40000 м³/сут; 3) от ТЭЦ-3 (4000 м³/сут); 4) из ливневого амбара ОАО «ТНХЗ» (4000 м³/сут). Компоненты водохозяйственного баланса и связи между ними представлены на рис. 1.3.

Сброс сточных вод происходит за чертой населённого пункта (с. Орловка) через рассеивающий выпуск длиной 28 м в 72 м от межени уреза воды. Оголовок один с 9 отверстиями, каждое из которых имеет диаметр 200 мм. Для измерения объема сточных вод используются расходомер электромагнитный ЭРИС ВЛ-100 и лоток Вентури. Показания ежедневно регистрируются в журнале учета количества поступающих сточных вод.

Штат очистных сооружений укомплектован полностью обслуживающим персоналом. Имеются должностные инструкции, инструкции по технологическому обслуживанию оборудования и очистных сооружений, инструкции по технике безопасности. Ежегодно обслуживающий персонал сдает экзамены на соответствие занимаемой должности.

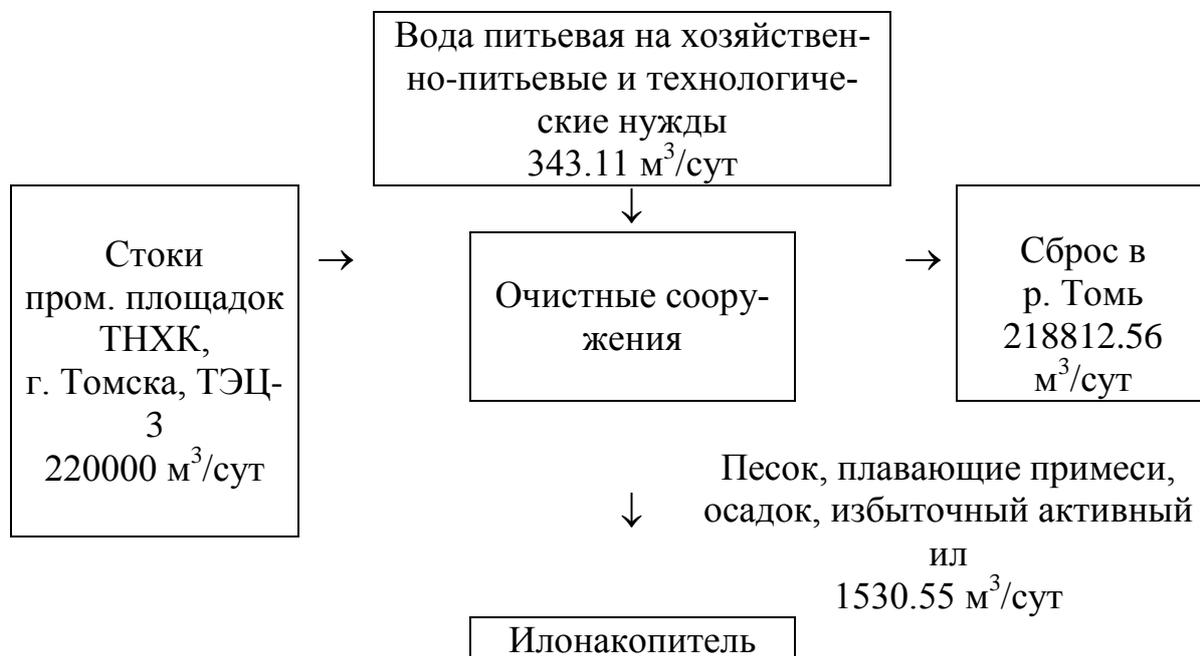


Рис. 1.3. Водохозяйственный баланс ЗАО «НОПСВ»

Согласно проекту очистных сооружений, дезинфекция очищенных сточных вод должна осуществляться газообразным хлором. По состоянию на 2002 г. хлораторная на очистных сооружениях не достроена и сточные воды без дезинфекции сбрасываются в р. Томь, что является нарушением природоохранного законодательства Российской Федерации.

1.4.4. Данные об эффективности очистки сточных вод ЗАО «НОПСВ»

Сточные воды, поступающие в р. Томь, содержат повышенное относительно фона количество органических веществ, соединений азота, железа, хлоридов, сульфатов и ряда других соединений (табл. 1.5). Однако следует отметить, что вследствие сильного разбавления сточных вод изменение химического состава воды р. Томи при удалении водных масс от выпуска минимально.

Таблица 1.5. Химический состав сточных вод ЗАО «НОПСВ» 23.07.2002 г.

Условия отбора	До очистки	После очистки
Взвешенные вещества	91	15
pH	7,5	7,6
НСО ₃ ⁻	463,6	393,5
Сl ⁻	65,3	59,3
SO ₄ ²⁻	70,8	63,2
Сухой остаток	534	528
NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	30,6	17,3
NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	< 0,01	1,13
NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	0,13	5,64
NH ₄ ⁺ + NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	30,731	24,07
Фосфаты	3,45	3,1
Fe общ.	1,52	0,41
Фенолы	0,038	<0,001
Нефтепродукты	0,22	0,06
СПАВ	0,76	0,25
ХПК, мгО/дм ³	114,8	16,4
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	62,7	9,77

При сравнении результатов гидрохимических, санитарно-микробиологических анализов проб воды, отобранной в р. Томи 500 м

выше и ниже сброса с очистных сооружений ЗАО «НОПСВ», наблюдается увеличение содержания веществ в речных водах ниже сброса: взвешенных частиц в 1,5 раза; азота аммонийного в 3,6 раза; цинка в 4 раза; марганца в 2,4 раза; микроорганизмов по индексу лактозоположительной кишечной палочки – в 3,1 раза. Результаты биотестирования очищенной воды свидетельствуют о слабой токсичности очищенных стоков.

Санитарно-паразитологическое исследование этих же проб природной воды, показало наличие паразитологического загрязнения речных вод ниже сброса с очистных сооружений ЗАО «НОПСВ» – обнаружены жизнеспособные яйца гельминтов (*Ascarida limax* – аскарида человеческая) и деформированные яйца токсокары и отсутствие таковых, в пробе, отобранной в р. Томи 500 м выше сброса с очистных сооружений ЗАО «НОПСВ». Полученные результаты анализов исследования воды, отобранной в р. Томи выше и ниже сброса с очистных сооружений, на ядохимикаты – не превышают утвержденные санитарные нормы.

2. Расчет «фонового» химического состава поверхностных вод

2.1. Водотоки

Согласно [44], для водотоков «за фоновую концентрацию вещества $C^*_ф$ принимается статистически обоснованная верхняя доверительная граница возможных средних значений концентраций этого вещества, рассчитанная по результатам гидрохимических наблюдений для наиболее неблагоприятных гидрологических условий или наиболее неблагоприятного в отношении качества воды периода (сезона) в годовом цикле. Значение фоновой концентрации вещества $C^*_ф$ считается статистически обоснованной, если она определена с доверительной вероятностью $P=0,95$ ». При этом наиболее неблагоприятными расчетными гидрологическими условиями считаются: 1) для незарегулированных водотоков – минимальный среднемесячный расход воды в год с обеспеченностью годового водного стока 95 %; 2) для зарегулированных водотоков – установленный гарантированный расход воды ниже плотины при обязательном исключении возможности обратных течений в нижнем бьефе. Расчетный («фоновый») створ должен располагаться для больших и средних рек – в 1 км, а для малых рек – 500 м выше по течению от проектируемого или действующего сброса сточных вод.

Для расчета фоновой концентрации вещества используются гидрохимические материалы, «...при получении которых не имели место: 1) изменение методики отбора и анализа проб воды; 2) изменение вод-

ного режима водотока; 3) резкое изменение характера поступления рассматриваемых химических веществ на вышерасположенном участке водотока. При расчете фоновой концентрации вещества C_{ϕ}^* следует учитывать только те створы наблюдений, где имеются данные: не менее чем за один год - при ежемесячной, ежедекадной или еще более дробной системе отбора проб воды; не менее чем за двухлетний период - при 6-11-разовом отборе проб воды в год; не менее чем за трехлетний период - при 4-5-разовом отборе проб воды в год. Основное условие здесь заключается в том, чтобы наблюдения проводились во все характерные сезоны не менее одного года и минимальное число данных в каждом сезоне за расчетный период было не менее трех» [44].

Расчет фоновых концентраций проводится в пять этапов. На первом этапе проводится исключение из выборки концентраций веществ в водах экстремальных значений по формулам:

$$I' = \frac{C_{\max} - C_{cp}}{\sigma}, \quad (2.1)$$

$$I'' = \frac{C_{cp} - C_{\min}}{\sigma}, \quad (2.2)$$

где I' , I'' - значения статистик, используемых для выявления экстремальных концентраций вещества; C_{cp} , C_{\max} , C_{\min} - соответственно средняя, максимальная и минимальная концентрации вещества; σ - среднеквадратическое отклонение значений концентраций вещества. В том случае, если оказывается, что $I' > I_n$ или $I'' > I_n$ (где I_n - нормативное значение, определяемое по табл. 2.1), то взятое для анализа экстремальное значение исключается из рассматриваемого ряда данных.

На втором этапе с помощью критерия Уилкоксона-Манна-Уитни выполняется выделение в «фоновом» створе максимально загрязненной струи (рекомендуется выделять не более двух изолированных водных масс). Данный этап реализуется в случае, когда выше по течению от «фоновом» створа расположен источник (источники) загрязнения и в необходимом объеме имеются данные наблюдений по двум и более промерным вертикалям.

На третьем этапе проводится проверка данных на наличие статистически значимых связей между концентрациями рассматриваемых веществ и расходами воды. Критерием качества является отношение S/σ .

$$\frac{S}{\sigma} = \frac{\sqrt{\frac{\sum C_i - C_i^*}{M-2}}}{\sqrt{\frac{\sum C_i - \bar{C}}{M-1}}}, \quad (2.3)$$

где C_i и C_i^* – фактические и вычисленные концентрации вещества; поправка $M-2$ в числителе уравнения (2.3) введена для двухпараметрической зависимости. Условием применимости зависимости является неравенство $S/\sigma < K_S$, где K_S – критическое значение с учетом объема выборки, приведено в табл. 2.2.

Таблица 2.1. Предельные значения I_n при заданном объеме выборки M

M	I_n	M	I_n	M	I_n	M	I_n
3	1,15	10	2,18	17	2,48	50	2,860
4	1,46	11	2,23	18	2,50	200	3,076
5	1,67	12	2,29	19	2,53	250	3,339
6	1,82	13	2,33	20	2,56	500	3,528
7	1,94	14	2,37	25	2,635		
8	2,03	15	2,41	30	2,696		
9	2,11	16	2,44	40	2,792		

Таблица 2.2. Критерии оценки качества статистических связей

Число членов ряда M	Коэффициент корреляции r	Интервал допустимых значений S/σ	Категория качества
≤ 15	$\geq 0,81$	$\leq 0,40$	Хорошая
то же	0,80 - 0,70	0,41 - 0,70	удовлетворительная
$15 < M < 25$	$\geq 0,89$	$\leq 0,45$	хорошая
то же	0,88 – 0,66	0,46 – 0,75	удовлетворительная
> 25	$\geq 0,87$	$\leq 0,50$	хорошая
то же	0,86 – 0,60	0,51 – 0,80	удовлетворительная

На четвертом этапе проводится собственно расчет фоновых концентраций. В случае наличия статистически значимых связей между гидрохимическими и гидрологическими показателями по выявленной

зависимости рассчитывается содержание вещества, соответствующее минимальному среднемесячному расходу в год 95 % обеспеченности, а затем – фоновая концентрация по формуле (1.30).

При отсутствии значимых связей вычисляется среднее арифметическое значение концентраций рассматриваемого вещества в пунктах опробования природных вод за неблагоприятный с точки зрения качества вод период, после чего проводится расчет фоновой концентрации вещества C_{ϕ}^* по формуле (1.31). Коэффициент Стьюдента принимается по табл. 2.3.

Таблица 2.3. Значения коэффициентов Стьюдента $Z_{k,\alpha}$ при $\alpha=5\%$ и заданном объеме выборки M

$M-1$	$Z_{k,\alpha}$	$M-1$	$Z_{k,\alpha}$	$M-1$	$Z_{k,\alpha}$
5	2,02	20	1,72	40	1,68
6	1,94	21	1,72	42	1,68
7	1,90	22	1,72	44	1,68
8	1,86	23	1,71	46	1,68
9	1,83	24	1,71	48	1,68
10	1,81	25	1,71	50	1,68
11	1,80	26	1,71	55	1,67
12	1,78	27	1,70	60	1,67
13	1,77	28	1,70	65	1,67
14	1,76	29	1,70	70	1,67
15	1,75	30	1,70	80	1,66
16	1,75	32	1,69	90	1,66
17	1,74	34	1,69	100	1,66
18	1,73	36	1,69	120	1,66
19	1,73	38	1,69		

На заключительном (пятом) этапе выполняется пересчет «фоновой» концентрации вещества, полученной для створа режимных наблюдений, в заданный створ при времени добегаания между ними: для малых и средних рек с расходом воды равным и более $50 \text{ м}^3/\text{с}$ – более 2 суток (но по расстоянию не более 50 км), для средних рек с расходом воды менее $50 \text{ м}^3/\text{с}$ – более 3 суток (по расстоянию не более 100 км), для больших рек – более 5 суток (по расстоянию не более 250 км).

Пересчет проводится по формулам:

1) при концентрации вещества $C_{нз}$, до которой реально может убывать содержание в водотоке $C_{нз}=0$:

$$C_{\phi,x} = C_{\phi} \cdot \varepsilon_{\phi} + \sum_j C_{cm,j} \cdot \varepsilon_{cm,j} - C_{\phi} \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot \psi_j; \quad (2.4)$$

2) при $C_{нз}=C_{\phi}$:

$$C_{\phi,x} = C_{\phi} + \sum_j C_{cm,j} - C_{\phi} \cdot \varepsilon_{cm,j} \cdot \psi_j; \quad (2.5)$$

3) при $C_{нз}<C_{\phi}$:

$$C_{\phi,x} = C_{\phi} \cdot \varepsilon_{\phi} + C_{нз} \cdot (-\varepsilon_{\phi}) + \sum_j C_{cm,j} - C_{нз} \cdot \varepsilon_{cm,j} - C_{\phi} - C_{нз} \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot \psi_j; \quad (2.6)$$

4) при $C_{нз}>C_{\phi}$:

$$C_{\phi,x} = C_{\phi} + \sum_j C_{нз} - C_{\phi} + C_{cm,j} - C_{нз} \cdot \varepsilon_{cm,j} \cdot \psi_j, \quad (2.7)$$

где $C_{\phi,x}$ – искомое значение «фоновой» концентрации вещества в максимально загрязненной струе в заданном створе; $C_{cm,j}$ – концентрация вещества в сточных водах j -го водовыпуска с обеспеченностью 20 %, определяемая по формуле (2.8), а для строящегося предприятия – по проектным данным; ε – безразмерный коэффициент, учитывающий неконсервативность вещества и рассчитываемый по формуле (2.9); ψ_j – безразмерный коэффициент, учитывающий разбавление в водотоке j -го водовыпуска в максимально загрязненной струе заданного створа;

$$C_{cm} = C_{cm(0,2 \cdot (M+1,9) - \Delta(m)) - \Delta(m) \cdot \Delta(C_{cm})}, \quad (2.8)$$

где $C_{cm(0,2 \cdot (M+1,9) - \Delta(m))}$ – концентрация вещества в ранжированном по убыванию ряду объемом M с порядковым номером, равным $0,2 \cdot (M+1,9) - \Delta(m)$; $\Delta(m)$ – дробная часть значения $0,2 \cdot (M+1,9)$; $\Delta(C_{cm})$ – разница между значениями C_{cm} , соответствующими номерам $0,2 \cdot (M+1,9) - \Delta(m)$ и $0,2 \cdot (M+1,9) - \Delta(m) + 1$;

$$\varepsilon = \exp(-k_1 \cdot \tau), \quad (2.9)$$

k_1 – коэффициент скорости самоочищения воды водотока от рассматриваемого вещества, определяемый по формуле (2.10), 1/сут; τ – время дообегания водных масс (сут), ориентировочно определяемое по формуле (2.11);

$$k_1 = k_{(0,8 \cdot (M+0,78) - \Delta(m)) - \Delta(m) \cdot \Delta(k)}, \quad (2.10)$$

$\Delta(k)$ – разница между значениями k , соответствующими номерам $0,8 \cdot (M+0,78) - \Delta(m)$ и $0,8 \cdot (M+0,78) - \Delta(m) + 1$; прочие обозначения те же, что и для формулы (2.8);

$$\tau = L_{\phi} / (86400 \cdot v_{max}), \quad (2.11)$$

L_{ϕ} – расстояние по фарватеру водотока между рассматриваемыми створами, м; v_{max} – максимальная скорость течения воды в водотоке на участке между расчетными створами, м/с.

Расчет ψ_j без применения ЭВМ проводится следующим образом (в противном случае в [45] предлагается использовать более сложную методику):

1) для загрязненной струи в заданном створе у левого берега

$$\psi_{j(l)} = \frac{q_{j(l)}}{h \cdot \sqrt{\pi \cdot D_y \cdot v \cdot x_j}} \cdot \left(1 + 2 \cdot \exp\left(-\frac{B^2 \cdot v}{D_y \cdot x_j}\right) \right), \quad (2.12)$$

$$\psi_{j(l)} = \frac{q_{j(np)}}{h \cdot \sqrt{\pi \cdot D_y \cdot v \cdot x_j}} \cdot \left(2 \cdot \exp\left(-\frac{B^2 \cdot v}{4 \cdot D_y \cdot x_j}\right) + \exp\left(-\frac{9 \cdot B^2 \cdot v}{4 \cdot D_y \cdot x_j}\right) \right); \quad (2.13)$$

2) для загрязненной струи в заданном створе у правого берега

$$\psi_{j(np)} = \frac{q_{j(l)}}{h \cdot \sqrt{\pi \cdot D_y \cdot v \cdot x_j}} \cdot \left(2 \cdot \exp\left(-\frac{B^2 \cdot v}{4 \cdot D_y \cdot x_j}\right) + \exp\left(-\frac{9 \cdot B^2 \cdot v}{4 \cdot D_y \cdot x_j}\right) \right), \quad (2.14)$$

$$\psi_{j(np)} = \frac{q_{j(np)}}{h \cdot \sqrt{\pi \cdot D_y \cdot v \cdot x_j}} \cdot \left(1 + 2 \cdot \exp\left(-\frac{B^2 \cdot v}{D_y \cdot x_j}\right) \right), \quad (2.15)$$

где $x_j = L_{x(j)} + \frac{0.2}{D_y \cdot v} \cdot \left(\frac{q_j}{h}\right)^2$; v – скорость течения, м/с; h и B – глубина и

ширина потока, м; $L_{x(j)}$ – расстояние по фарватеру водотока от j -го водовыпуска до заданного створа, м; q_j – расход воды в j -м водовыпуске, м³/с; $q_{j(l)}$ – расход воды в j -м левобережном водовыпуске, м³/с; $q_{j(np)}$ – расход воды в j -м правобережном водовыпуске, м³/с; D_y – коэффициент поперечной дисперсии, м²/с. Если при расчете по формулам (2.12, 2.15) окажется, что $\psi_j < q_j / (Q + q_j)$, то принимается $\psi_j = q_j / (Q + q_j)$. Если при расчете по формулам (2.13, 2.14) окажется, что $\psi_j < Q / (Q + q_j)$, то принимается $\psi_j = Q / (Q + q_j)$. После определения вышеуказанных параметров проводится пересчет «фоновой» концентрации рассматриваемого вещества по формулам (2.4-2.7) отдельно для левобережной и правобережной струй в заданном створе, из результатов которого выбирается наибольшее значение C_ϕ . В целом, приведенная выше методика базируется на аналитическом уравнении турбулентной диффузии и позволяет получить достаточно подробное представление о характере распространения вещества в водном потоке.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Перечислите гидрологические и гидрохимические характеристики, необходимые для определения фоновой концентрации вещества в поверхностных водах.
2. Назовите критерии проверки данных на однородность.

3. Охарактеризуйте математический смысл определения фоновой концентрации вещества в водотоках.

2.1.1. Пример расчета фоновой концентрации при отсутствии данных о расходах воды

Дано: данные о содержании хлорид-иона (4 категория, 1 вертикаль, 0,5 м от поверхности) за 2000-2003 гг.

Ход вычислений:

1. Рассчитываются значения критериев (2.1, 2.2) и исключаются экстремальные значения (табл. 2.4).

$$I' = \frac{7,3 - 2,4}{1,524} = 3,215;$$

$$I'' = \frac{2,4 - 1,0}{1,524} = 0,919;$$

$$I_n = 2,605;$$

$I_n < 3,215$ – следовательно, исключается максимальное значение;

$$I' = \frac{4,6 - 2,2}{1,120} = 2,143;$$

$$I'' = \frac{2,2 - 1,0}{1,120} = 1,071.$$

Таблица 2.4. Результаты проверки на наличие экстремальных значений

Шаг	Параметр	Значение
1	Среднее	2,4
	Максимум	7,3
	Минимум	1,0
	Стандартное отклонение	1,524
	I_n	2,605
	I'	3,215
	I''	0,919
2	Среднее	2,2
	Максимум	4,6
	Минимум	1,0
	Стандартное отклонение	1,120
	I_n	2,59
	I'	2,143
	I''	1,071

2. В рассматриваемом створе режимные наблюдения за расходами воды не проводятся. В связи с этим расчетная формула принимает вид (1.31) и рассчитываются средние арифметические и значения и стандартные отклонения концентраций хлорид-иона по сезонам года (табл. 2.5).

Таблица 2.5. Среднесезонные концентрации хлорид-иона в речных водах за 2000-2003 гг., мг/дм³

Сезон	Среднее	Стандартное отклонение
IV-VI	2,7	1,1
VII-XI	1,7	0,7
XII-III	4,6	1,6

3. В качестве расчетного выбирается сезон, для которого характерно наибольшее среднее содержание рассматриваемого вещества (зимний XII-III) и проводится расчет фоновой концентрации по формуле 1.31 (табл. 2.6).

$$C_{\phi} = 4,6 + \frac{2,13 \cdot 1,6}{\sqrt{12}} \approx 5,6 \text{ мг/дм}^3.$$

Таблица 2.6. Расчет фоновой концентрации хлорид-иона в речных водах за 2000-2003 гг., мг/дм³

Расчетный период	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Z _{5%}	Фоновая концентрация
XII-III	4,6	1,6	2,13	5,6

2.1.2. Пример расчета фоновой концентрации при наличии данных о расходах воды и связей между гидрохимическими и гидрологическими показателями

Дано: данные о содержании хлорид-иона (4 категория, 1 вертикаль, 0,5 м от поверхности) за 2000-2003 гг.

Ход вычислений:

1. Рассчитываются значения критериев (2.1, 2.2) и исключаются экстремальные значения (см. раздел 2.1.2).
2. Проводится регрессионный анализ связей между расходами воды и концентрациями хлорид-иона в этом же створе. Наиболее достоверной является степенная зависимость (табл. 2.7).
3. Определяется расчетное значение расхода воды (минимальный среднемесячный расход воды в год с обеспеченностью стока 95 %). Для

этого проводится построение кривой обеспеченности среднегодовых расходов воды (рис. 2.1), по которой выбирается год (1982) и минимальный среднемесячный расход воды (табл. 2.8).

Таблица 2.7. Результаты выявления связей между расходами воды (Q) и концентрациями хлорид-иона (C) в речных водах

S/σ	Зависимость
2,212	$C=0,225 \cdot Q$
0,671	$C=-0,122 \cdot Q+14,906$
0,639	$C=2,664+244,586/Q$
0,644	$C=16,483 \cdot \exp(-0,014 Q)$
0,711	$C=4,169 \cdot \exp(26,802/Q)$
0,691	$C=338,603/(2,126+Q)$

Таблица 2.8. Сведения о среднемесячных расходах воды в год 95 % обеспеченности, м³/с

Период, показатель	Значение
I	20
II	20
III	19
IV	69
V	74
VI	34
VII	23
VIII	20
IX	21
X	21
XI	21
XII	20
Расчетный расход воды	19

4. Проводится расчет фоновой концентрации по формуле (1.30). Результаты расчета приведены в табл. 2.9.

$$C(Q_{95\%}) = -0,122 \cdot 19 + 14,906 \approx 12,6 \text{ мг/дм}^3;$$

$$C_{\phi} = 12,6 + \frac{2,92 \cdot 10,4}{\sqrt{16}} \approx 20,2 \text{ мг/дм}^3.$$

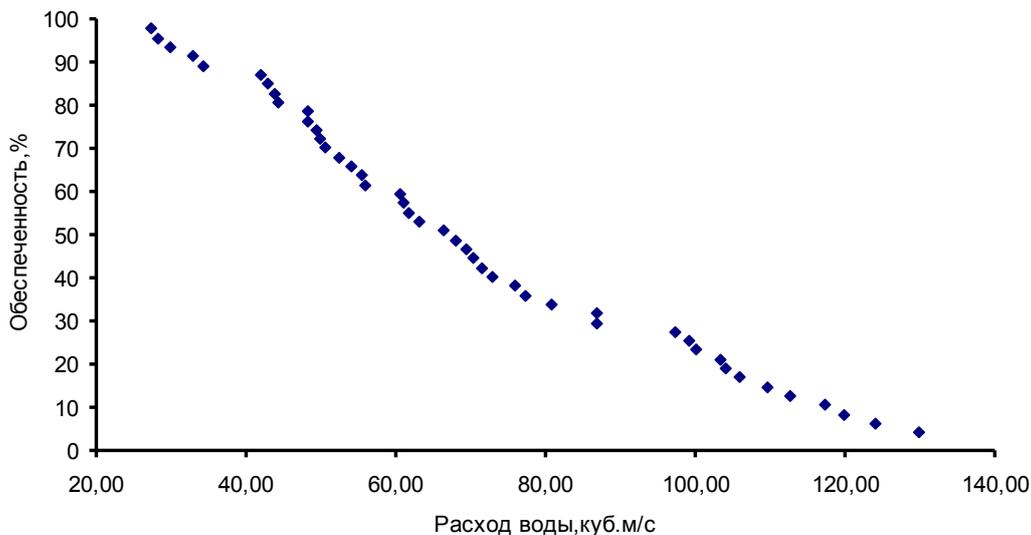


Рис. 2.1. Обеспеченность среднегодовых расходов воды

Таблица 2.9. Фоновые концентрации веществ в речных водах рассматриваемой территории, вычисленные за 2000-2003 гг. по зависимости от расхода воды, мг/дм³

Показатель	Значение
$C(Q_{95\%})$	12,6
Стандартное отклонение	10,4
$Z_{5\%}$	2,92
Фоновая концентрация	20,2

2.2. Озера и водохранилища

Методика определения «фоновых» содержаний взвешенных и растворенных веществ в водах озер и водохранилищ изложена в [40]. В данном случае предлагается использовать систему уравнений гидрохимического баланса в виде:

$$a_1 \cdot C_{\phi,1} - \frac{a_4 - a_0}{a_B} \cdot C_{\phi,2} - \frac{a_4 - a_0}{a_B} \cdot C_{\phi,3} - \frac{a_4 - a_0}{a_B} \cdot C_{\phi,4} = \sum_i^N C_{i,1} \cdot q_i, \quad (2.16)$$

$$- \frac{a_1 - a_0}{a_B} \cdot C_{\phi,1} + a_2 \cdot C_{\phi,2} = \sum_i^N C_{i,2} \cdot q_i, \quad (2.17)$$

$$- (a_2 - a_4) \cdot C_{\phi,2} + a_3 \cdot C_{\phi,3} = \sum_i^N C_{i,3} \cdot q_i, \quad (2.18)$$

$$- (a_3 - a_4) \cdot C_{\phi,3} + a_4 \cdot C_{\phi,4} = \sum_i^N C_{i,4} \cdot q_i, \quad (2.19)$$

высокой их стоимости и продолжительности речь о нормировании сбросов может вестись только в случае очень крупных и высокорентабельных предприятий-водопользователей.

В связи с этим в рамках используемого в России подхода к нормированию сбросов на основе ПДК «фоновые» значения гидрохимических показателей озер и водохранилищ в большинстве случаев могут быть получены по аналогии с речными водами [44] с учетом следующих соображений. Согласно [1, с. 284], «химический состав воды озер и рек генетически тесно связан... Однако морфологические особенности создают специфические черты химического состава вод и гидрохимического режима, не свойственные рекам. Из них особенно большое значение имеют размеры озера, площадь, глубины и конфигурация».

Таким образом, одним из главных отличий определения «фоновых» химического состава в водоемах по сравнению с водотоками является использование гидрохимических данных, полученных в соответствии с [43] в разных частях озер и водохранилищ у поверхности, дна и на разных глубинах. В качестве расчетного периода, исходя из принципа единства методологической базы расчета ПДС, принимается меженьный период, в течение которого в озерах наблюдаются уровни и объемы, соответствующие минимальным среднемесячным значениям в год с обеспеченностью (уровней, объемов) 95 %, а для водохранилищ – при гарантированном расходе воды ниже плотины. Для малых озер и прудов, на которых не проводятся систематические гидрологические наблюдения, в первом приближении могут использоваться данные, полученные в зимнюю межень при установившемся ледоставе. Затем выделяются участки водоемов с наибольшими значениями содержаний рассматриваемого вещества, по которым с помощью уравнения (1.31) и рассчитывается искомая «фоновая» концентрация [63].

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Назовите основные отличия методики определения фоновых концентраций вещества в воде водоемов по сравнению с водотоками.
2. Перечислите гидрологические и гидрохимические характеристики, необходимые для определения фоновой концентрации вещества в водах озер и водохранилищ.

2.3. Болота

Нормативный документ, регламентирующий расчет «фоновых» содержаний взвешенных и растворенных веществ в болотных водах на всей территории России, по состоянию на 2005 г. отсутствует. В то же

время, имеется ряд региональных разработок, пока не имеющих общероссийского статуса. Прежде всего, это методика РосНИИВХ, апробированная на данных о болотах Урала и подробно описанная в [52, 53, 55]. Согласно [53, с. 312], «фоновая точка выбирается на окрайке болота в зоне активной фильтрации и, по возможности, наличия стока. Для болот, на которые сброс сточных вод уже производится, фоновая точка должна находиться вне зоны вероятного влияния выпуска или других источников загрязнения. Назначение точек контроля за фоном на изолированных застойных зонах участках болота, а также устройство специальных прямотоков и копаней в торфяной толще не рекомендуется... Значимая деградация болотных биоценозов отсутствует, если объем сбрасываемых сточных вод не превышает 5-10 % от приходной части водного баланса болота».

Указанные положения вполне приемлемы для относительно небольших болот, но при расчете «фоновых концентраций» в водах огромных болотных массивов в Западной Сибири возникает ряд вопросов. Например, объем водоотведения из всех фактических выпусков стоков в Обское болото, растянувшееся в долине р. Обь на протяжении около 200 км, меньше 5 % от приходной части водного баланса этого объекта. Примерна та же ситуация наблюдается и для других болот, имеющих площади в сотни и тысячи квадратных километров (рис. 2.2, 2.3).

Кроме того, выполненные О.Г. Савичевым и В.А. Базановым в Томской области показали, что, *во-первых*, существенные различия в химическом составе болотных вод характерны не только для разных типов болот, но и внутри них, что необходимо учитывать при анализе состояния болотных экосистем и оценке влияния болот на другие водные объекты (табл. 2.10). *Во-вторых*, на границе болотных и лесных ландшафтов происходит интенсивное насыщение поверхностных вод различными неорганическими и органическими веществами, что объясняется (в случае верховых болот) контактом кислых болотных вод, содержащих большое количество фульвокислот, с минеральным грунтом и последующим образованием водорастворимых и коллоидных комплексов.

Также следует отметить, что на окраинах болот скапливается значительное количество воды и формируются ее направленные потоки, с которыми и выносятся образовавшиеся соединения, причем при движении потоков воды дополнительно происходит размыв почвогрунтов и формирование стока наносов, сопровождающееся увеличением площади контакта воды и частиц породы, сорбцией на поверхности последних некоторых растворенных и коллоидных веществ и т.д. [4, 6, 61, 63].

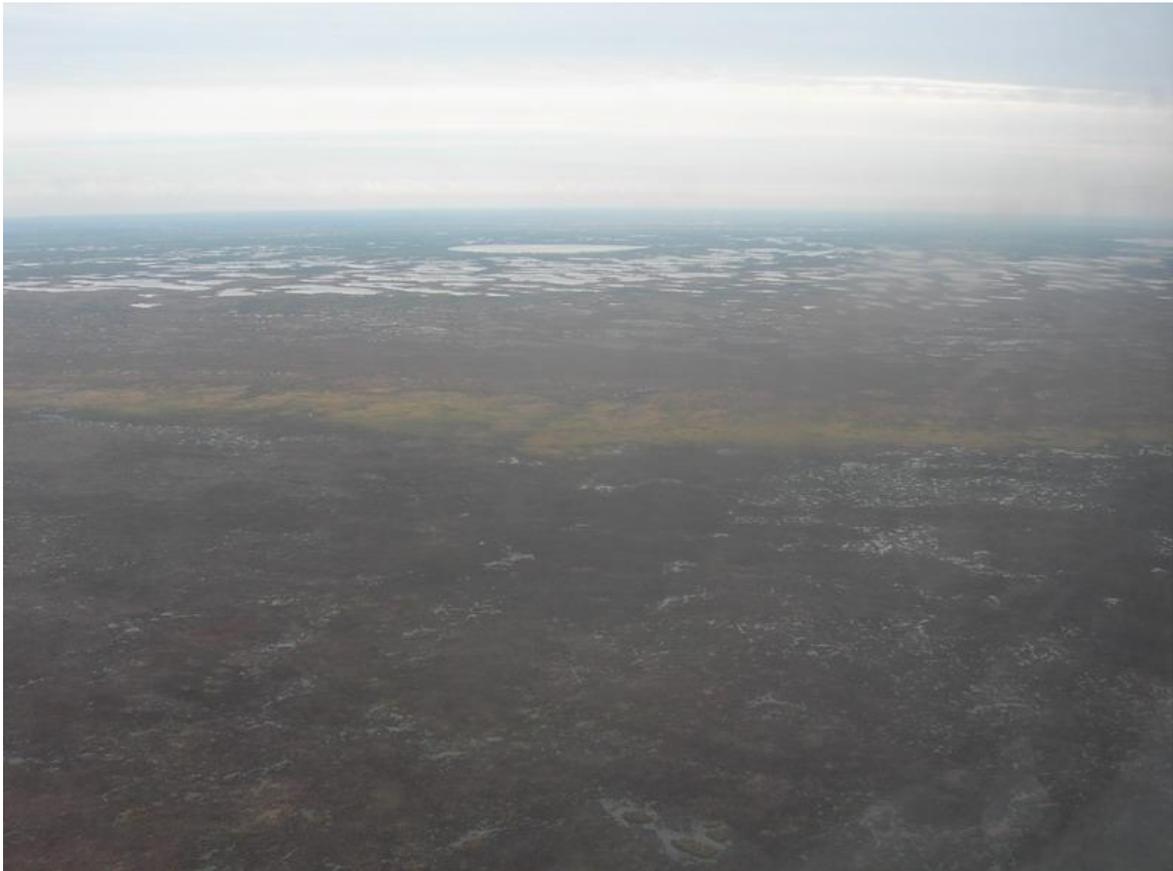


Рис. 2.2. Панорама заболоченной местности в бассейне р. Чаи (приток р. Оби); фото Б.А. Егорова

С учетом указанных выше обстоятельств и опыта расчета ПДС в болота Томской области в ОАО «Томскгеомониторинг», ОГУ «Облком-природа» и Главном управлении природных ресурсов и охраны окружающей среды (ГУПР) Министерства природных ресурсов России по Томской области в 2002-2003 гг. были разработаны «Временные методические указания по проведению расчетов фоновых концентраций веществ в болотных водах и предельно допустимых сбросов (ПДС) вредных веществ в болота со сточными водами», введенные в действие на территории Томской области Приказом ГУПР по Томской области от 23.07.2004 № 0533/з.

Согласно указанному документу, если сброс сточных вод осуществляется в болото протяженностью L_b более 750 м, то расчет фоновых концентраций веществ в болотных водах проводится на удалении от выпуска сточных вод более 500 м (то есть максимальное расстояние от выпуска сточных вод до контрольного створа не должно превышать $2/3$ протяженности болота; величина L_b – расстояние между самыми удаленными точками болота). Если же сброс сточных вод проводится в бо-

лото протяженностью L_{σ} менее 750 м, то расчет фоновых концентраций веществ в болотных водах проводится на болоте-аналоге с примерно такими же болотными микроландшафтами, отсутствием сбросов сточных вод, разливов нефтепродуктов, пластовых вод, захоронений отходов и складов горюче-смазочных материалов [14].



Рис. 2.3. Панорама заболоченной местности в бассейне р. Парабели (приток р. Оби); фото М.Н. Батманова

Для расчета фоновых концентраций веществ в болотных водах необходимо определение химического состава и свойств не менее чем в пяти пробах болотных вод, отобранных в летне-осенний период из деятельного горизонта болота (верхний слой от 7 см до 70 см в зависимости от типа болотного микроландшафта). Пункты отбора должны быть удалены друг от друга более чем на 20 м.

Отбор проб болотных вод проводится в пределах болотного микроландшафта, находящегося в зоне воздействия выпуска сточных вод. Если в зоне воздействия сточных вод расположено несколько болотных микроландшафтов, то отбор проб болотных вод проводится в пределах болотного микроландшафта, наибольшего по площади. Определение химического состава проводится в аккредитованных лабораториях.

Вслед за [44], в данном документе за «фоновую» концентрацию вещества C_f принимается статистически обоснованная верхняя доверительная граница возможных средних значений концентраций этого вещества, рассчитанная по результатам гидрохимических наблюдений с доверительной вероятностью $P=95\%$.

Таблица 2.10. Средние значения гидрохимических показателей вод болот Томской области [61], мг/дм³

Показатель	Тип болота							
	верховой					переходный	низинный	
	преобладающие биогеоценозы							
	ГМОК ¹ линейные формы	ГМОК, нелинейные формы	со- сново- сфагновые	сфагно- во-кустар- ничковые	топи на сфагно- вых био- геоце- нозах	дре- весно- мохо- во- травя- ные	древес- но- мохово- травя- ные	мохо- во- травя- ные
рН	4,6	4,3	4,6	5,5	4,1	5,0	4,6	6,6
Минерализация	37,3	59,8	124,0	47,3	33,3	86,4	189,7	307,0
Fe _{общ.}	3,603	0,100	5,028	1,812	0,470	–	1,500	9,942
ХПК	214,52	126,50	125,21	89,32	64,40	–	133,40	117,87

Примечание: грядово-мочажинные, грядово-озерковые и грядово-мочажинно-озерковые комплексы

Собственно расчет «фоновых» концентраций проводится в два этапа. На первом этапе проводится исключение из выборки концентраций веществ в болотных водах экстремальных значений по формулам (2.1, 2.2). На втором этапе вычисляется «фоновая» концентрация вещества по формуле (1.31).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Назовите основные отличия методики определения фоновых концентраций вещества в болотных водах по сравнению с водотоками.
2. Перечислите гидрологические и гидрохимические характеристики, необходимые для определения фоновой концентрации вещества в болотных водах.

2.4. О связи между гидрохимическими и гидрологическими показателями

Изложенные в разделах 2.1-2.3 методики определения «фоновых» концентраций в поверхностных водах основываются примерно на одних и тех же принципах расчета и практически все в недостаточной степени связаны с современными представлениями о механизме формирования химического состава вод. Даже само определение понятия «фоновая концентрация» и его математическая формулировка, как минимум, не совпадают с общепринятым понятием о некоем «фоне», обусловленном исключительно или преимущественно природными факторами. С учетом этого в работах [62, 63] выполнен анализ связей между гидрохимическими и гидрологическими показателями путем последовательного упрощения одномерного уравнения турбулентной диффузии с функцией источника $f(C) = -k_C \cdot C$.

Не рассматривая в данной работе ход данного анализа, отметим лишь, что уравнение связи между концентрацией вещества и расходом воды при ряде допущений может выглядеть следующим образом:

$$C = C_0 \cdot \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^{-\frac{k_C}{\lambda}}, \quad (2.23)$$

где C_0 и Q_0 – начальные концентрация вещества и расход воды; λ – удельная скорость изменения расхода воды.

Уравнение (2.23) без специального обоснования используется в гидрохимической практике при определении фоновых концентраций веществ и для других целей [44, 73, 77]. На самом деле оно имеет вполне понятный физический смысл и описывает *отклонение концентрации вещества от ее условно равновесного значения, соответствующего среднему геометрическому содержанию* [60, 62]. Для подтверждения этого вывода рассмотрим на феноменологическом уровне систему «вода – порода», в которой протекают необратимые гидрохимические процессы. В целом, состояние этой системы неравновесно, но отдельные ее части квазиравновесны и имеют термодинамические параметры, время изменения которых больше времени релаксации в этих частях и намного меньше времени, за которое устанавливается равновесие во всей системе. В отдельной малой подсистеме протекает L реакций, которые можно объединить в одну суммарную реакцию, описываемую выражением:

$$\Delta G_T = RT \cdot \sum_{i=1}^L \ln \Pi_i - \ln K_T^0, \quad (2.24)$$

где ΔG_T и K_0^T – общее изменение свободной энергии системы и суммарная константа равновесия при заданной температуре T ; Π_i – суммарное произведение активностей компонентов, участвующих в каждой из реакций ($L+1$ – количество веществ, участвующих в суммарной реакции). Используя упрощенное уравнение Дебая-Хюккеля для описания связей между активностью иона и его концентрацией, выражение (2.24) может быть преобразовано к виду:

$$\ln C_x \approx B_* - \sum_{\phi} B_{\phi} \cdot \ln C_{\phi}, \quad (2.25)$$

где B_* , B_{ϕ} – константы. При условии, что вероятность величины $\ln C$ стремится к $1/M$, для математического ожидания логарифма концентрации рассматриваемого вещества $E(\ln C)$ будет справедливо:

$$E(\ln C_x) \approx B_* - \sum_{\phi} B_{\phi} \cdot E(\ln C_{\phi}). \quad (2.26)$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что, во-первых, среднее геометрическое значение концентрации вещества соответствует условно равновесному состоянию системы «вода – порода», соответствующему минимуму свободной энергии. Отклонения от этого состояния определяются интенсивностью водообмена, регулирующей циркуляцию вещества и энергии в водном объекте в соответствии с зависимостями вида (2.23). Во-вторых, под фоновым следует понимать условно равновесное состояние водного объекта, сформировавшееся под влиянием природных и антропогенных факторов за предшествующий статистически однородный период [62, 63].

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Назовите основные противоречия между смыслом и нормативными методиками определения фоновых концентраций в поверхностных водах.
2. Укажите основные природные факторы, определяющие уровень содержания вещества в поверхностных водах.

3. Расчет разбавления сточных вод от организованных одиночных источников

Методы расчета разбавления сточных вод базируются на аналитическом или численном решении уравнения диффузии при тех или иных допущениях и упрощениях. Некоторые из них связаны с типом водного объекта и особенностями его водного режима, что определяет целесообразность дифференцированного рассмотрения разбавления в реках, озерах и водохранилищах, болотах стоков из организованных одиночных

ных источников. При этом основной упор был сделан на методы расчета, утвержденные или рекомендуемые к применению в водохозяйственной практике на территории бывшего СССР, а в настоящее время – в Российской Федерации [13, 40, 41, 44].

3.1. Расчет разбавления сточных вод в реках

3.1.1. Аналитические методы

3.1.1.1. Расчет начального разбавления по методу Н.Н. Лапшева

Для ускорения процесса разбавления сточных вод широко применяются рассеивающие водовыпуски, в которых из-за увеличения скорости истечения образуется турбулентный поток. В результате происходит начальное разбавление стоков [35]. Данный фактор учитывается для напорных сосредоточенных и рассеивающих выпусков при абсолютных скоростях истечения струи из выпуска свыше 2 м/с или при соотношении $v_{cm} \geq 4 \cdot v_{cp}$, где v_{cp} и v_{cm} – скорости речных (средние) и сточных вод соответственно, причем величина v_{cm} вычисляется по формуле:

$$v_{cm} = \frac{4 \cdot q_{cm}}{\pi \cdot d_{0,cm}^2 \cdot N_0}, \quad (3.1)$$

где q_{cm} – общий расход сточных вод, м³/с; $d_{0,cm}$ и N_0 – диаметр и количество оголовков выпуска. В прочих случаях кратность начального разбавления n_n в формуле (1.26) принимается равной единице.

При соблюдении указанных выше условий расчет величины n_n проводится на основе зависимости:

$$n_n = \frac{0,248}{1 - m_v} \cdot \bar{d}_{cm}^2 \cdot \left(\sqrt{m_v^2 + 8,1 \cdot \frac{1 - m_v}{\bar{d}_{cm}^2} - m_v} \right) \cdot f\left(\frac{h}{d_{cm}}\right), \quad (3.2)$$

где $m_v = v_{cp}/v_{ст}$. Значение функции $f\left(\frac{h}{d_{cm}}\right)$ принимается равным единице, если диаметр несесненной струи d меньше глубины потока h ($d_{cm} < h$). В противном случае ($d_{cm} \geq h$) значение $f\left(\frac{h}{d_{cm}}\right)$ определяется по специальной номограмме (рис. 3.1).

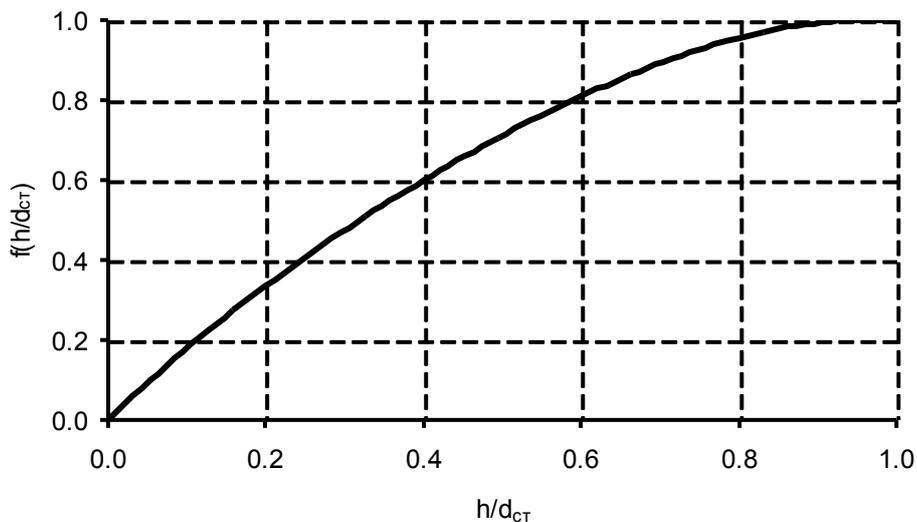


Рис. 3.1. График для расчета функции $f\left(\frac{h}{d_{ст}}\right)$

Диаметр несжатой струи в уравнении (3.3) рассчитывается по формуле:

$$d_{ст} = d_{0,ст} \cdot \bar{d}_{ст}, \quad (3.3)$$

где параметр $\bar{d}_{ст}$ определяется в зависимости от величин $((v_{ст}+0,15)/v_{ст}-1)$ и m_v по номограмме (3.2).

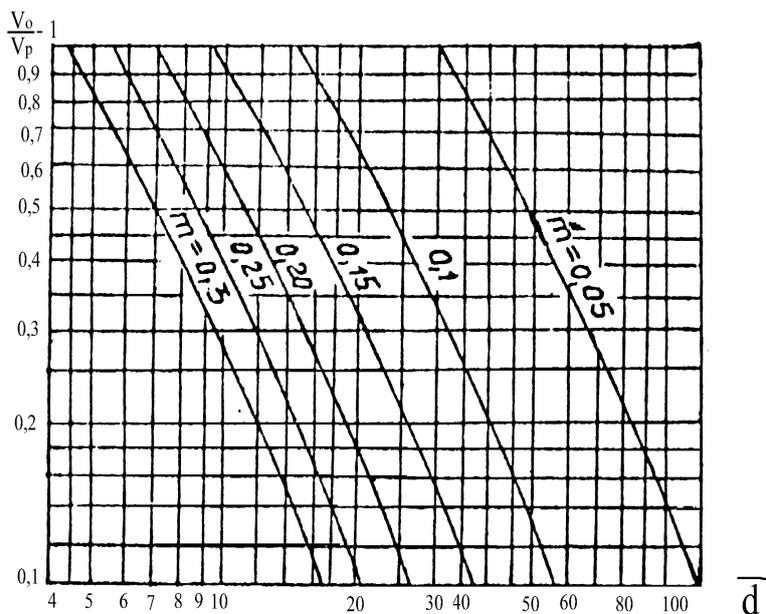


Рис. 3.2. Номограмма для определения диаметра струи в расчетном сечении ($v_0=v_{ст}+0,15$)

Расстояние от выпуска до контрольного створа l_n , согласно [40], определяется по формуле:

$$l_n = \frac{d_{cm}}{0,48 \cdot \left(-3,12 \cdot m_v \right)} \quad (3.5)$$

3.1.1.2. Пример расчета начального разбавления по методу Н.Н. Лапшева

Дано: расчетный расход речных вод $116 \text{ м}^3/\text{с}$; средняя скорость течения $0,15 \text{ м/с}$; максимальная скорость течения $0,32 \text{ м/с}$; средняя глубина $2,34 \text{ м}$; скорость истечения сточных вод 3 м/с ; количество выпускных отверстий – 9; диаметр каждого отверстия $0,2 \text{ м}$.

Ход вычислений:

1. Проверяется условие применимости метода (для рассматриваемого рассеивающего выпуска выполняются условия $v_{cm} \geq 4 \cdot v_p$, и $v_{cm} > 2 \text{ м/с}$).

$$m_v = 0,15/3 = 0,05;$$

$$\left((v_{cp} + 0,15) / v_{cp} - 1 \right) = 1.$$

2. По номограмме (рис. 3.2) находим: $\bar{d}_{cm} = 30$; $d_{cm} = 0,2 \cdot 30 = 15 \text{ м}$.

3. Учитывая, что диаметр загрязненного пятна в граничном створе зоны начального разбавления больше глубины потока ($d > h$), по номограмме определяем поправочный коэффициент $f(h/d) = 0,27$.

4. Определяем кратность начального разбавления n_n

$$n_n = \frac{0,248}{1 - 0,05} \cdot 30^2 \cdot \left(\sqrt{0,05^2 + 8,1 \cdot \frac{1 - 0,05}{30^2}} - 0,05 \right) \cdot 0,27 = 3,5.$$

5. Расстояние до пограничного сечения воды начального разбавления l_n определяется по формуле:

$$l_n = \frac{30}{0,48 \cdot \left(-3,12 \cdot 0,05 \right)} = 74 \text{ м}.$$

3.1.1.3. Расчет основного разбавления по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера

Метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера является одним из наиболее распространенных при расчете основного разбавления сточных вод в водотоках (при условии $0,0025 \leq q_{cm}/Q \leq 0,1$). Расчет концентрации нормируемого вещества в максимально загрязненной струе в контрольном створе выполняется по уравнению (1.22), допустимая концентрация в

сточных водах – по формуле (1.28), кратность основного разбавления – по формуле (1.23). При этом коэффициент смешения γ рассчитывается по формуле:

$$\gamma = \frac{1 - \exp(-\alpha \cdot \sqrt[3]{L_\phi})}{1 + \frac{Q}{q_{cm}} \cdot \exp(-\alpha \cdot \sqrt[3]{L_\phi})}, \quad (3.6)$$

где L_ϕ – расстояние от выпуска до контрольного створа по фарватеру, м; α – коэффициент, зависящий от гидравлических условий потока и определяемый по формуле:

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{D_c}{q_{cm}}}, \quad (3.7)$$

где φ – коэффициент извилистости (отношение расстояния до контрольного створа по фарватеру к расстоянию по прямой); ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод (при выпуске у берега $\xi=1$, при выпуске в стрежень реки $\xi=1,5$). Применительно к рассматриваемому методу коэффициент турбулентной диффузии в [40] рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$D_c = \frac{g \cdot v_{cp} \cdot h_{cp}}{37 \cdot n_{ш} \cdot C_{ш}^2}, \quad (3.8)$$

где g – ускорение свободного падения ($g=9,81$ м/с²); $n_{ш}$ – коэффициент шероховатости ложа реки; v_{cp} – средняя скорость течения, м/с; $C_{ш}$ – коэффициент Шези (м^{0.5}/с), определяемый по формуле Н.Н. Павловского (при допущении равенства значений гидравлического радиуса и средней глубины):

$$C_{ш} = \frac{h_{cp}^{y_{ш}}}{n_{ш}}, \quad (3.9)$$

$$y_{ш} = 2,5 \cdot \sqrt{n_{ш}} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{h_{cp}} \cdot (\sqrt{n_{ш}} - 0,1). \quad (3.10)$$

В случае проведения расчетов в период ледостава в формулы (3.8-3.10) вместо глубины потока h_{cp} вводится значение $0,5 \cdot h_{cp}$, а вместо коэффициента шероховатости ложа $n_{ш}$ – его приведенное значение $n_{ш.лп}$:

$$n_{ш.лп} = n_{ш} \cdot \left[1 + \left(\frac{n_{л}}{n_{ш}} \right)^{1,5} \right]^{0,67}, \quad (3.11)$$

где $n_{л}$ – коэффициент шероховатости нижней поверхности льда, принимаемый по специальной таблице в зависимости от продолжительности ледостава [44].

В целом, данный метод достаточно прост в применении и позволяет получить достоверное представление о потенциально возможном разбавлении сточных вод в стационарных, максимально неблагоприятных условиях, что и определяет целесообразность его использования для расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах. Вместе с тем, этот метод, опирающийся на простейшую зависимость (1.22), далеко не всегда пригоден для оперативных гидрохимических прогнозов.

3.1.1.4. Пример расчета основного разбавления по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера

Дано: расчетный период – зимняя межень; расчетный расход речных вод $116 \text{ м}^3/\text{с}$; средняя скорость течения $0,15 \text{ м/с}$; средняя глубина $2,34 \text{ м}$; коэффициент извилистости $1,5$; коэффициент шероховатости при открытом русле $0,040$; коэффициент шероховатости нижней поверхности льда $0,020$; расчетный максимальный среднечасовой расход сточных вод $3,44 \text{ м}^3/\text{с}$; выпуск сточных вод осуществляется в стрежень реки; расстояние от выпуска сточных вод до расчетного створа – 74 м .

Ход вычислений:

1. Выполняется проверка применимости метода (для выпуска сточных вод выполняется условие $0,0025 \leq q/Q \leq 0,1$ ($q/Q = 0,03$)).
2. Лимитирующий месяц – март, поэтому в расчетах используются приведенные значения глубины потока h_n , коэффициентов шероховатости $n_{ум}$ и Шези $C_{Шн}$.

$$h_n = 0,5 \cdot 2,34 = 1,17 \text{ м};$$

$$n_{ум} = 0,04 \cdot \left[1 + \left(\frac{0,02}{0,04} \right)^{1,5} \right]^{0,67} = 0,049;$$

$$y_{II} = 2,5 \cdot \sqrt{0,049} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{1,17} \cdot \left(\sqrt{0,049} - 0,1 \right) = 0,325;$$

$$C_{ум} = \frac{1,17^{0,325}}{0,049} = 21,477 \text{ м}^{0,5}/\text{с}.$$

3. Проводится расчет коэффициента диффузии:

$$D_c = \frac{9,81 \cdot 0,15 \cdot 1,17}{37 \cdot 0,049 \cdot 21,479^2} = 0,00206 \text{ м}^2/\text{с}.$$

4. Выполняется расчет параметра для определения коэффициента смешения сточных и речных вод и коэффициента смешения:

$$\alpha = 1,5 \cdot 1,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00206}{3,44}} = 0,19;$$

$$\gamma = \frac{1 - \exp\left(-0,19 \cdot \sqrt[3]{74}\right)}{1 + \frac{116}{3,44} \cdot \exp\left(-0,19 \cdot \sqrt[3]{74}\right)} = 0,034.$$

5. Проводится определение кратности основного разбавления:

$$n_o = \frac{0,034 \cdot 116 + 3,44}{3,44} = 2,15.$$

3.1.1.5. Прочие аналитические методы

Помимо указанных выше методов расчета разбавления сточных вод в водотоках, существует значительное количество способов оценки распространения веществ в воде водотоков на основе аналитических решений стационарных и нестационарных одно-, двух- и трехмерных уравнений диффузии и аналитической аппроксимации конечно-разностных схем [7, 13, 34, 35, 41, 48, 82, 84, 87 и др.]. Примечательно, что многие из них получены для решения гидрогеологических задач и задач химической технологии, но, тем не менее, могут использоваться и в процессе исследования поверхностных водных объектов. В то же время, качество исходной информации и характер решаемых вопросов предполагают целесообразность использования наиболее простых решений.

3.1.2. Численные методы

3.1.2.1. Расчет распределения концентраций по методу А.В. Караушева

При необходимости более подробного изучения условий распространения вещества в исследуемом водотоке или несоблюдении определенных условий обычно рекомендуется использовать численные методы решения уравнения турбулентной диффузии. В частности, во многих нормативных документах имеются ссылки на предложенный А.В. Караушевым [24] конечно-разностный метод решения для условий плоской задачи (при допущении преобладающей роли адвективного переноса вещества вдоль русла x и диффузионного переноса по нормали к оси потока y):

$$\frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{D'_c}{\nu} \cdot \frac{\Delta^2 C}{\Delta y^2}. \quad (3.12)$$

Коэффициент турбулентной диффузии D'_c рассчитывается следующим образом:

$$D'_C = \frac{g \cdot v_{cp} \cdot h_{cp}}{M_{uu} \cdot C_{uu}}, \quad (3.13)$$

где величина M_{uu} определяется по формуле:

$$M_{uu} = \begin{cases} 0,7 \cdot C_{uu} + 6 & \text{при } 10 \leq C_{uu} \leq 60 \\ 48 & \text{при } C_{uu} > 60 \end{cases}, \quad (3.14)$$

Более полный учет поперечной циркуляции в потоке и его кинематической неоднородности проводится путем ввода поправочного коэффициента ε_κ в выражение для расчета коэффициента диффузии [7, 73]:

$$D''_C = k_{m\kappa} \cdot D'_C, \quad (3.15)$$

$$\lg k_{m\kappa} = 0,25 \cdot \theta \cdot (1 + 0,54 \cdot \varepsilon_\kappa) + 0,589 \cdot \varepsilon_\kappa - 0,356, \quad (3.16)$$

$$\varepsilon_\kappa = 1 + \frac{0,0042 \cdot h_{cp}}{R_{изл}} \cdot M_{uu} \cdot C_{uu} \cdot \sqrt{M_{uu} \cdot C_{uu}}, \quad (3.17)$$

$$\theta_\kappa = \frac{h_m - h_{cp}}{h_{cp}}, \quad (3.18)$$

где h_m – максимальная из средних на участке глубина, м.

При расчете речной поток в плане разбивается сеткой, размеры ячеек которой определяются следующими зависимостями:

$$b_\kappa = \frac{q_{cm}}{h_{cp} \cdot v_{cp}}, \quad (3.19)$$

$$\begin{cases} \Delta y \geq 0,5 \cdot b_\kappa \\ \Delta y \leq 0,1 \cdot B_p \end{cases}, \quad (3.20)$$

$$\Delta x = v_{cp} \cdot \frac{\Delta y^2}{2 \cdot D_C^*}, \quad (3.21)$$

где b_κ – ширина загрязненной струи; B_p – средняя ширина потока; D_C^* – D'_C или D''_C . Краевые условия задаются соотношениями:

$$\begin{cases} \left. \frac{\Delta C}{\Delta y} \right|_{граница} = 0 \\ C_0 = C_{cm} \end{cases} \quad (3.22)$$

Концентрация вещества определяется как среднее между значениями двух соприкасающихся ячеек (3.23), а кратность основного разбавления – по уравнению (1.27).

$$C_{i+1,j} = 0,5 \cdot (C_{i,j+1} + C_{i,j-1}), \quad (3.23)$$

где i и j – шаг вдоль и поперек потока. Искомой величиной (концентрация нормируемого вещества в максимально загрязненной струе) является

ся максимальное значение в контрольном створе, после определения которого по формуле (1.27) рассчитывается кратность общего разбавления, а по формуле (1.28) – допустимая концентрация рассматриваемого вещества в сточных водах.

Данный метод, несмотря на грубость схематизации процесса переноса ЗВ, по сравнению с прочими общепринятыми методами позволяет получить наиболее полную картину изменения химического состава речных вод, но при «ручном» способе сопряжен с некоторыми затратами времени при рассмотрении крупных водных объектов и проверке правильности вычислений в контролирующих органах.

3.1.2.2. Пример расчета распределения минерализации по методу А.В. Караушева

Дано: расчетный период – зимний; расчетный расход речных вод 1156 м³/с; средняя скорость течения 0,35 м/с; средняя глубина 6,8 м; максимальная средняя глубина на участке 19,5 м; расчетная ширина русла 880 м; коэффициент шероховатости при открытом русле 0,040; коэффициент шероховатости нижней поверхности льда 0,020; расчетный максимальный расход сточных вод 0,28 м³/с; расстояние между створом выпуска стоков и контрольным створом 500 м; выпуск в 50 м от правого берега; «фоновая» минерализация 194,8 мг/дм³; минерализация сточных вод 306,4 мг/дм³.

Ход вычислений:

1. Выполняется определение расчетных значений приведенной глубины потока в зимний период, коэффициента Павловского, приведенного коэффициента шероховатости, параметра $M_{ин}$:

$$h_n = 0,5 \cdot 6,8 = 3,4 \text{ м};$$

$$n_{ин} = 0,04 \cdot \left[1 + \left(\frac{0,02}{0,04} \right)^{1,5} \right]^{0,67} = 0,049;$$

$$y_n = 2,5 \cdot \sqrt{0,049} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{3,4 \cdot (\sqrt{0,049} - 0,1)} = 0,256;$$

$$C_{ин} = \frac{3,4^{0,256}}{0,049} = 27,904 \text{ м}^{0,5}/\text{с};$$

$$M = 0,7 \cdot 27,904 + 6 = 25,533.$$

2. Рассчитывается коэффициент диффузии с поправкой на поперечную циркуляцию:

$$D'_c = \frac{9,81 \cdot 0,35 \cdot 3,4}{27,904 \cdot 25,533} = 0,016;$$

$$k_{ин} = 1,833;$$

$$D_c'' = 1,833 \cdot 0,016 = 0,030.$$

3. Речной поток в плане разбивается сеткой, размеры ячеек которой определяются следующими соотношениями:

$$b_k = \frac{0,28}{3,4 \cdot 0,35} = 0,24 \text{ м};$$

$$\begin{cases} \Delta y \geq 0,5 \cdot 0,24 \\ \Delta y \leq 0,1 \cdot 880 \end{cases};$$

$$\Delta y = 1 \text{ м};$$

$$\Delta x = 0,35 \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 0,030} = 5,8 \text{ м}.$$

4. Краевые условия задаются соотношениями: «фоновая» минерализация 194,8 мг/дм³; минерализация сточных вод 306,4 мг/дм³.

5. Выполняется расчет минерализации в каждой ячейке поля по формуле (3.23). Результаты расчета в сокращенном виде приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Фрагмент таблицы расчета поля минерализации речных вод ниже по течению от выпуска сточных вод, мг/дм³

Расстояние от выпуска по длине реки, м	Расстояние по ширине реки от правого берега, м						
	...	48,0	49,0	50,0	51,0	52,0	...
0,0	...	194,8	194,8	306,4	250,6	194,8	...
5,8	...	194,8	250,6	222,7	250,6	222,7	...
11,7	...	222,7	208,8	250,6	222,7	222,7	...
17,5	...	201,8	236,7	215,7	236,7	215,7	...
23,3	...	222,7	208,8	236,7	215,7	222,7	...
29,1	...	203,5	229,7	212,2	229,7	212,2	...
35,0	...	221,0	207,9	229,7	212,2	221,0	...
40,8	...	204,0	225,3	210,1	225,3	210,1	...

3.1.2.3. Прочие численные методы

Численное решение уравнения турбулентной диффузии может быть получено и иными способами, различающимися между собой видом функции источника $f(C)$, способом учета изменений водного стока, взаимодействий с речными наносами и донными отложениями, поступления загрязненных сточных вод, характером упрощения исходного уравнения диффузии и схемой построения разностных схем. Например,

в работах [70] рассматривается одномерное уравнение переноса с функцией источника:

$$f(C) = -\omega \cdot k \cdot C + \delta(x - x_{cm}) \cdot C_{cm}, \quad (3.24)$$

где $\delta(x)$ – дельта-функция Дирака; x_{cm} – точка сброса; прочие обозначения приведены в главе 1. Численное решение данного уравнения получено с использованием двухшаговой явной разностной схемы Лакса-Вендорфа.

В целом же следует отметить, что при изучении распространения загрязняющих веществ в воде поверхностных водотоков наиболее часто рассматриваются одномерные уравнения переноса с линейной функцией источника [48, 75, 83 и др.].

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Перечислите методы определения кратности разбавления сточных вод в водотоках.
2. Укажите основные ограничения и преимущества методов определения кратности разбавления сточных вод в водотоках.

3.2. Расчет разбавления сточных вод в озерах и водохранилищах

3.2.1. Аналитические методы

3.2.1.1. Расчет начального и основного разбавления по методу М.А. Руффеля

Кратность начального и основного разбавления по методу М.А. Руффеля может быть вычислена в случаях сброса сточных вод в: 1) мелководную часть или в верхнюю треть глубины водоема и в распространении загрязненной струи вдоль берега под воздействием поверхностного течения, имеющего одинаковое с ветром направление; 2) в нижнюю треть глубины водоема и при распространении загрязненной струи к береговой полосе против выпуска под воздействием донного компенсационного течения, имеющего направление, обратное направлению ветра [40].

Кратность начального разбавления определяется:

- 1) при выпуске в мелководье или верхнюю треть глубины водоема

$$n_n = \frac{q_{cm} + 0.00215 \cdot v_s \cdot h_{cp.с}^2}{q_{cm} + 0.000215 \cdot v_s \cdot h_{cp.с}^2}; \quad (3.25)$$

- 2) при выпуске в нижнюю треть глубины водоема

$$n_n = \frac{q_{cm} + 0,00158 \cdot v_в \cdot h_{cp.в}^2}{q_{cm} + 0,000079 \cdot v_в \cdot h_{cp.в}^2}, \quad (3.26)$$

где $v_в$ – скорость ветра над водой в месте выпуска сточных вод, м/с; $h_{cp.в}$ – средняя глубина (м) водоема вблизи выпуска на участке протяженностью L_3 в зависимости от средней глубины водоема h_{cp} (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Протяженность загрязненной зоны водоема

Средняя глубина водоема h_{cp} , м	Протяженность загрязненной зоны L_3 , м
3–4	100
5–6	150
7–8	200
9–10	250

Кратность основного разбавления рассчитывается:

1) при выпуске в мелководье или верхнюю треть глубины водоема

$$n_o = 1 + 0,412 \cdot \bar{X}^{0,627+0,0002 \cdot \bar{X}}, \quad (3.27)$$

где $\bar{X} = \frac{X}{\Delta x_r}$; $\Delta x_r = 6,53 \cdot h_{cp.в}^{1,167}$; X – расстояния от выпуска до контрольного створа, м;

2) при выпуске в нижнюю треть глубины водоема

$$n_o = 1,85 + 2,32 \cdot \bar{X}^{0,41+0,0064 \cdot \bar{X}}, \quad (3.28)$$

где $\bar{X} = \frac{X}{\Delta x_r}$; $\Delta x_r = 4,41 \cdot h_{cp.в}^{1,167}$.

Общая кратность разбавления вычисляется на основе полученных значений n_n и n_o по формуле (1.26), по формуле (1.28) – допустимая концентрация рассматриваемого вещества в сточных водах. В целом, недостатки данного метода вытекают из условий, для которых он разработан: формула (3.27) применима для участков не более 20 км, формула (3.28) – не более 0,5 км; расчеты проводятся для открытых участков водоемов с относительно прямолинейной береговой линией [21].

3.2.1.2. Пример расчета начального и основного разбавления по методу М.А. Руффеля

Дано: средняя глубина озера в зоне влияния сброса 0,47 м; расчетный период – зимний. Расстояние между контрольным створом и выпуском сточных вод составляет 180 м; максимальный расход сточных вод 0,093 м³/с.

Ход вычислений:

1. Рассчитывается кратность начального разбавления n_n :

$$n_n = \frac{0,093 + 0,00215 \cdot 0 \cdot 0,47^2}{0,093 + 0,000215 \cdot 0 \cdot 0,47^2} = 1,$$

Таким образом, в расчетный зимний период из-за ледостава ветровые течения на озере отсутствуют, вследствие чего кратность начального разбавления практически не имеет значения при расчете кратности общего разбавления

2. Выполняется расчет кратности основного разбавления n_o при выпуске в мелководье:

$$\Delta x_r = 6,53 \cdot 0,47^{1,167} = 2,7;$$
$$n_o = 1 + 0,412 \cdot \left(\frac{180}{2,7} \right)^{0,627 + 0,0002 \cdot 180 / 2,7} = 7,06.$$

3.2.1.3. Прочие аналитические методы

Среди прочих аналитических методов следует отметить метод Н.Н. Лапшева, который применим для рассеивающих и сосредоточенных выпусков сточных вод при скорости их истечения более или равной 2 м/с, расположении выпуска на некотором удалении от берега в месте с относительной глубиной водоема $h/d_{0,cm} > 30$, где $d_{0,cm}$ – диаметр выпускного отверстия [35]. Кратность (наименьшая) общего разбавления на расстоянии X от выпуска стоков в водоем может быть рассчитана по выражению:

$$n = L \cdot \left(\frac{0,2 \cdot X}{d_{0,cm}} \right)^{\zeta \cdot \mu}, \quad (3.29)$$

где $L=1$, если выпуск сосредоточенный. Для рассеивающего выпуска величина L находится по формуле:

$$L = 0,74 \cdot \left(\frac{X}{l_1} + 2,1 \right)^{-0,4}, \quad (3.30)$$

где l_1 – расстояние между оголовками выпуска. Параметр ζ вычисляется в зависимости от преобладающих факторов движения воды в водоеме. Так, если это движение определяется стоком, расчет ζ проводится по формуле (3.31), а если ветром (или известны скорости стоковых течений) – то по формуле (3.32):

$$\zeta = \frac{L_s \cdot \omega_0}{0,000015 \cdot \beta_s \cdot V_{cm} + L_s \cdot \omega_0}, \quad (3.31)$$

$$\zeta = \frac{v_{\epsilon}}{0,000015 \cdot v_{cm} + v_{\epsilon}}, \quad (3.32)$$

где L_{ϵ} – длина водоема от места выпуска в направлении стокового течения, м; ω_0 – суммарная площадь выпускных отверстий, м²; β_{ϵ} – период обмена воды в водоеме, годы; V_{cm} – годовой объем сточных вод, поступающих в водоем, м³; v_{cm} – скорость истечения сточных вод (на выпуске), м/с; v_{ϵ} – скорость течения, м/с. Параметр μ рассчитывается по формуле:

$$\mu = 0,875 + \frac{0,325 \cdot h}{360 + \frac{v_{\epsilon}}{v_{cm}} \cdot 10^5}. \quad (3.33)$$

Кроме того, как и в случае рек, для водоемов расчет концентрации вещества в заданной точке водоема может быть проведен на основе аналитического решения уравнения диффузии при определенных его упрощениях. Например, пренебрегая диффузионным членом стационарного уравнения диффузии в цилиндрических координатах с функцией источника $f(C) = -k_C \cdot C$, расчетное выражение для определения концентрации нормируемого вещества на расстоянии r_C от выпуска сточных вод принимает вид [7]:

$$C_r = C_{cm} \cdot \exp \left(- \frac{k_C \cdot r_C^2}{2 \cdot \left(D_C - \frac{q_{cm}}{\epsilon_r \cdot h_{cp}} \right)} \right), \quad (3.34)$$

где ϵ_C – угол сектора распространения сточных вод (при выпуске вдали от берега $\epsilon_C = 2 \cdot \pi$, при выпуске у прямолинейного берега $\epsilon_C = \pi$, $\pi = 3,14$); h_{cp} – средняя глубина водоема; D_C – коэффициент турбулентной диффузии, определяемый по формуле:

$$D_C = \frac{\left(\mathcal{G} \cdot h_{вл,1\%} + \pi \cdot v_{вл} \cdot h_{cp} \right) \cdot d_{\epsilon}^{\frac{1}{3}}}{b_B \cdot h_{cp}^{\frac{1}{3}}}, \quad (3.35)$$

\mathcal{G} – фазовая скорость волн, м/с; $h_{вл,1\%}$ – высота волны 1%-ной обеспеченности, м; $v_{вл}$ – среднее значение скорости переноса, м/с; b_B – эмпирический коэффициент ($b_B \approx 700$); d_{ϵ} – эффективный диаметр донных отложений (значение, ограничивающее 10 % наиболее крупных частиц), м. Фазовая скорость волн рассчитывается по формуле (3.36), а средняя скорость переноса, обусловленная ветровым течением, – по формуле (3.37).

$$g = \begin{cases} \sqrt{\frac{g \cdot L_{\text{вл}}}{2 \cdot \pi}} & \text{при } h_{\text{ср}} > 0,5 \cdot L_{\text{вл}} \\ \sqrt{g \cdot (h_{\text{ср}} + h_{\text{вл},1\%})} & \text{при } h_{\text{ср}} < 0,5 \cdot L_{\text{вл}} \end{cases}, \quad (3.36)$$

где $L_{\text{вл}}$ – длина волны, м;

$$v_{\text{вл}} = \theta_v \cdot v_{\text{вет},2} \cdot \sqrt{3 + 10 \cdot h_{\text{вл},1\%}}, \quad (3.37)$$

$v_{\text{вет},2}$ – скорость ветра на высоте 2 м над водной поверхностью, м/с; θ – коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициента Шези по табл. 3.3. В свою очередь, коэффициент Шези определяется по формуле Штриклера:

$$C_u = 33 \cdot \left(\frac{h_{\text{ср}}}{d_s} \right)^{\frac{1}{5}}. \quad (3.38)$$

Таблица 3.3. Значения коэффициента θ [7]

C_u	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\theta_v \cdot 10^2$	0,10	0,18	0,27	0,34	0,42	0,50	0,55	0,60	0,46	0,68

Следует отметить, что при залповом поступлении сточные воды могут вытеснять воды исследуемого объекта. При этом зона смешения имеет линейный размер r_0 :

$$r_0 = \sqrt{\frac{\Gamma \cdot q_{\text{см}}}{\pi \cdot h_{\text{ср}}}}, \quad (3.39)$$

где $\Gamma=2$, если выпуск сточных вод расположен у берега; иначе $\Gamma=0,5$ [3].

3.2.2. Численные методы

Если не выполняются условия применимости метода М.А. Руффеля и прочих аналитических методов, то, как и в случае водотоков, рекомендуется проводить расчет кратности общего разбавления численными методами с учетом ветрового воздействия и специфики трансформации химического состава воды в условиях замедленного водообмена. Так, коэффициент турбулентной диффузии может быть определен по формуле (3.35). Зависимость от скорости ветра учитывается и в ряде параметров функции источника. Например, в работе [78] поток кислорода $f(\text{O}_2)$ через свободную поверхность водоема описывается выражением:

$$f(\text{O}_2) = C_{\text{O},p} - C_{\text{O}} \cdot (0,728 \cdot \sqrt{v_s} - 0,317 \cdot v_s + 0,037 \cdot v_s^2), \quad (3.40)$$

где $C_{0,p}$ и C_0 – предельное равновесное и фактическое содержания растворенного кислорода в воде.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Перечислите методы определения кратности разбавления сточных вод в водоемах.
2. Укажите основные ограничения и преимущества методов определения кратности разбавления сточных вод в водоемах.

3.3. Расчет разбавления сточных вод в болотах

3.3.1. Аналитические методы

3.3.1.1. Расчет распределения концентраций веществ по методу РосНИИВХ

Метод расчета допустимой концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих в болото, предложен в конце 1990-х гг. специалистами РосНИИВХ. Расчетное выражение для $C_{ст.ок}$ имеет вид [52, 53, 55]:

$$C_{ст.ок} = \left(\frac{C_{ДК} - C_{фр}}{C_{фр}} \right) \cdot k_{\delta}, \quad (3.41)$$

где $C_{фр}$ – «фоновая» концентрация рассматриваемого вещества в реке, дренирующей болото; k_{δ} – наименьшее из осредненных значений коэффициента самоочищения болотных вод, рассчитанных на основе данных двухлетних гидрохимических наблюдений для различных гидрологических сезонов по формуле:

$$k_{\delta} = C_{ст} / C_{вых}, \quad (3.42)$$

где $C_{вых}$ – концентрация рассматриваемого вещества на выходе из болота; прочие обозначения приведены в главе 1. При этом предусматривается выявление региональных зависимостей между значениями k_{δ} , длиной транзитного потока и разницей между концентрацией искомого вещества в сточных и болотных водах.

На наш взгляд, данный метод может быть применен на относительно небольших и дренируемых реками долинных болотах, характерных для Урала, Восточной Европы и лесостепной зоны Сибири. Но его использование в таежной зоне Западной Сибири, где расположены болотные массивы площадью в сотни и тысячи квадратных километров, существенно затруднено, поскольку, как указывалось в главах 2 и 3, химический состав болотных вод заметно меняется внутри болота в зависимости от преобладающего болотного биогеоценоза, а линии водного стока имеют сложную конфигурацию, не позволяющую достоверно определить значение k_{δ} .

3.3.1.2. Расчет распределения концентраций веществ на основе аналитического решения уравнения диффузии

С учетом указанных в разделе 3.3.1.1 ограничений автором предложен метод расчета концентрации вещества в болотных водах, пригодный для условий обширных западно-сибирских болот. По-сути, он является адаптацией расчета максимальной концентрации вещества в воде водоема по формуле (3.34) применительно к болотам, в пределах которых распространение смешанных сточных и болотных вод осуществляется в виде нечетко выраженного поверхностного или фильтрационного потока. Расчет проводится при наличии не менее трех определений химического состава болотных вод в точках, расположенных по направлению движения болотных (сточно-болотных) вод на расстоянии между ближайшими пунктами опробования от 20 до 100 м.

В противоположном случае допустимая концентрация устанавливается на уровне фоновых значений или региональных нормативов, а при их отсутствии – на уровне ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения. Вместо глубины водоема в формуле (3.34) используется значение h_{δ} половины глубины деятельного горизонта болота h_{δ} :

$$h_{\delta}=0,5 \cdot h_{\delta} \quad (3.43)$$

При этом величина h_{δ} и прочие гидрологические характеристики болота определяются путем измерения в соответствии с требованиями [50, 76], а в случае отсутствия гидрометрических наблюдений – ориентировочно по табл. 3.4.

Коэффициент диффузии определяется по формуле:

$$D_C=\lambda_{\delta} \cdot v_{\delta}, \quad (3.44)$$

где λ_{δ} - коэффициент гидродисперсии, определяемый путем измерений, методами оптимизации или принимаемый по литературным данным, например, по таблице 3.5 (активная пористость может быть взята ориентировочно в размере 80-85%).

Таблица 3.4. Основные гидрологические характеристики разных типов болотных микроландшафтов [8, 22]

Биогеоценоз	Глубина деятельного горизонта h_{∂} , м	Уклон поверхности болота i_{∂}	Скорость движения болотных вод v_{∂} , 10^{-6} м/с	Средняя проточность q_z , л/(с·км)
1	2	3	4	5
Сосново-кустарничковый (высота деревьев 9-13 м)	0,54	0,01-0,02	1,852-5,556	0,5-1,5
Сосново-сфагново-кустарничковый (высота деревьев 4-6 м)	0,49	0,005-0,008	2,859-8,160	0,7-2,0
Сфагново-кустарничковый и сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной (центральные части выпуклых массивов)	0,22	0,00125-0,0015	5,625-22,731	1,0-2,5
Грядово-мочажинные и грядово-озерковый комплексы	0,33-0,38	0,0018-0,0037	4,213-24,248	0,8-4,0
Сильнообводненные грядово-мочажинный и грядово-озерковый комплексы, необлесенные или малооблесенные, с открытой водной поверхностью в мочажинах или озерах	0,39	0,0008-0,0027	10,255-76,921	2,0-15,0
Гипново-осоковый	0,52	0,0003-0,0005	19,236-34,722	5,0-9,0

Таблица 3.5. Значения параметров гидродисперсии для торфа [36]

Параметр	Значения параметров при различной плотности торфяного скелета торфа, кг/м ³		
	152	190	281
Активная пористость, %	85,8	73,5	72,6
$\lambda_{\bar{\sigma}}$, м	0,002	0,0028	0,0018

Коэффициент самоочищения k_C определяется следующим образом. Во-первых, в каждой точке наблюдения и для каждого вещества рассчитывается величина k_C по формуле:

$$k_C = -\ln\left(\frac{C_x}{C_{cm}}\right) \cdot \frac{2 \cdot \left(D_C - \frac{q_{cm}}{\varepsilon_r \cdot h_{\bar{\sigma}}}\right)}{X^2}, \quad (3.45)$$

где C_x – измеренная концентрация в пункте на расстоянии X от выпуска сточных вод; прочие обозначения приведены в главе 1 и разделе 3.2.1.3. Во-вторых, строится графическая или аналитическая зависимость величины k_C от расстояния x между выпуском сточных вод и пунктом наблюдения. Если между величиной k_C и расстоянием x существует значимая связь, то для заданного расстояния от выпуска сточных вод до контрольного створа (пункта) по полученной зависимости определяется искомая величина k_C . Если все значения k_C , вычисленные по формуле (4.60), близки между собой и находятся в интервале

$\left[\frac{\sum_{i=1}^N k_{C,i}}{N} - \frac{\sigma_K}{\sqrt{N}}; \frac{\sum_{i=1}^N k_{C,i}}{N} + \frac{\sigma_K}{\sqrt{N}}\right]$, то в расчете $C_{r,max}$ используется среднее значение

коэффициента самоочищения ($k_{n,i}$ – наблюдаемые значения в ряду $i=1, \dots, N$; σ_K – стандартное отклонение наблюдаемых значений $k_{C,i}$). Если же все значения k_C , вычисленные по формуле (3.45), существенно отличаются друг от друга и не удовлетворяют прочим указанным условиям, то принимается $k_C=0$. На заключительном этапе по формуле (1.27) рассчитывается кратность общего разбавления, по формуле (1.28) – допустимая концентрация вещества в сточных водах.

3.3.1.3. Пример расчета распределения минерализации вод низинного болота на основе аналитического решения уравнения диффузии

Дано: расход сточных вод 0.00964 м³/с, минерализация сточных вод 2417,1 мг/дм³. Сброс сточных вод осуществляется в низинное боло-

то на его границе, в мохово-травяной микроландшафт, для которого принимаются следующие характеристики: глубина деятельного горизонта 0,52 м, скорость движения болотных вод берется как среднее по интервалу для гипново-осоковых микроландшафтов, а именно $2,698 \cdot 10^{-5}$ м/с. Контрольный створ удален от выпуска сточных вод на 500 м.

Таблица 3.6. Материалы гидрохимических наблюдений на Обском низинном болоте

Расстояние от выпуска сточных вод X, м	Наблюденное значение минерализации, мг/дм ³
0	2417,06
25	1528,23
60	1441,81
120	784,572
200	681,298
300	727,146

Фоновое значение минерализации принято равным 359,3 мг/дм³. Коэффициент гидродисперсии принимается равным 0,0022 м при условии активной пористости 80%.

Ход вычислений:

1. Выполняется расчет коэффициента диффузии:

$$D = 0,0022 \cdot 2,698 \cdot 10^{-5} = 6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}.$$
2. Определяется приведенная глубина деятельного слоя:

$$h = 0,5 \cdot 0,52 = 0,26 \text{ м}.$$
3. По данным наблюдений с помощью формулы (3.45) рассчитаны значения коэффициентов самоочищения:
4. Выявлена зависимость значений коэффициентов самоочищения k_x от расстояния x от выпуска сточных вод до пункта наблюдения (рис. 3.3).
5. Коэффициент самоочищения k_x в контрольном створе составил:

$$k_x = -0,0023 \cdot 500^{-1,5339} = -1,7 \cdot 10^{-7}.$$
6. Рассчитывается максимальная концентрация C_{max} в контрольном створе

$$C_{max} = 2417,1 \cdot \exp \left(- \frac{-1,7 \cdot 10^{-7} \cdot 500^2}{2 \cdot \left(6 \cdot 10^{-8} - \frac{0,00964}{3,14 \cdot 0,26} \right)} \right) = 414,1 \text{ мг/дм}^3.$$

Таблица 3.7. Фактические значения коэффициента самоочищения болотных вод

Расстояние от выпуска сточных вод X , м	Коэффициент самоочищения k набл. по формуле (3.45)
25	$-1,7 \cdot 10^{-5}$
60	$-3,4 \cdot 10^{-6}$
120	$-1,8 \cdot 10^{-6}$
200	$-7,5 \cdot 10^{-7}$
300	$-3,2 \cdot 10^{-7}$

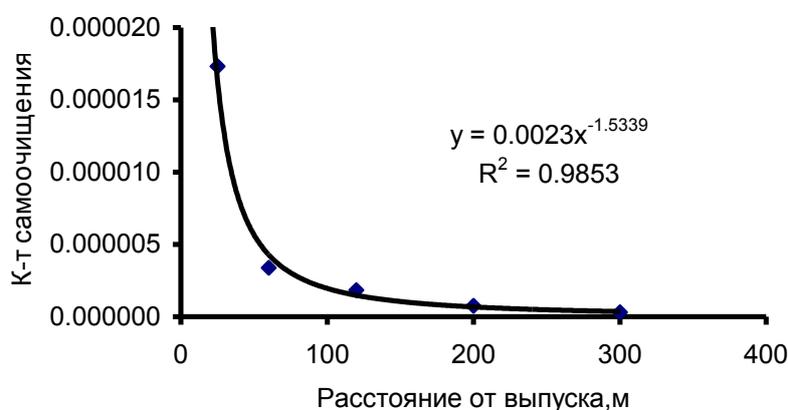


Рис. 3.3. Зависимость значений модулей коэффициентов самоочищения k_x от расстояния x от выпуска сточных вод до пункта наблюдения

7. Определяется кратность разбавления n :

$$n = \frac{2417,1 - 359,3}{414,1 - 359,3} = 37,55.$$

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Перечислите методы определения кратности разбавления сточных вод в болотах.
2. Укажите основные ограничения и преимущества методов определения кратности разбавления сточных вод в болотах.

4. Расчет по водохозяйственным участкам и альтернативный подход к определению НДС

4.1. Расчет НДС по водохозяйственным участкам

В соответствии с современными представлениями [27, 33, 40 и др.], наиболее предпочтительным является расчет НДС по водохозяйствен-

ным участкам, когда учитывается воздействие на водный объект совокупности источников загрязнения. Для его проведения во многих случаях предлагается использовать математическую модель самоочищения речных вод, имеющую вид:

$$C_x = C_{\phi,1} \cdot \exp(-k_{c,1} \cdot t_1) + \sum_{i=1}^N \frac{C_{cm,i} \cdot \exp(-k_{c,2} \cdot t_{1,i})}{n_i} - C_{\phi,1} \cdot \exp(-k_{c,1} \cdot t_1), \quad (4.1)$$

где C_x и $C_{\phi,1}$ – концентрация вещества в расчетном створе и выше по течению от источников загрязнения; $C_{cm,i}$ – концентрация вещества в сточных водах i -го выпуска (или концентрация вещества в притоке); N – количество источников загрязнения и притоков; $k_{c,1}$ и $k_{c,2}$ – коэффициенты самоочищения речных вод в естественных условиях и под влиянием i -го выпуска или притока; t_1 и $t_{1,i}$ – время добегания водных масс от первого створа, расположенного выше по течению от источников загрязнения, и от i -ого выпуска до расчетного створа; n_i – кратность разбавления сточных вод i -ого выпуска или притока [21, 33]. Отличия в подходах к реализации данной модели в основном заключаются в разных трактовках места определения параметров C_{ϕ} и k_c (выше по течению от всех источников загрязнения, либо каждого i -ого выпуска), а также способами расчета кратности разбавления. Чаще всего рекомендуется определять величину n_i по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера.

Для проведения бассейнового расчета ПДС могут быть использованы и близкие по виду модели (2.4-2.7), предложенные в [44] для определения «фоновых» концентраций, формирующихся под влиянием совокупности источников загрязнения. Описание структуры этих моделей вкратце приведено в разделе 2.1. Несколько иная модель предложена авторами работы [66], согласно которым концентрация вещества в расчетном створе описывается уравнения:

$$C_x = C_0 \cdot \left(\frac{Q_0}{Q_x} \right)^{\phi} + \left(R + C_s \cdot q_s \right) \cdot \left(\frac{1}{q_* + q_a + k_c \cdot \omega_x} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{Q_0}{Q_x} \right)^{\phi} \right), \quad (4.2)$$

где C_0 – концентрация вещества в начальном створе; Q_0 и Q_x – расходы воды в начальном и расчетном створах; $Q_x = Q_0 + q_* \cdot x$; q_* – удельное приращение расхода; $\phi = (q_d - q_e + q_s + k_c \cdot \omega_x) / q_*$; q_d ; $q_* = q_d - q_a + q_s - q_e$; q_d – удельный приток воды из рассредоточенных источников; q_a – удельные потери воды на водопотребление, фильтрацию, водообмен с мелководьем; q_s – удельный приток из сосредоточенных источников (контролируемые сбросы); q_e – удельные потери на испарение и льдообразование; R – удельный приток ЗВ из диффузных источников; C_s – концентрация вещества в сосредоточенных источниках; ω_x – среднее по длине участка значение площади живого сечения потока.

Бассейновая модель может быть разработана и на основе численного решения системы одно-, двух- и даже трехмерных дифференциальных уравнений движения водных масс и трансформации содержащихся в них веществ. Но главная проблема связана все же не с построением модели или сложностью и трудоемкостью вычислений, а с определением оптимальной нагрузки от каждого конкретного источника из рассматриваемой совокупности. Так, согласно [11], оптимизация распределения массы сбросов между водопользователями сводится к задаче поиска минимума суммарных приведенных затрат $Z(\Psi)$ на достижение ПДС при реализации N водохозяйственных мероприятий:

$$Z(\Psi) = \sum_i^N z_i(\psi_i) \rightarrow \min_{\Psi}, \quad (4.3)$$

где $z_i(\psi_i)$ – приведенные затраты на проведение i -го мероприятия (в денежном исчислении), определяемые в зависимости от неких параметров мероприятий Ψ как сумма годовых эксплуатационных издержек и приведенных капитальных затрат на строительство или реконструкцию с учетом заданной эффективности капитальных вложений. Результатом каждого из мероприятий является определенные значения концентраций веществ в сточных водах, при которых в контрольных створах водного объекта выполняются ограничения на их содержания в воде.

В качестве примера подобного подхода можно привести модель водохозяйственных мероприятий, описанную в [40]. В данном случае в качестве переменных рассматриваются доли ψ_i расхода сточных вод, проходящего внутри предприятия по Ω технологическим маршрутам, а система уравнений имеет вид:

$$z_i(\psi_i) = q_{i,r} \cdot \sum_{\varpi}^{\Omega} d_{i,\varpi}^* \cdot u_{i,\varpi}, \quad (4.4)$$

$$\sum_{\varpi}^{\Omega} u_{i,\varpi} = 1, \quad (4.5)$$

$$q_{i,\varpi} = q_i \cdot u_{i,\varpi}, \quad (4.6)$$

$$C_{cm,i} = \sum_{\varpi}^{\Omega} C_{cm,i,\varpi} \cdot u_{i,\varpi}, \quad (4.7)$$

где $d_{i,\varpi}^*$ – приведенные затраты, соответствующие ϖ -технологическому маршруту; q_i – расход сточных вод; $C_{cm,i}$ – допустимая концентрация вещества в сточных водах. При этом цель гидрхимических расчетов с использованием уравнений вида (2.4-2.7, 4.1, 4.2) сводится к проверке в расчетных створах условий: 1) $C_{x,j} \leq \text{ПДК}_j$ – для показателей, не оказывающих аддитивного воздействия (БПК, минерализация и др.);

2) $C_{x,j} \geq \text{ПДК}_j$ – для растворенного кислорода; 3) $\sum_{\text{ЛПВ}} \frac{C_{x,j}}{\text{ПДК}_j} \leq 1$ – для

прочих показателей с одинаковым лимитирующим признаком вредности. Собственно расчет ПДС для i -го водопользователя проводится по формуле (1.29), исходя из некоторого множества вариантов технологических маршрутов на всех N предприятиях и комплекса исследуемых гидрохимических показателей.

Ряд других моделей оптимизации водохозяйственной деятельности рассмотрен в работах [11, 33 и др.]. Основные различия между ними сводятся к использованию разных зависимостей между затратами и степенью очистки сточных вод, выбору того или иного метода оптимизации. Общим же, по крайней мере для отечественных авторов, является использование системы ограничений на основе ПДК, что во многих случаях неизбежно приводит к необходимости нормирования веществ в сточных водах на уровне не выше ПДК. В связи с этим целесообразность трудоемких вычислений ПДС на основе бассейнового принципа ставится под большое сомнение, поскольку можно просто исходить из постулата: нет сбросов – нет загрязнения воды.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Укажите преимущества и недостатки расчета ПДС применительно к бассейну по сравнению с одиночными источниками.
2. Перечислите гидрологические, гидрохимические и водохозяйственные характеристики, необходимые для бассейнового расчета ПДС.

4.2. Расчет ПДС на основе критерия однородности

Практически все методы расчета ПДС имеют ряд существенных недостатков, среди которых особо следует отметить чрезмерно жесткую привязку к ПДК, установленным для всей территории РФ без учета региональных особенностей [28, 57]. Кроме того, на практике, как правило, не учитываются и погрешности определения параметров уравнения (1.28). Не меняя формулировок нормативных документов, выход из указанной ситуации может быть найден при использовании для определения $C_{ст.ок}$ традиционных критериев однородности двух выборок объемом M – в условно фоновом (C_f) и нарушенном (C_p) состояниях. Возможность подобного подхода связана с тем, что смысл расчета нормативов ПДС как раз и состоит в нахождении такого уровня антропогенного воздействия на водный объект, при котором его состояние существенно не меняется. Иными словами, вероятность \mathfrak{Z} отвергнуть нулевую

гипотезу H_0 об однородности двух выборок не должна превышать принятый уровень значимости α : $\mathfrak{P}\{\xi \in O | H_0\} \leq \alpha$, где ξ – статистика для проверки нулевой гипотезы, а O – критическая область. Если предположить, что значения C_ϕ и C_p распределены по закону Гаусса, а дисперсии σ_ϕ^2 и σ_p^2 известны и равны ($\sigma^2 = \sigma_\phi^2 = \sigma_p^2$ при постоянном водоотведении), то в качестве статистики возможно использование критерия Стьюдента Z в виде:

$$Z = \frac{|C_p - C_\phi|}{\sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{M}}}, \quad (4.8)$$

или с учетом (1.19):

$$Z = \frac{|C_{ct} - C_\phi|}{n \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{M}}}. \quad (4.9)$$

Тогда ограничение для величины $C_{ct, \alpha}$ при заданном критическом значении $Z_{k, \alpha}$ может быть сформулировано в виде:

$$C_{ct, \alpha} \leq C_\phi + n \cdot Z_{k, \alpha} \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{M}}. \quad (4.10)$$

Таким образом, допустимая концентрация вещества в сточных водах каждого выпуска с поправкой на кратность разбавления n не должна выходить за пределы верхней доверительной границы изменения фонового содержания в поверхностных водах. С учетом этого задача сводится к обоснованию и разработке приемлемого для практического использования способа определения величины C_ϕ [62].

С учетом предложений по определению «фоновых» концентраций, изложенных в разделе 2.4, уравнения (4.10) и положений действующих нормативных документов расчет нормативов ПДС предлагается выполнять в последовательности:

- по данным режимных гидрохимических исследований в регионе (за весь период наблюдений) определяются средние геометрические значения и средние квадратические отклонения концентраций нормируемых веществ в поверхностных водах;
- с учетом различий гидрохимического режима различных типов водных объектов выявляются географические закономерности изменения средних геометрических значений и средних квадратических отклонений концентраций веществ отдельно в водах больших, средних и малых водотоков, озер, водохранилищ, прудов, болот: для больших рек находятся зависимости изменения содержания веществ по длине

водотока; для средних рек составляются карты (схемы) изолиний гидрохимических показателей; для прочих водных объектов – карты (схемы) однородных гидрохимических районов;

- для проектируемых объектов при отсутствии необходимых наблюдений за составом сточных и поверхностных вод кратность разбавления принимается как $n=1$, либо рассчитывается по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера (величина ПДС корректируется в конце отчетного года по материалам гидрохимических наблюдений), для прочих объектов параметр n находится по формуле (1.27) по данным за предыдущий период действия нормативов ПДС (до 5 лет);

- для контрольных створов определяются фоновые содержания веществ и их средние квадратические отклонения: для больших рек – по зависимостям от протяженности водотока или путем интерполяции между пунктами режимных наблюдений; для средних рек – по картам (схемам) изолиний содержаний нормируемых веществ; для прочих водных объектов – по картам (схемам) однородных гидрохимических районов;

- проводится расчет $C_{ст.ок}$ по уравнению (4.10), а затем – вычисление величины ПДС по формуле (1.29).

Преимущества данного способа по сравнению с существующими заключаются в отсутствии жесткой привязки к ПДК, простоте расчетов и наглядности представления материалов, что позволяет сократить время расчетов и уменьшить срок рассмотрения документов в государственных органах управления водными ресурсами. Кроме того, появляется возможность максимального упорядочивания процесса управления водными ресурсами речного бассейна в целом и повышения его эффективности без ущерба объективности нормирования сбросов каждого конкретного водопользователя.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Назовите основные недостатки методов расчета ПДС.
2. Напишите уравнение для определения допустимой концентрации вещества в сточных водах на основе критерия однородности.
3. Укажите последовательность расчета ПДС на основе критерия однородности.

5. Нормативно-правовая база определения предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты

5.1. Общие положения

Рациональное использование и охрана поверхностных водных объектов регламентируется водным законодательством, а так же в пределах своей компетенции земельным, экологическим и горным законодательствами. Водное законодательство Российской Федерации включает Водный кодекс Российской Федерации и другие федеральные законы и принимаемые в соответствии с ними нормативно-правовые акты субъектов Российской Федерации. Земельное законодательство, ядром которого является Земельный кодекс Российской Федерации, устанавливает правовой режим земель водного фонда. Федеральный закон «Об охране окружающей среды», являющийся базовым в экологическом праве, регламентирует охрану и восстановление водных объектов.

Нормы, регулирующие отношения по использованию и охране водных объектов (водные отношения) и содержащиеся в других федеральных законах, законах субъектов Российской Федерации, должны соответствовать Водному Кодексу. Водные отношения также могут регулироваться указами Президента Российской Федерации.

Правительство Российской Федерации издает нормативные правовые акты, регулирующие водные отношения, в пределах полномочий, определенных Водным Кодексом, другими федеральными законами, а также указами Президента Российской Федерации. Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления в пределах своих полномочий также могут издавать нормативные правовые акты, регулирующие водные отношения.

Водное законодательство и изданные в соответствии с ним нормативные правовые акты основываются на следующих принципах:

1) значимость водных объектов как основы жизни и деятельности человека; регулирование водных отношений осуществляется, исходя из представления о водном объекте как о важнейшей составной части окружающей среды, среде обитания объектов животного и растительного мира (в том числе, водных биологических ресурсов), природном ресурсе, используемом человеком для личных и бытовых нужд, осуществления хозяйственной и иной деятельности, а также как об объекте права собственности и иных прав;

2) приоритет охраны водных объектов перед их использованием; использование водных объектов не должно оказывать негативное воздействие на окружающую среду;

3) сохранение особо охраняемых водных объектов, ограничение или запрет использования которых устанавливается федеральными законами;

4) целевое использование водных объектов; водные объекты могут использоваться для одной или нескольких целей;

5) приоритет использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения перед иными целями их использования. Предоставление их в пользование для иных целей допускается только при наличии достаточных водных ресурсов;

6) участие граждан, общественных объединений в решении вопросов, касающихся прав на водные объекты, а также их обязанностей по охране водных объектов;

7) равный доступ физических лиц, юридических лиц к приобретению права пользования водными объектами, за исключением случаев, предусмотренных водным законодательством;

8) равный доступ физических лиц, юридических лиц к приобретению к собственности водных объектов, которые в соответствии с Водным Кодексом могут находиться в собственности физических лиц или юридических лиц;

9) регулирование водных отношений в границах бассейновых округов (бассейновый подход);

10) регулирование водных отношений в зависимости от особенностей режима водных объектов, их физико-географических, морфометрических и других особенностей;

11) регулирование водных отношений исходя из взаимосвязи водных объектов и гидротехнических сооружений, образующих водохозяйственную систему;

12) гласность осуществления водопользования; решения о предоставлении водных объектов в пользование и договоры водопользования должны быть доступны любому лицу, за исключением информации, отнесенной законодательством Российской Федерации к категории ограниченного доступа;

13) комплексное использование водных объектов; использование водных объектов может осуществляться одним или несколькими водопользователями;

14) платность использования водных объектов; пользование водными объектами осуществляется за плату, за исключением случаев, установленных законодательством Российской Федерации;

15) экономическое стимулирование охраны водных объектов; при определении платы за пользование водными объектами учитываются

расходы водопользователей на мероприятия по охране водных объектов;

16) использование водных объектов в местах традиционного проживания коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации для осуществления традиционного природопользования.

5.2. Основные термины водного законодательства

В целях однозначного понимания терминологии в Водном кодексе используются следующие основные понятия:

1) акватория – водное пространство в пределах естественных, искусственных или условных границ;

2) водное хозяйство – деятельность в сфере изучения, использования, охраны водных объектов, а также предотвращения и ликвидации негативного воздействия вод;

3) водные ресурсы – поверхностные и подземные воды, которые находятся в водных объектах и используются или могут быть использованы;

4) водный объект – природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима;

5) водный режим – изменение во времени уровня, расхода и объема воды в водном объекте;

6) водный фонд – совокупность водных объектов в пределах территории Российской Федерации;

7) водоотведение – любой сброс вод, в том числе сточных вод и (или) дренажных вод, в водные объекты;

8) водопользователь – физическое лицо или юридическое лицо, которым предоставлено право пользования водным объектом;

9) водопотребление – потребление воды из систем водоснабжения;

10) водоснабжение – подача поверхностных или подземных вод водопотребителям в требуемом количестве и в соответствии с целевыми показателями качества воды в водных объектах;

11) водохозяйственная система – комплекс водных объектов и предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны водных ресурсов гидротехнических сооружений;

12) водохозяйственный участок – часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить лимиты забора (изъятия)

водных ресурсов из водного объекта и другие параметры использования водного объекта (водопользования);

13) дренажные воды – воды, отвод которых осуществляется дренажными сооружениями для сброса в водные объекты;

14) использование водных объектов (водопользование) – использование различными способами водных объектов для удовлетворения потребностей Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических лиц, юридических лиц;

15) истощение вод – постоянное сокращение запасов и ухудшение качества поверхностных и подземных вод;

16) негативное воздействие вод – затопление, подтопление, разрушение берегов водных объектов, заболачивание и другое негативное воздействие на определенные территории и объекты;

17) охрана водных объектов – система мероприятий, направленных на сохранение и восстановление водных объектов;

18) речной бассейн – территория, поверхностный сток вод с которой через связанные водоемы и водотоки осуществляется в море или озеро;

19) сточные воды – воды, сброс которых в водные объекты осуществляется после их использования или сток которых осуществляется с загрязненной территории.

5.3. Право собственности на водные объекты

Водные объекты находятся в собственности Российской Федерации (федеральной собственности), за исключением случаев, когда пруд или обводненный карьер, расположенные в границах земельного участка, принадлежащего на праве собственности субъекту Российской Федерации, муниципальному образованию, физическому лицу, юридическому лицу, находятся соответственно в собственности субъекта Российской Федерации, муниципального образования, физического лица, юридического лица. Право собственности Российской Федерации, субъекта Российской Федерации, муниципального образования, физического лица, юридического лица на пруд, обводненный карьер прекращается одновременно с прекращением права собственности на соответствующий земельный участок, в границах которого расположены такие водные объекты.

Пруд или обводненный карьер могут отчуждаться в соответствии с гражданским законодательством и земельным законодательством. Не допускается отчуждение таких водных объектов без отчуждения зе-

мельных участков, в границах которых они расположены. Данные земельные участки разделу не подлежат, если в результате такого раздела требуется раздел пруда, обводненного карьера. Естественное изменение русла реки не влечет за собой прекращение права собственности Российской Федерации на этот водный объект. Формы собственности на подземные водные объекты определяются законодательством о недрах.

5.4. Право пользования водными объектами

Физические лица, юридические лица приобретают право пользования поверхностными водными объектами по основаниям и в порядке, установленном в Водном кодексе РФ. Естественное изменение русла реки не влечет за собой изменение или прекращение права пользования этим водным объектом, если из существа правоотношения и Водного Кодекса не следует иное. Физические лица, юридические лица приобретают право пользования подземными водными объектами по основаниям и в порядке, которые установлены законодательством о недрах.

Право пользования поверхностными водными объектами прекращается по основаниям и в порядке, которые установлены гражданским законодательством и Водным Кодексом. Право пользования подземными водными объектами прекращается по основаниям и в порядке, которые установлены законодательством о недрах. Основанием принудительного прекращения права пользования водным объектом по решению суда является: 1) нецелевое использование водного объекта; 2) использование водного объекта с нарушением законодательства Российской Федерации; 3) неиспользование водного объекта в установленные договором водопользования или решением о предоставлении водного объекта в пользование сроки.

Принудительное прекращение права пользования водными объектами в случаях возникновения необходимости их использования для государственных или муниципальных нужд осуществляется исполнительными органами государственной власти или органами местного самоуправления в пределах их компетенции в соответствии с федеральными законами. Предъявлению требования о прекращении права пользования водным объектом должно предшествовать вынесение предупреждения исполнительным органом государственной власти или органом местного самоуправления. Форма предупреждения устанавливается уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти. При прекращении права пользования водным объектом водопользователь обязан: 1) прекратить в установленный срок использование водного объекта; 2) обеспечить консервацию или ликви-

дацию гидротехнических и иных сооружений, расположенных на водных объектах, осуществить природоохранные мероприятия, связанные с прекращением использования водного объекта.

5.5. Договор водопользования и решение о предоставлении водных объектов в пользование

На основании договоров водопользования водные объекты, находящиеся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, собственности муниципальных образований, предоставляются в пользование для: 1) забора (изъятия) водных ресурсов из поверхностных водных объектов; 2) использования акватории водных объектов, в том числе для рекреационных целей; 3) использования водных объектов без забора (изъятия) водных ресурсов для целей производства электрической энергии.

На основании решений о предоставлении водных объектов в пользование водные объекты, находящиеся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, собственности муниципальных образований, предоставляются в пользование для: 1) обеспечения обороны страны и безопасности государства; 2) сброса сточных вод и (или) дренажных вод; 3) размещения причалов, судоподъемных и судоремонтных сооружений; 4) размещения стационарных и (или) плавучих платформ и искусственных островов; 5) размещения и строительства гидротехнических сооружений (в том числе мелиоративных систем), мостов, подводных и подземных переходов, а также трубопроводов, подводных линий связи, других линейных объектов, подводных коммуникаций; 6) разведки и добычи полезных ископаемых; 7) проведения дноуглубительных, взрывных, буровых и других работ, связанных с изменением дна и берегов водных объектов; 8) подъема затонувших судов; 9) сплава леса в плотках и с применением кошелей; 10) забора (изъятия) водных ресурсов для орошения земель сельскохозяйственного назначения (в том числе лугов и пастбищ); 11) организованного отдыха детей, а также организованного отдыха ветеранов, граждан пожилого возраста, инвалидов.

Не требуется заключение договора водопользования или принятие решения о предоставлении водного объекта в пользование в случае, если водный объект используется для: 1) судоходства (в том числе морского судоходства), плавания маломерных судов; 2) осуществления разового взлета, разовой посадки воздушных судов; 3) забора (изъятия) из подземного водного объекта водных ресурсов, в том числе водных ресурсов, содержащих полезные ископаемые и (или) являющихся природ-

ными лечебными ресурсами, а также термальных вод; 4) забора (изъятия) водных ресурсов в целях обеспечения пожарной безопасности, а также предотвращения чрезвычайных ситуации и ликвидации их последствий; 5) забора (изъятия) водных ресурсов для санитарных, экологических и (или) судоходных попусков (сбросов воды); 6) забора (изъятия) водных ресурсов судами в целях обеспечения работы судовых механизмов, устройств и технических средств; 7) воспроизводства водных биологических ресурсов; 8) проведения государственного мониторинга водных объектов и других природных ресурсов; 9) проведения геологического изучения, а также геофизических, геодезических, картографических, топографических, гидрографических, водолазных работ; 10) рыболовства, рыбоводства, охоты; 11) осуществления традиционного природопользования в местах традиционного проживания коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации; 12) санитарного, карантинного и другого контроля; 13) охраны окружающей среды, в том числе водных объектов; 14) научных, учебных целей; 15) разведки и добычи полезных ископаемых, размещения и строительства трубопроводов, дорог и линий электропередачи на болотах, за исключением болот, отнесенных к водно-болотным угодьям, а также болот, расположенных в поймах рек; 16) полива садовых, огородных, дачных земельных участков, ведения личного подсобного хозяйства, а также водопоя, проведения работ по уходу за сельскохозяйственными животными; 17) купания и удовлетворения иных личных и бытовых нужд граждан.

Предоставление водных объектов, находящихся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, собственности муниципальных образований, или частей таких водных объектов в пользование на основании договоров водопользования или решений о предоставлении водных объектов в пользование осуществляется соответственно исполнительными органами государственной власти и органами местного самоуправления в пределах их полномочий.

По договору водопользования одна сторона – исполнительный орган государственной власти или орган местного самоуправления, обязуется предоставить другой стороне – водопользователю водный объект или его часть в пользование за плату. К договору водопользования применяются положения об аренде, предусмотренные Гражданским кодексом Российской Федерации, если иное не установлено Водным Кодексом и не противоречит существу договора водопользования. Договор водопользования признается заключенным с момента его государственной регистрации в государственном водном реестре.

Договор водопользования должен содержать: 1) сведения о водном объекте, в том числе описание границ водного объекта, его части, в пределах которых предполагается осуществлять водопользование; 2) цель, виды и условия использования водного объекта или его части (в том числе объем допустимого забора (изъятия) водных ресурсов); 3) срок действия договора водопользования; 4) размер платы за пользование водным объектом или его частью, условия и сроки внесения данной платы; 5) порядок прекращения пользования водным объектом или его частью; 6) ответственность сторон договора водопользования за нарушение его условий; 7) иные условия. К договору водопользования прилагаются материалы в графической форме (в том числе схемы размещения гидротехнических и иных сооружений, расположенных на водном объекте, а также зон с особыми условиями их использования) и пояснительная записка к ним. Предельный срок предоставления водных объектов в пользование на основании договора водопользования не может составлять более чем двадцать лет.

Заключение, изменение и расторжение договора водопользования осуществляются в соответствии с гражданским законодательством. При заключении договора водопользования по результатам аукциона не допускается изменение условий аукциона на основании соглашения сторон этого договора или в одностороннем порядке.

Предоставление водного объекта, находящегося в федеральной собственности, в пользование для обеспечения обороны страны и безопасности государства осуществляется на основании решения Правительства Российской Федерации. Решение о предоставлении водного объекта в пользование должно содержать: 1) сведения о водопользователе; 2) цель, виды и условия использования водного объекта или его части (в том числе объем допустимого забора (изъятия) водных ресурсов); 3) сведения о водном объекте, в том числе описание границ водного объекта, его части, в пределах которых предполагается осуществлять водопользование; 4) срок водопользования. К решению о предоставлении водного объекта в пользование прилагаются материалы в графической форме (в том числе схемы размещения гидротехнических и иных сооружений, расположенных на водном объекте, а также зон с особыми условиями их использования) и пояснительная записка к ним. Решение о предоставлении водного объекта в пользование в целях сброса сточных вод и (или) дренажных вод дополнительно должно содержать: 1) указание места сброса сточных вод и (или) дренажных вод; 2) объем допустимых сбросов сточных вод и (или) дренажных вод; 3) требования к качеству воды в водных объектах в местах сброса сточных вод и (или) дренажных вод.

Физическое лицо, юридическое лицо, заинтересованные в получении водного объекта или его части, находящихся в федеральной собственности, собственности субъекта Российской Федерации, собственности муниципального образования, в пользование, обращаются в исполнительный орган государственной власти или орган местного самоуправления с заявлением о предоставлении такого водного объекта или такой его части в пользование с обоснованием цели, вида и срока водопользования. В течение тридцати дней со дня получения заявления о предоставлении водного объекта или его части, находящихся в федеральной собственности, собственности субъекта Российской Федерации, собственности муниципального образования, в пользование исполнительный орган государственной власти или орган местного самоуправления принимает решение о предоставлении такого водного объекта или такой его части в пользование либо отказывает в предоставлении такого водного объекта или такой его части в пользование. Отказ в предоставлении водного объекта или его части в пользование может быть обжалован в судебном порядке.

5.6. Правовая ответственность за нарушение водного законодательства

В статье 68 Водного Кодекса предусматривается административная и уголовная ответственность за нарушение водного законодательства. Лица, виновные в нарушении водного законодательства, несут административную, уголовную ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации. Привлечение к ответственности за нарушение водного законодательства не освобождает виновных лиц от обязанности устранить допущенное нарушение и возместить причиненный ими вред.

Административная ответственность наступает за административные правонарушения, предусмотренные административным законодательством – Кодексом Российской Федерации об административных правонарушениях. Водные административные правонарушения, связанные с водными отношениями и соответствующими правоотношениями, – часть административных правонарушений. В ст.4 действующем с 01.01.2007 г. Водном Кодексе предусматриваются водные отношения, под которыми в ст. 5 предыдущего Водного Кодекса (от 1995 г.) подразумевались отношения в области использования и охраны водных объектов. Подобное изменение терминологии решает вопросы регулирования водных отношений в связи с регулированием отношений по поводу

земель, лесов, недр, растительного и животного мира, атмосферного воздуха.

Водное законодательство наряду с горным законодательством регулирует также отношения в области геологического изучения, разведки и охраны подземных вод. Таким образом, водные правонарушения включают собственно водные, то есть направленные на нарушение водного правопорядка, и относительно, опосредованно водные (направленные на нарушение других аспектов и видов природопользования, тесно связанные с водными отношениями). Водное законодательство регулирует и вопросы, связанные со строительством и эксплуатацией водохозяйственных и любых других объектов и сооружений, проведением работ на дне, влияющих на состояние вод. Во многих таких случаях может оказываться вредное воздействие на воды, что влечет за собой административную ответственность как за нарушение водного законодательства.

В действующем Водном Кодексе Российской Федерации нет перечня правонарушений и ответственности за них, как это было в Водном Кодексе РСФСР от 1972 г. и других, ранее установленных природоресурсных законах. Концепция формирования российского законодательства предполагает сосредоточение перечня административных правонарушений в Кодексе РФ об административных правонарушениях, преступлений – в Уголовном кодексе РФ. Это должно способствовать укреплению законности, облегчению пользования кодифицированными актами, недопущению размытости правонарушений и разбросанности их по различным законам и отраслям права.

В Кодексе Российской Федерации об административных правонарушениях имеется гл. 8 «Административные правонарушения в области охраны окружающей природной среды и природопользования», где предусматриваются собственно водные правонарушения: 1) в ст. 8.9 – нарушение требований по охране недр и гидроминеральных ресурсов; 2) в ст. 8.12 – нарушение порядка предоставления в пользование и режима использования земельных участков и лесов в водоохраных зонах и прибрежных полосах водных объектов; 3) в ст. 8.13 – нарушение правил охраны водных объектов; 4) в ст. 8.14 – нарушение правил водопользования; 5) в ст. 8.15 – нарушение правил эксплуатации водохозяйственных или водоохраных сооружений и устройств; 6) в ст. 8.16 – невыполнение правил ведения судовых документов".

К водным отношениям примыкают также следующие правонарушения, предусмотренные в Кодексе РФ об административных правонарушениях: 1) в ст. 8.2 – несоблюдение экологических и санитарно-

эпидемиологических требований при обращении с отходами производства и потребления или иными опасными веществами; 2) в ст. 8.3 – нарушения правил обращения с пестицидами и ядохимикатами; 3) в ст.8.4 – нарушение законодательства об экологической экспертизе; 4) в ст.8.5 – сокрытие или искажение экологической информации. Кроме того, водные отношения и водный правопорядок могут затрагиваться нормами гл. 7 "Административные правонарушения в области охраны собственности", где предусматриваются: 1) в ст. 7.6 – самовольное занятие водного объекта или пользование им с нарушением установленных условий; 2) в ст.7.7 – повреждение гидротехнического, водохозяйственного или водоохранного сооружения, устройства или установки; 3) в ст.7.8 – самовольное занятие земельного участка прибрежной защитной полосы водного объекта, водоохранной зоны водного объекта либо зоны (округа) санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения; 4) в ст. 7.10 – самовольная переуступка права пользования землей, недрами, участком лесного фонда, участком леса, не входящего в лесной фонд, или водным объектом"; 5) в ст. 7.20 – самовольное подключение к централизованным системам питьевого водоснабжения и (или) системам водоотведения городских и сельских поселений".

В условиях развития рыночной экономики и формирования разных, равноправных и равным образом защищаемых видов собственности привлечение к административной ответственности наряду с возможностями привлечения к уголовной, дисциплинарной и гражданско-правовой ответственностями за нарушения прав собственников, в том числе прав на водные объекты, может быть эффективным и иметь перспективный характер, особенно при увеличении штрафных санкций. Конкретный размер штрафа определяется органом, налагающим штраф, в соответствии с законом в зависимости от характера и вида совершенного правонарушения, степени вины правонарушителя и причиненного вреда. Штрафы налагаются должностными лицами специально уполномоченного на то государственного органа в соответствии с предоставленной им компетенцией. Постановление о наложении штрафа может быть обжаловано в суд или арбитражный суд. Если постановление отменяется, штраф не взыскивается (или возвращается). Наложение и взыскание штрафа не освобождают нарушителя от возмещения причиненного вреда.

В соответствие со статьей 69 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях предусмотрено возмещение вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. Лица, причинившие вред водным объектам, возмещают его

добровольно или в судебном порядке. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, утверждается в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

Ответственность граждан и юридических лиц за причинение ущерба водным объектам наступает в соответствии с гражданским законодательством Российской Федерации. Граждане и юридические лица, причинившие ущерб водным объектам, возмещают его добровольно либо по решению суда или арбитражного суда в соответствии с методиками исчисления ущерба, причиненного водным объектам, а при их отсутствии – по фактическим затратам на восстановление водных объектов с учетом понесенных убытков, в том числе упущенной выгоды. Иски о возмещении ущерба, причиненного водным объектам в результате нарушения водного законодательства Российской Федерации, вправе предъявлять федеральный орган исполнительной власти в области управления использованием и охраной водного фонда, федеральный орган в области охраны окружающей среды, федеральный орган исполнительной власти в области санитарно-эпидемиологического надзора.

В соответствии с Федеральным законом об охране окружающей среды загрязнение окружающей среды может рассматриваться как причинение ей имущественного вреда. За такой вред устанавливаются платежи, определяемые на основе базовых нормативов за нормативное и сверхнормативное загрязнение окружающей природной среды. Это относится и к водным объектам. Такие нормативы были установлены утвержденным Правительством РФ 28 августа 1992 г. Положением N 632. Эти платежи не связываются с экологическим правонарушением, поскольку такое загрязнение является как бы разрешенным (лицензиями), т.е. не рассматривается как нарушение природоохранительного, в том числе водного, законодательства, и здесь не возникает вопрос о вине причинителя. Указанные платежи не освобождают причинителей от возмещения вреда, возникшего в результате экологического правонарушения, т.е. уже по вине причинителя этого вреда. Это означает, что такой вред уже рассматривается как неправомерный, неразрешенный, возникший не в связи с разрешением (договором, решением, лицензией), а сверх или помимо них, виновный вред.

Трудности возникают на практике в связи с тем, что и в первом, и во втором случаях ущерб причиняется одинаковыми с объективной стороны (если брать без учета субъективной стороны) действиями, а именно загрязнением водных объектов путем выбросов, сбросов вредных веществ, размещением отходов. Только в первом случае эти действия не

связываются с экологическим (водным) правонарушением, а во втором – увязываются с экологическим (водным) правонарушением. Исключение составляют случаи причинения вреда гражданину или юридическому лицу и их имуществу источником повышенной опасности, т.е. без учета вины, или неблагоприятным воздействием окружающей природной среды (наводнения, селевые потоки), ибо здесь не встает вопрос об экологическом правонарушении.

Методика расчета размера вреда при разрешенном загрязнении применима к расчету (определению) размера вреда, причиняемого экологическим, в том числе водным, правонарушением. Он похож на таксовый порядок, и пока иного не изобретено, его можно применять по аналогии и при возмещении вреда, причиненного экологическим, в том числе водным, правонарушением. Указанная методика определена упоминаемым выше постановлением Правительства РФ N 632 от 28 августа 1992 г. Здесь имеются в виду лицензии на сброс, выброс, размещение отходов в установленных нормативах и плата за них также в установленных размерах. При отсутствии методик вред можно определять по фактическим затратам на восстановление нарушенных водных объектов.

Окружающая среда, как известно, включает в себя природные объекты (ресурсы): землю, леса, недра, воды, атмосферный воздух и др. Поэтому виновное причинение им вреда рассматривается как причинение вреда окружающей среде. Вопрос о возмещении вреда водным объектам, обусловленного водным правонарушением, регулируется гражданским законодательством – Гражданским кодексом РФ, где предусматривается полное возмещение вреда, причиненного противоправным и виновным поведением причинителя вреда.

Противоправное виновное поведение причинителя вреда выражается в правонарушении. В отношении водных объектов среды это – загрязнение, засорение, истощение водных объектов. Содержание этих понятий дано в Водном Кодексе Российской Федерации и комментариях к нему, а Кодексе Российской Федерации об административных правонарушениях, а также в учебниках и других работах по экологическому и водному праву. Общее понятие экологического правонарушения применимо к водному правонарушению, которое является основанием гражданско-правовой, имущественной ответственности за причиненный водным объектам вред.

Причинителями вреда по закону являются юридические и физические лица. Причинителем вреда имуществу, здоровью граждан может быть и сама окружающая природная среда: ее стихийные силы, катаст-

рофы (землетрясения, извержения вулканов, селевые потоки, оползни, затопления, цунами). В этих случаях потерпевшие – те же юридические и физические лица, предприниматели, сама окружающая природная среда с ее объектами, ресурсами, взятыми как в отдельности, так и в совокупности. Вред, причиняемый водным объектам, и вред, причиняемый их неблагоприятным физическим воздействием (стихийные бедствия, селевые потоки, наводнения), является по своему характеру тоже экологическим вредом. В результате такого вреда сама эта среда и ее объекты (воды), ресурсы утрачивают в той или иной мере свои экологические свойства (высокое качество, чистоту).

Общее основание ответственности – ст. 42 Конституции Российской Федерации о праве каждого на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением. В ст. 1064-1083 Гражданского кодекса РФ предусматриваются общие положения о возмещении вреда: предупреждение причинения вреда; причинение вреда в состоянии крайней необходимости; ответственность юридического лица за вред, причиненный его работником; ответственность за вред, причиненный государственными органами, органами местного самоуправления и их должностными лицами; органы и лица, выступающие от имени казны при возмещении вреда за ее счет; ответственность за вред, причиненный деятельностью, создающей повышенную опасность для окружающих; ответственность за совместно причиненный вред; право регресса к лицу, причинившему вред; способы возмещения вреда; учет вины потерпевшего и имущественного положения лица, причинившего вред.

В ст.1084-1093 Гражданского кодекса Российской Федерации предусматриваются положения, которые также могут иметь отношение к ответственности лиц за причинение ущерба водным объектам: возмещение вреда, причиненного жизни или здоровью гражданина при исполнении договорных либо иных обязательств; объем и характер возмещения вреда, причиненного повреждением здоровья; определение заработка (дохода), утраченного в результате повреждения здоровья; возмещение вреда при повреждении здоровья лица, не достигшего совершеннолетия; возмещение вреда лицам, понесшим ущерб в результате смерти кормильца; последующее изменение размера возмещения вреда; увеличение размера возмещения вреда в связи с повышением стоимости жизни и увеличением минимального размера оплаты труда; платежи по возмещению вреда; возмещение вреда в случае прекращения юридического лица.

При возмещении вреда, причиненного имуществу, учитываются его стоимость или стоимость восстановления, а также упущенная выгода. Кроме того, практикуется страхование имущества. Порядок возмещения ущерба здоровью граждан также вызывает ряд трудностей. При его определении необходимо учитывать больничный лист, расходы по лечению и уходу, документы лечебного учреждения, установить причинителя ущерба (ответчика), причинную связь и др. Если причинителей ущерба несколько, они несут солидарную ответственность. При стихийных бедствиях, кроме того, за счет государства потерпевшим в установленных случаях выплачиваются предусмотренные пособия, пенсии, другие выплаты, а также страховые выплаты из страховых фондов. Организации и граждане вправе предъявлять иски в арбитражный суд, а отдельные граждане – в народный суд о прекращении экологически вредной деятельности, причиняющей вред здоровью и имуществу граждан, народному хозяйству и окружающей среде (Федеральный закон "Об охране окружающей среды"). Решение суда или арбитражного суда о прекращении такой деятельности должно служить основанием для прекращения ее финансирования соответствующими банковскими учреждениями. В процесс бывают вовлечены эксперты, специалисты, сопоставляются мнения, нормы законодательства. Однако, пусть и редкие, победы истцов заканчиваются серьезным ущербом для злостных загрязнителей природной среды, в том числе водоемов, или даже их полным разорением.

Сделки, совершенные с нарушением водного и иного законодательства Российской Федерации, являются недействительными. Понятие сделок носит гражданско-правовой характер, и указанное положение продолжает предыдущие, закрепляя гражданско-правовые меры защиты водных прав, водных отношений и привлечения к имущественной ответственности за нарушения водного законодательства.

Уголовный кодекс Российской Федерации, принятый Государственной Думой РФ 24 мая 1996 г. и вступивший в действие с 1 января 1997 г., предусматривает самостоятельный раздел 26 "Экологические преступления". Непосредственно относящимися к водным отношениям можно считать ст. 250 и 252 Уголовного кодекса РФ. В статье 250 (загрязнение вод) предусмотрены санкции за загрязнение, засорение, истощение поверхностных или подземных вод, источников питьевого водоснабжения либо иное изменение их природных свойств, если эти деяния повлекли причинение существенного вреда животному или растительному миру, рыбным запасам, лесному или сельскому хозяйству, – наказываются штрафом в размере до восьмидесяти тысяч рублей или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до

шести месяцев, либо лишением права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью на срок до пяти лет, либо исправительными работами на срок до одного года, либо арестом на срок до трех месяцев. Те же деяния, повлекшие причинение вреда здоровью человека или массовую гибель животных, а равно совершенные на территории заповедника или заказника либо в зоне экологического бедствия или в зоне чрезвычайной экологической ситуации, – наказываются штрафом в размере до двухсот тысяч рублей или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до восемнадцати месяцев, либо исправительными работами на срок от одного года до двух лет, либо лишением свободы на срок до двух лет. Деяния, предусмотренные частями первой или второй указанной выше статьи, повлекшие по неосторожности смерть человека, – наказываются лишением свободы на срок до пяти лет

В статье 252 Уголовного Кодекса РФ предусмотрена ответственность за загрязнение морской среды из находящихся на суше источников либо вследствие нарушения правил захоронения или сброса с транспортных средств или возведенных в море искусственных островов, установок или сооружений веществ и материалов, вредных для здоровья человека и живых ресурсов моря либо препятствующих правомерному использованию морской среды наказывается штрафом в размере до двухсот тысяч рублей или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до восемнадцати месяцев, либо лишением права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью на срок до пяти лет, либо исправительными работами на срок до двух лет, либо арестом на срок до четырех месяцев. Те же деяния, причинившие существенный вред здоровью человека, животному или растительному миру, рыбным запасам, окружающей среде, зонам отдыха либо другим охраняемым законом интересам, – наказываются лишением свободы на срок до двух лет со штрафом в размере до сорока тысяч рублей или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до трех месяцев. Деяния, предусмотренные частями первой или второй настоящей статьи, повлекшие по неосторожности смерть человека, – наказываются лишением свободы на срок до пяти лет (часть в редакции, введенной в действие с 11.12.2003 г.). Меры уголовного наказания, предусмотренные указанными статьями, отличаются большей широтой и разнообразием, чем в предыдущем Уголовном кодексе, и призваны обеспечить уголовно-правовую охрану водных объектов в Российской Федерации.

5.7. Основные тенденции реформирования водного законодательства

Водный кодекс Российской Федерации, принятый 03.06.2006 г. и введенный в действие 01.01.2007 г., имеет более конкретные определения основных понятий по сравнению с Водным Кодексом от 18.10.1995 г. Примером данного утверждения могут служить определения, приведенные в табл. 5.1.

Определенные изменения коснулись и вопросов собственности. В частности, в Водном Кодексе от 18.10.1995 г. предусматривалась федеральная собственность и собственность субъектов РФ на водные объекты. Муниципальная и частная собственность допускается только на обособленные водные объекты (ст. 34).

Таблица 5.1. Сравнение терминологии действующего и предыдущего версий Водного кодекса Российской Федерации

Основные понятия, применяемые в прежнем Водном кодексе РФ от 18.10.1995 г. и номер статьи	Основные понятия, применяемые в прежнем Водном кодексе РФ от 03.06.2006 г. № 73-ФЗ и номер статьи
1	2
Акватория – водное пространство, ограниченное естественными, искусственными или условными границами (ст. 1)	Акватория – водное пространство в пределах естественных, искусственных или условных границ (ст.1)
Воды – вся вода, находящаяся в водных объектах (ст. 1)	Не используется
Вода – химическое соединение водорода и кислорода, существующее в жидком, твердом и газообразном состояниях (ст.1)	Не используется
Водный объект – сосредоточение вод на поверхности суши в формах ее рельефа либо в недрах, имеющее границы, объем и черты водного режима (ст.1)	Водный объект - природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима (ст.1)

Продолжение таблицы 5.1

1	2
<p>Загрязнение водных объектов – сброс или поступление иным способом в водные объекты, а также образование в них вредных веществ, которые ухудшают качество поверхностных и подземных вод, ограничивают использование либо негативно влияют на состояние дна и берегов водных объектов (ст.1)</p>	<p>Не используется</p>
<p>Засорение водных объектов – сброс или поступление иным способом в водные объекты предметов или взвешенных частиц, ухудшающих состояние и затрудняющих использование водных объектов (ст.1)</p>	<p>Не используется</p>
<p>Поверхностные воды – воды, постоянно или временно находящиеся в поверхностных водных объектах (ст.1)</p>	<p>Поверхностные водные объекты состоят из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии (ст.5, п. 3)</p>
<p>Основные понятия, применяемые в прежнем Водном кодексе РФ от 18.10.1995 г. и номер статьи</p>	<p>Основные понятия, применяемые в прежнем Водном кодексе РФ от 03.06.2006 г. № 73-ФЗ и номер статьи</p>
<p>Подземные воды – воды, в том числе минеральные, находящиеся в подземных водных объектах (ст.1)</p>	<p>Не используется</p>
<p>Обособленный водный объект (замкнутый водоем) – небольшой по площади и непроточный искусственный водоем, не имеющий гидравлической связи с другими поверхностными водными объектами (ст.1)</p>	<p>Не используется</p>

Продолжение таблицы 5.1

1	2
<p>Бассейн поверхностного водного объекта (далее – бассейн водного объекта) – территория, включающая водосборные площади гидравлически связанных водоемов и водотоков, главный из которых впадает в море или озеро (ст.1)</p>	<p>Речной бассейн – территория, поверхностный сток вод с которой через связанные водоемы и водотоки осуществляется в море или озеро (ст.1)</p>
<p>Использование водных объектов – получение различными способами пользы от водных объектов для удовлетворения материальных и иных потребностей граждан и юридических лиц (ст.1)</p>	<p>Использование водных объектов (водопользование) – использование различными способами водных объектов для удовлетворения потребностей Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических лиц, юридических лиц (ст.1)</p>
<p>Пользование водными объектами (водопользование) – юридически обусловленная деятельность граждан и юридических лиц, связанная с использованием водных объектов (ст.1)</p>	<p>См. предыдущий пункт (рассмотрено иное терминологическое понятие)</p>
<p>Охрана водных объектов – деятельность, направленная на сохранение и восстановление водных объектов (ст.1)</p>	<p>Охрана водных объектов – система мероприятий, направленных на сохранение и восстановление водных объектов (ст.1)</p>
<p>Основные понятия, применяемые в прежнем Водном кодексе РФ от 18.10.1995 г. и номер статьи</p>	<p>Основные понятия, применяемые в прежнем Водном кодексе РФ от 03.06.2006 г. № 73-ФЗ и номер статьи</p>
<p>Истощение вод – устойчивое сокращение запасов и ухудшение качества поверхностных и подземных вод (ст.1)</p>	<p>Истощение вод – постоянное сокращение запасов и ухудшение качества поверхностных и подземных вод (ст.1)</p>

Продолжение таблицы 5.1

1	2
<p>Водозабор – комплекс сооружений и устройств для забора воды из водных объектов (ст.1)</p>	<p>Данный термин рассмотрен в двух интерпретациях: 1) водохозяйственная система – комплекс водных объектов и предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны водных ресурсов гидротехнических сооружений (ст.1) 2) водохозяйственный участок – часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и другие параметры использования водного объекта (водопользования) (ст.1)</p>
<p>Не используется</p>	<p>Водопотребление – потребление воды из систем водоснабжения (ст.1)</p>
<p>Не используется</p>	<p>Водоотведение – любой сброс вод, в том числе сточных вод и (или) дренажных вод, в водные объекты (ст.1)</p>
<p>Не используется</p>	<p>Водоснабжение – подача поверхностных или подземных вод водопотребителям в требуемом количестве и в соответствии с целевыми показателями качества воды в водных объектах (ст.1)</p>

Согласно новому Водному Кодексу от 03.06.2006 г., водные объекты находятся в собственности Российской Федерации (федеральной собственности), за исключением случаев, установленных частью 2 статьи 8, где указывается, что пруд, обводненный карьер, расположенные в границах земельного участка, принадлежащего на праве собственности субъекту Российской Федерации, муниципальному образованию, физическому лицу, юридическому лицу, находятся соответственно в собственности субъекта Российской Федерации, муниципального образова-

ния, физического лица, юридического лица, если иное не установлено федеральными законами.

Имеется и целый ряд других, не менее существенных изменений. В табл. 5.2 приведены результаты их сравнительного анализа с точки зрения функционирования ключевых игроков процесса водопользования – Федерального агентства по водным ресурсам и его территориальных подразделений, органов власти субъектов Российской Федерации, водопользователей. При этом следует отметить, что были рассмотрены самые основные (принципиально важные) моменты прежнего и нового (действующего) водного законодательства, в частности, термины и их определения, собственность, виды водопользования, плата за пользование водными объектами.

Таблица 5.2. Основные моменты действующего водного законодательства в сравнении с Водным Кодексом от 18.10.1995 г.

Объект анализа	Федеральное агентство по водным ресурсам	Территориальное подразделение, орган исполнительной власти	Водопользователь
1	2	3	4
Терминология: водный объект	Более конкретное и точное понятие «водный объект» без разделения на естественный и искусственный в.о. дает возможность управлять без каких-либо препятствий.	Необходимо разделение понятия «водный объект» на два: естественный и искусственный водные объекты.	Не имеет значения
Терминология: использование (водопользование) водного объекта	Объединение 2-х понятий в одно помогает проще управлять.		Не имеет значения

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4
Терминология: охрана водного объекта	Система мероприятий помогает ограничивать деятельность частных лиц для комфортного существования всего общества.		Не ясна роль водопользователя при осуществлении природоохранных мероприятий.
Виды водопользования	Деление на две категории (обособленное и совместное), а не на три (общее, особое, сервитут), как в Водном Кодексе от 18.10.1995 г., лучше вследствие более конкретной связи с земельным законодательством (обособленное водопользование заменяет водный сервитут).		
Собственность	Обособленное водопользование приближает вопрос о собственности на водный объект к вопросам о собственности на землю, облегчает взаимодействие водного и земельного законодательства.		
Плата	Поступление всех платежей за использование водного объекта в местный бюджет мешает развитию иных регионов и направлению денежных средств на восстановление водных объектов.	Новый Водный Кодекс предусматривает поступление всех платежей в местный бюджет, что дает возможность развития региона (области).	Не имеет значения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Назовите основные нормативные документы, регламентирующие использование водных объектов для сброса сточных вод.
2. Перечислите принципы водного законодательства.
3. Укажите государственные органы управления в области использования и охраны водных объектов.
4. Назовите основные законодательные акты Российской Федерации в сфере водопользования.
5. Назовите форму собственности на водные объекты в России.

6. Кто осуществляет права собственников на водные объекты в пределах Российской Федерации?
7. Могут ли находиться в собственности граждан и юридических лиц водные объекты Российской Федерации?
8. В каких случаях взимается плата за водопользование?
9. В каких случаях не взимается плата за водопользование?
10. Куда и в каких соотношениях поступает плата за водопользование?
11. Назовите виды правовой ответственности в водном законодательстве.
12. Назовите виды водопользования в действующем Водном кодексе РФ.

Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
2. Алексеев В.А., Рыженко Б.Н., Шварцев С.Л. и др. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода – порода. В 2 т. Т. 1. Система вода – порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / отв. ред. С.Л. Шварцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 244 с.
3. Алексеевский Н.И. Гидрофизика. – М.: Академия, 2006. – 176 с.
4. Базанов В.А., Савичев О.Г., Волостнов Д.В. и др. Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – № 2. – С. 72–75.
5. Белоусова А.П. Качество подземных вод: современные подходы к оценке. – М.: Наука, 2001. – 339 с.
6. Березин А.Е., Базанов В.А., Савичев О.Г. Принципы разработки кадастра торфяных болот (на примере районов нефтедобычи Томской области) // Охрана природы: сб. статей / под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – Вып. 3. – С. 13–26.
7. Бесценная М.А., Орлов В.Г. Практикум по оценке загрязненности водных объектов. – Л.: Изд-во ЛПИ, 1983. – 54 с.
8. Болота Западной Сибири. Их строение и гидрологический режим / под ред. К.Е. Иванова и С.М. Новикова. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 447 с.
9. Боценюк К.Л., Павелко В.Л. О перспективах развития методов математического моделирования в исследованиях гидрохимических процессов // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – Т. 92. – С. 46–52.

10. Веницианов Е.В. Физико-химические процессы в поверхностных водах // Водные проблемы на рубеже веков: Сб. статей под ред. М.Г. Хубляряна. – М.: Наука, 1999. – С. 241–255.
11. Вода России. Математическое моделирование в управлении водопользованием / под ред. А.М. Черняева. – Екатеринбург: Изд-во «Аква-пресс», 2001. – 520 с.
12. Водный кодекс Российской Федерации (от 03.06.2006 г.) № 74-ФЗ: принят Государственной Думой 12.04.2006 г.
13. Временные методические указания по проведению расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 52 с.
14. Временные методические указания по проведению расчетов фоновых концентраций в болотных водах и предельно допустимых сбросов (ПДС) вредных веществ в болота со сточными водами. – Томск: ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг», ГУПР по Томской области, ОГУ «Облкомприрода», 2003. – 23 с.
15. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. – М.: Мир, 1968. – 368 с.
16. Горбачев В.Ф., Серпокрылов Н.С., Бутко А.В. Комплексный учет антропогенных нагрузок при прогнозе качества воды водотоков // ВСТ-Haustechник, 1999, № 4, С. 10-13.
17. Горев Л.Н., Пелешенко В.И. Мелиоративная гидрохимия. – Киев: Вища школа, 1984. – 256 с.
18. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Госстандарт РФ. – 31 с.
19. Драйвер Дж. Геохимия природных вод / перевод с англ. Л.Н. Барабанова и Г.А. Соломина. – М.: Мир, 1985. – 440 с.
20. Дружинин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 390 с.
21. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
22. Иванов, К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах / К.Е. Иванов. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
23. Инструкция по отбору проб для анализа сточных вод. НВН 33-5.3.01-85. – М.: Миводхоз СССР, 1985. – 26 с.
24. Караушев А.В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 416 с.
25. Карпов И.К. Моделирование природного минералообразования на ЭВМ / И.К. Карпов, А.И. Киселев, Ф.А. Летников. – М.: Недра, 1976. – 256 с.

26. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Контроль качества воды. – М.: Стройиздат, 1986. – 160 с.
27. Коротный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. – Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2001. – 163 с.
28. Кочарян А.Г. Пути совершенствования нормативной базы качества воды источников водоснабжения РФ // Водные проблемы на рубеже веков / под ред. М.Г. Хубларяна. – М.: Наука, 1999. – С. 195–205.
29. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н. Анализ разрешающих возможностей прогнозных моделей изменений химического состава подземных вод, их оптимальное геохимическое содержание // Геохимия. – 2000. – № 7. – С. 691-703.
30. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швецов В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
31. Крайнов С.Р., Шваров Ю.В., Гричук Д.В. и др. Методы гидрогеохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1988. – 254 с.
32. Кривошеин Д.А., Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков. – М.: Высш. шк., 2003. – 344 с.
33. Кумсиашвили Г.П. Гидроэкологический потенциал водных ресурсов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 270 с.
34. Кутепов А.М., Полянин А.Д., Запryanов З.Д. и др. Химическая гидродинамика: справочное пособие. – М.: Бюро Квантум, 1996. – 336 с.
35. Лапшев Н.Н. Расчеты выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 85 с.
36. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Косов В.И. Физические процессы в торфяной залежи. – Минск: Наука и техника, 1989. – 287 с.
37. Луценко Г.Н., Цветкова А.И., Свердлов И.Ш. Физико-химическая очистка городских сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984. – 89 с.
38. Макеты программ по ведению государственного мониторинга водных объектов на территориальном и бассейновом уровнях. Утв. Первым зам. Министра природных ресурсов РФ 05.07.1999. – М.: МПР РФ, 1999. – 57 с.
39. Мелиорация и водное хозяйство. В 5 т. Т. 5. Водное хозяйство / под ред. И.И. Бородавченко. – М.: Агропромиздат, 1988. – 400 с.
40. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утв.

- Приказом МПР России от 17.12.2007 г. № 333. Зарегистр. в Минюст РФ от 21.02.2008 г. № 11198. – М.: МПР России, 2008. – 35 с.
41. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. А.В. Караушева. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 175 с.
 42. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утв. Приказом МПР России от 12.12.2007 г. № 328. Зарегистр. в Минюст РФ от 23.01.2008 г. № 10974. – М.: МПР России, 2008. – 34 с.
 43. Методические указания. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета. РД 52.24.309-92. – СПб.: Роскомгидромет, 1992. – 67 с.
 44. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков: РД 52.24.622–2001. – М.: Федерал. служба России по гидрометеор. и монитор. окруж. среды, 2001. – 68 с.
 45. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям: РД 52.24.643–2002. – М.: Федерал. служба России по гидрометеор. и монитор. окруж. среды, 2002. – 34 с.
 46. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Т.1. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. – М.: МГУ, 1998. – 611 с.
 47. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология. – М.: Высш. Шк., 2005. – 463 с.
 48. Назаров Н.А., Демидов В.Н. Методы и результаты численного моделирования переноса неконсервативной примеси в речном потоке // Водные ресурсы. – 2001. – № 1. – С. 38-46.
 49. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч.3. Гидрологические наблюдения на постах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 264 с.
 50. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 360 с.
 51. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. – СПб.: АМЕКОС, 1993. – 233 с.
 52. Носаль А.П. Изучение самоочищающей способности низинных болот при сбросе сточных вод (на примере Ивдельского болота) // Проблемы региональной экологии: спец. выпуск. – 1999. – С. 57-70.

53. Носаль А.П. Оценка самоочищающей способности болот и ее использование при нормировании // Водное хозяйство России. – Т. 4. – № 4. – 2002. – С. 308-323.
54. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.
55. Попов А.Н., Носаль А.П., Логинова Т.В. Методические рекомендации по учету трансформации качества сбрасываемых сточных вод на болотном участке // Тезисы докл. IV международн. конгресса «ЭКВАТЭК-2000». – М., 2000. – С. 566-567.
56. Правила охраны поверхностных водных объектов (типовые положения). – М.: Государственный комитет СССР по охране природы, 1991. – 35 с.
57. Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения. – М.: Наука, 2003. – 352 с.
58. Савичев О.Г., Колоколова О.В., Жуковская Е.А. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами // Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 108–119.
59. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, использование и охрана. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – 202 с.
60. Савичев О.Г. Условия формирования ионного стока в бассейне Средней Оби // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – № 2. – С. 54–58.
61. Савичев О.Г. Влияние болот на гидрохимический сток в бассейне Средней Оби (в пределах Томской области) // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – № 3. – С. 47–50.
62. Савичев О.Г. Метод оценки допустимых антропогенных изменений химического состава поверхностных вод // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – № 4. – С. 51-55.
63. Савичев О.Г., Базанов В.А., Скугарев А.А. Оценка допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2006. – 82 с.
64. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1074–01. – М.: Минздрав РФ, 2001. – 16 с.
65. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. СанПиН 2.1.5.980-00. – М.: Минздрав РФ, 2000. – 23 с.

66. Сафронова К.И., Веницианов Е.В., Кочарян А.Г. и др. Структура и информационное обеспечение системы контроля качества поверхностных вод // Водные ресурсы. – 1997. – № 6. – С. 711-717.
67. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997. – 41 с.
68. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997. – 32 с.
69. Свод правил по проектированию и строительству. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 72 с.
70. Семчуков А.Н., Квон В.И. Определение интенсивности сброса загрязняющих веществ в реку по данным наблюдений в расположенном ниже створе // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 7. – С. 84-91.
71. Сметанин В.И. Восстановление и очистка водных объектов. – М.: Колосс, 2003. – 157 с.
72. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2002 г.: информационный бюллетень. Вып. 5 / под ред. В.А. Лыготина и Ю.В. Макушина. – Томск: ТЦ «Томскгеомониторинг», 2003. – 84 с.
73. Справочник по гидрохимии / под ред. А.В. Никанорова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 391 с.
74. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / Kruger International Consult A/S, Denmark, V.F. Karpuhin. – Copenhagen: Ministry of Environment and Energy, Danish Environment Protection Agency, Printed by Schultz Grafisk, 2001. – 253 p.
75. Трофимов В.В., Манихин В.И. Имитационная модель, описывающая миграцию химических веществ в системе «вода-донные отложения» и пути ее численной реализации // Гидрохимические материалы. – Т.ХСII. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1984. – С.65-72.
76. Указания по расчетам стока с неосушенных и осушенных верховых болот. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971.
77. Фадеев В.В., Тарасов М.П., Павелко В.Л. Зависимость минерализации и ионного состава воды рек от их водного режима. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 391 с.
78. Цхай А.А., Агейков В.Ю. Математическое моделирование процессов трансформации соединений азота и фосфора и изменчивости

- кислородного режима в водохранилище // Водные ресурсы. – 1997. – № 6. – С. 718-728.
79. Черкинский Ч.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. – М.: Стройиздат, 1971. – 223 с.
80. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
81. Яковлев С.В., Губий И.Г., Павлинова И.И., Родин В.Н. Комплексное использование водных ресурсов: учебн. пособие. – М.: Высш. шк., 2005. – 384 с.
82. Acharya R.C., Van der Zee S.E.A.T.M. Transport modeling of nonlinearly adsorbing solutes in physically heterogeneous pore networks // Water resources research. – 2005. – Vol. 41. – W02020. – P. 11.
83. Hellman H. Qualitative Hydrologie – Wasserbeschaffenheit und Stoffflüsse. – Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 1999. – 410 p.
84. Lerman A. Geochemical Processes Water and Sediment Environments. – New York: Wiley – Interscience Public, 1979. – 481 p.
85. Vuksanovic V., De Smedt F., Van Meerbeeck S. Transport of polychlorinated biphenyls (PCB) in the Scheldt Estuary simulated with the water quality model WASP // Journal of Hydrology, 1996, Vol. 174, pp. 1-18.
86. White Ar. F. Chemical weathering rates of silicate minerals in soils // Reviews in Mineralogy. Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals / Mineralogical Society of America. – 1995. – Vol. 31. – P. 405–462.
87. Wu Y-S., Pan L. An analytical solution for transient radial flow through unsaturated fractured porous media // Water resources research. – 2005. – Vol. 41. – W02029. – P. 6.

Оглавление

Введение	3
1. Подходы и принципы оценки допустимых сбросов загрязняющих веществ.....	4
1.1. Математические модели процессов формирования химического состава вод	4
1.2. Алгоритм расчета НДС ЗВ.....	12
1.3. Определение расчетного расхода воды	15
1.4. Пример характеристики предприятия – водопользователя и природных условий на участке сброса ЗВ (ЗАО «Нейтрализация и очистка промышленных сточных вод», Томская область).....	23
1.4.1. Общая характеристика ЗАО «НОПСВ» и условий сброса ЗВ в водный объект	23

1.4.2. Гидрологическая и гидрохимическая характеристика водного объекта на участке выпуска сточных вод ЗАО «НОПСВ».....	25
1.4.3. Данные о технологических процессах, в результате которых образуются сточные воды ЗАО «НОПСВ»	31
1.4.4. Данные об эффективности очистки сточных вод ЗАО «НОПСВ»	33
2. Расчет «фонового» химического состава поверхностных вод.....	34
2.1. Водотоки	34
2.1.1. Пример расчета фоновой концентрации при отсутствии данных о расходах воды	40
2.1.2. Пример расчета фоновой концентрации при наличии данных о расходах воды и связей между гидрохимическими и гидрологическими показателями	41
2.2. Озера и водохранилища	43
2.3. Болота.....	45
2.4. О связи между гидрохимическими и гидрологическими показателями	50
3. Расчет разбавления сточных вод от организованных одиночных источников.....	51
3.1. Расчет разбавления сточных вод в реках	52
3.1.1. Аналитические методы.....	52
3.1.1.1. Расчет начального разбавления по методу Н.Н. Лапшева..	52
3.1.1.2. Пример расчета начального разбавления по методу Н.Н. Лапшева	54
3.1.1.3. Расчет основного разбавления по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера.....	54
3.1.1.4. Пример расчета основного разбавления по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера	56
3.1.1.5. Прочие аналитические методы	57
3.1.2. Численные методы.....	57
3.1.2.1. Расчет распределения концентраций по методу А.В. Караушева.....	57
3.1.2.2. Пример расчета распределения минерализации по методу А.В. Караушева.....	59
.....	60
3.1.2.3. Прочие численные методы.....	60
3.2. Расчет разбавления сточных вод в озерах и водохранилищах.....	61
3.2.1. Аналитические методы.....	61
3.2.1.1. Расчет начального и основного разбавления по методу М.А. Руффеля	61
3.2.1.2. Пример расчета начального и основного разбавления по	

методу М.А. Руффеля	62
3.2.1.3. Прочие аналитические методы	63
3.2.2. Численные методы	65
3.3. Расчет разбавления сточных вод в болотах	66
3.3.1. Аналитические методы	66
3.3.1.1. Расчет распределения концентраций веществ по методу РосНИИВХ	66
3.3.1.2. Расчет распределения концентраций веществ на основе аналитического решения уравнения диффузии	67
3.3.1.3. Пример расчета распределения минерализации вод низинного болота на основе аналитического решения уравнения диффузии	69
4. Расчет по водохозяйственным участкам и альтернативный подход к определению НДС	71
4.1. Расчет НДС по водохозяйственным участкам	71
4.2. Расчет НДС на основе критерия однородности	74
5. Нормативно-правовая база определения предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты	77
5.1. Общие положения	77
5.2. Основные термины водного законодательства	79
5.3. Право собственности на водные объекты	80
5.4. Право пользования водными объектами	81
5.5. Договор водопользования и решение о предоставлении водных объектов в пользование	82
5.6. Правовая ответственность за нарушение водного законодательства	85
5.7. Основные тенденции реформирования водного законодательства	93
Список литературы	99

Учебное издание

САВИЧЕВ Олег Геннадьевич
КУЗЕВАНОВ Константин Иванович
ХВАЩЕВСКАЯ Альбина Анатольевна
ЯНКОВСКИЙ Владимир Владимирович

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ:
МЕТОДЫ РАСЧЁТА ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫЕ
ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СУШИ. ЧАСТЬ I**

Учебное пособие

Научный редактор
кандидат наук

Ю.И. Копылова

Редактор

Е.О. Фукалова

Верстка

В.П. Аршинова

Дизайн обложки

О.Ю. Аршинова

Подписано к печати 00.00.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Сне-
гурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 000. Уч.-изд.л. 000.

Заказ XXX. Тираж XXX экз.

Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифи-
цирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO
9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.