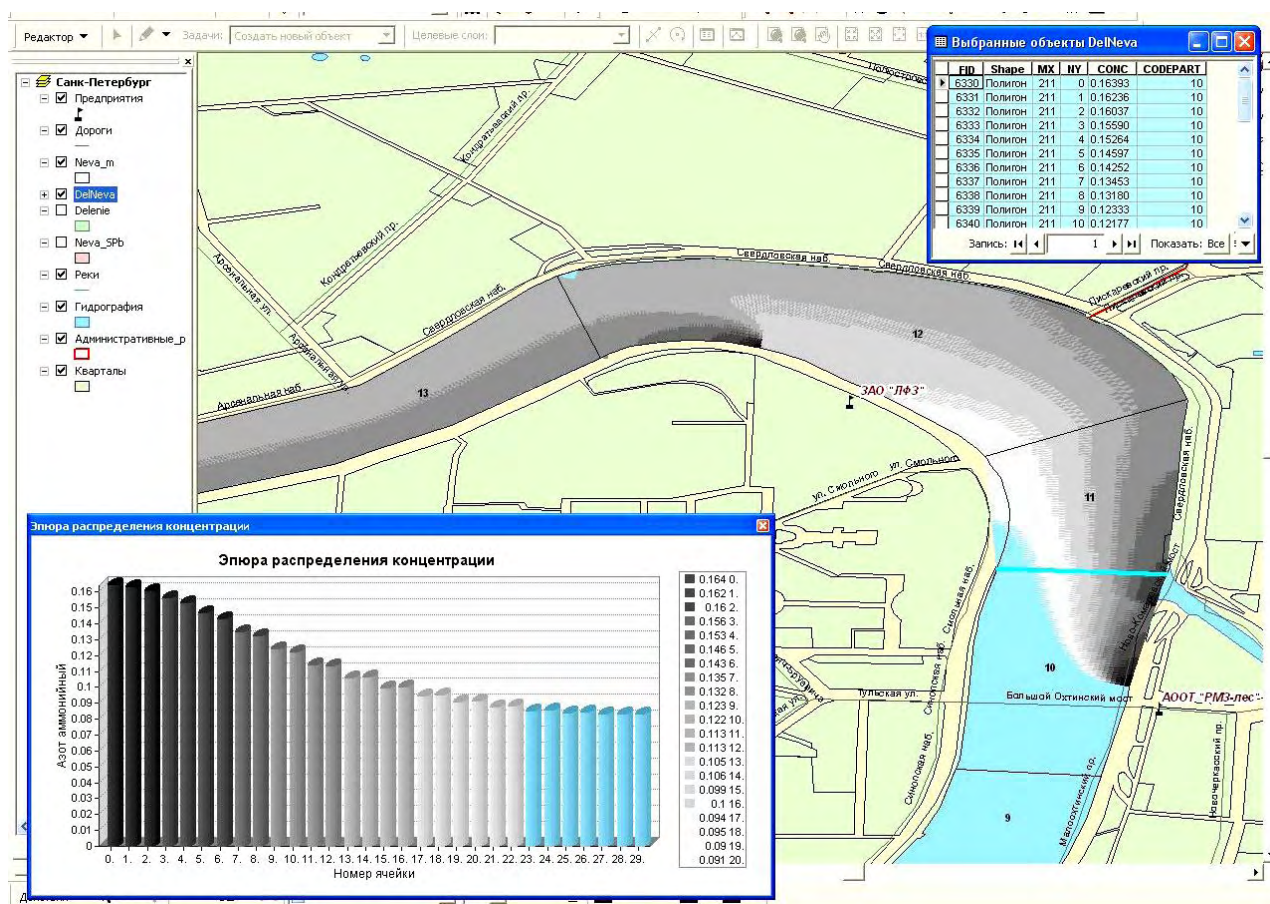


ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие



Санкт-Петербург

2010

Федеральное агентство по образованию

**Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования**

**«Санкт-Петербургский государственный технологический
университет растительных полимеров»**

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие

**Санкт-Петербург
2010**

ББК 57.026Я7
О 931
УДК 502.7 (075)

Оценка техногенного воздействия на водные объекты с применением геоинформационных систем: учебно-методическое пособие/ сост. А.И. Шишкин, А.В. Епифанов, Н.С. Хуршудян, Д.В. Шаренков, И.В. Антонов; ГОУВПО СПбГТУРП.- СПб., 2010. - 110 с.

Учебно-методическое пособие содержит теоретические основы и методику расчета нормативов допустимых сбросов сточных вод от разных типов источников загрязнения в водотоки с применением моделей конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ и географических информационных систем. В пособии рассмотрены вопросы самоочищения водоемов и расчета основных гидрохимических параметров.

Предназначается для студентов специальностей «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Инженерная защита окружающей среды» и может быть использовано при изучении курсов «Оценка воздействия на окружающую среду» и «Экологический мониторинг», а также для слушателей курсов повышения квалификации и инженерно-технических работников, разрабатывающих разделы оценки воздействия на окружающую среду.

Рецензенты: заведующий лабораторией качества вод ГГИ, заведующий кафедрой общей химии РГГМУ, проф., д-р техн. наук Б.Г. Скакальский ; профессор кафедры ООС и РИПР СПб ГТУРП, д-р техн. наук И.В. Вольф.

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов (протокол №6 от 1 декабря 2009 г.).

Утверждено к изданию методической комиссией инженерно-экологического факультета (протокол № 2 от 23 декабря 2009 г.).

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров в качестве учебно-методического пособия.

© Шишкин А.И.
Епифанов А.В.
Хуршудян Н.С.
Шаренков Д.В.
Антонов И.В., 2010

© ГОУВПО Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных
полимеров, 2010

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОЕМ	7
1.1. ПРЯМАЯ ЗАДАЧА ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА.....	9
1.2. ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ПРОГНОЗА НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМОГО СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД	10
1.3. ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	11
1.4. РАСЧЕТ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ	12
1.5. ТИПЫ ВОДОВЫПУСКОВ.....	16
1.6. РАСЧЕТ ДОПУСТИМОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА.....	19
1.6.1. Выбор расчетной модели	19
1.6.2. Определение коэффициента поперечной диффузии.....	21
1.6.3. Расчет начального разбавления	21
1.6.4. Построение расчетной схемы.....	23
2. РАСЧЕТ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМОГО СБРОСА С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	24
2.1. ПРОГРАММА «ЭКОПРОГНОЗ».....	25
2.2. ПРОГРАММА «WASTE».....	31
3. ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ.....	36
3.1. ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ, РЕШАЕМЫЕ В ГИС	38
3.2. СТРУКТУРА ГИС	40
3.3. УПРАЖНЕНИЕ. РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧАСТКА Р.НЕВА.....	42
4. ПРОЦЕССЫ САМООЧИЩЕНИЯ В ВОДОЕМАХ. РАСЧЕТ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА В ВОДОТОКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОМОЛЕКУЛЯРНОЙ И БИМОЛЕКУЛЯРНОЙ МОДЕЛЕЙ БПК-КИСЛОРОД	63
4.1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	63
4.1.1. Описание пакета прикладных программ DesignLad 8.0.....	67
4.1.2. Краткое описание работы с программой.....	68
4.2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	72
ПРИЛОЖЕНИЯ	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РАСЧЕТ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ ВОДОТОКОВ	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ ПДК ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	76

Приложение 3. Отчет по задаче с изменением конструкции точечного водовыпуска на рассеивающий.....	77
Приложение 4. Методика определения долей ЛПВ при решении обратной задачи	79
Приложение 5. Отчет по программе «Экопрогноз»	84
Приложение 6. Отчет по программе «Waste».....	93
Приложение 7. Сводная таблица результатов расчета по программам «Экопрогноз» и «Waste».....	99
Приложение 8. Значения константы скорости биохимического потребления кислорода и его растворимости в зависимости от температуры.....	103
Приложение 9. Расчет кислородного режима в водотоках	104

Введение

Разработка нормативов допустимого воздействия (НДВ) требует оценки как фактического экологического состояния водной экосистемы, так и процессов, протекающих в водном объекте. Вещества, попадающие в водотоки, называются примесями и претерпевают, с одной стороны, разбавление в результате смешения с водами руслового потока, а с другой стороны, - химические и биологические превращения, являющиеся основой самоочищения. Появляется необходимость описать и предсказать ответные реакции водной среды на внесение примесей. Для восстановления недостающих рядов данных, а также целей описания процессов формирования качества воды, определяющих трансформацию состава и свойств загрязнённой воды, прибегают к числовым методам расчёта и методам математического моделирования. Эти методы способствуют разработке эффективной стратегии повышения качества водных ресурсов и выбору соответствующей схемы снижения сбросов из источников загрязнения.

Внедряемый в настоящее время региональный подход к нормированию поступления загрязняющих веществ в водные объекты предполагает использование региональных моделей, которые можно разбить на два класса:

- имитационные;
- оптимизационные.

Модели первого класса призваны дать ответ на вопрос о состоянии окружающей среды (например, водной) при данном конкретном воздействии человека.

Модели второго класса используются для выбора оптимальной (в смысле затрат и ожидаемого эффекта) политики хозяйствования в целом и для выбора оптимального плана водоохранных мероприятий в частности. При этом рассмотрение ведется в масштабе целого региона, например бассейна реки или значительной его части.

Конечная цель любой имитационной модели представляет собой описание и прогнозирование ответной реакции водной среды на те или иные внешние воздействия. При этом сама реакция является результатом большого числа процессов, протекающих в среде. Определяющими являются следующие процессы, которые обычно описываются самостоятельно под моделью:

1. Перенос вещества и разбавление стоков - для описания этих процессов требуются данные по гидрологии и гидродинамике водного объекта, анализ течений, турбулентной диффузии и т. д.
2. Осаждение трудноразложимых примесей – вторичное загрязнение. Для оценки этих процессов необходима организация специальных экспериментальных исследований.
3. Распад легкоразложимых примесей – самоочищение водной среды.
4. Термическое загрязнение.

В настоящее время методы имитационного моделирования составляют неотъемлемую часть интегрированных систем управления водными объектами. На рис. 1 представлена схема, показывающая связь и место имитационной модели в общей системе «водопользователь - водный объект-модель - экологические нормативы». На основании условий сохранения экологического равновесия в водном объекте и с учётом механизмов саморегуляции водных экосистем, а также всех аспектов функционирования предприятий-водопользователей, определяются НДВ, согласующиеся с экологическими стандартами. В соответствии с типом водного объекта и поставленными целями составляется расчётная схема, в соответствии с которой строится имитационная модель. На основании экологических стандартов и показателей, отражающих основные функции экосистемы, характеристик водопользователей и параметров водного объекта задаются



Рис. 1. Роль имитационного моделирования в управлении качеством водными ресурсами

начальные и граничные условия, определяются параметры модели. В соответствии с расчётом по построенной модели определяются НДВ и, соответственно, необходимые мероприятия по улучшению технологий и т. п. водопользователей.

1. Теоретические основы нормирования антропогенной нагрузки на водоем

Согласно ст. 23 Закона №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г., «нормативы допустимых сбросов загрязняющих веществ (ЗВ) устанавливаются исходя из нормативов допустимой антропогенной нагрузки (НДН) на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды, а также технологических нормативов (ТН) на основе использования наилучших существующих технологий (НСТ) с учетом экономических и социальных факторов.

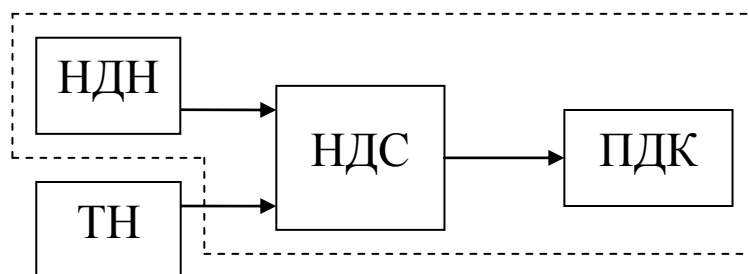


Рис. 2. Система нормирования нагрузки по российскому законодательству

Таким образом, нормирование должно осуществляться исходя из НДН и ТН с целью достижения соответствующего норматива предельно допустимой концентрации (ПДК) ЗВ. Это обеспечит учет ассимилирующей емкости водоприемника и уровня экологичности производства. Принятая на данный момент в нашей стране система (рис. 2, выделено пунктиром) имеет несколько недостатков, основными из которых являются отсутствие учета экономических и социальных факторов в виде технологического норматива и единые по стране значения ПДК.

Понятие «технологический норматив» не нашло в должной мере отображения в действующей на данный момент «Методике разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей», принятой на период разработки НДВ. В этом документе сказано, что «при расчете НДС необходимо учитывать технико-экономические характеристики производства, системы очистки, а также оборотного или повторного использования воды», однако, каким образом надо учитывать эти показатели, не сказано.

Норматив допустимого сброса - это масса загрязняющего вещества, которая может быть сброшена источником загрязнения в водный объект и не создаст с учетом процессов перемешивания и превращения веществ максимальной концентрации в контрольном створе, превышающей экологический норматив.

Решение данной задачи состоит из двух этапов:

1. Решение прямой задачи прогноза качества воды.
2. Решение обратной задачи - расчет НДС.

Ввиду сложности расчетов, особенно в ненаселенных пунктах, где необходимо учитывать взаимовлияние нескольких водовыпусков, разрешено пользоваться различными компьютерными программами для моделирования техногенной нагрузки. Для ручных расчетов, также как и для использования ЭВМ необходим большой перечень информации, минимум которой приведен ниже.

Величины НДС определяются как произведение максимального часового расхода сточных вод - q ($\text{м}^3/\text{ч}$) на допустимую концентрацию загрязняющего вещества $C_{\text{ст}}^{\text{доп.}}$ ($\text{г}/\text{м}^3$):

$$\text{НДС} = q \cdot C_{\text{ст}}^{\text{доп.}}. \quad (1)$$

При расчете условий сброса сточных вод сначала определяется значение $C_{\text{ст}}^{\text{доп.}}$, расчетная формула которого без учета неконсервативности вещества имеет вид:

$$C_{\text{ст}}^{\text{доп.}} = n \cdot (C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{ПДК}}$ - предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока, $\text{г}/\text{м}^3$;

$C_{\text{ф}}$ - фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке ($\text{г}/\text{м}^3$) выше выпуска сточных вод, определяемая в соответствии с действующими методическими документами по проведению расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков;

n - кратность общего разбавления сточных вод в водотоке, равная произведению кратности начального разбавления n_n на кратность основного разбавления n_o (основное разбавление, возникающее при перемещении воды от места выпуска к расчетному створу):

$$n = n_n \cdot n_o \quad (3)$$

Ввиду сложности расчетов кратности общего разбавления, особенно в ненаселенных пунктах, где необходимо учитывать взаимовлияние нескольких водовыпусков, разрешено пользоваться различными компьютерными программами для моделирования техногенной нагрузки. Для ручных расчетов, также как и для использования ЭВМ необходим большой перечень информации, минимум которой приведен ниже.

1.1. Прямая задача прогноза качества

Прямая задача прогноза качества воды состоит из следующих этапов:

1.1. Сбор необходимых для расчета исходных данных.

1.2. Расчет конвективно-диффузионного переноса загрязняющего вещества по длине и ширине водотока. Контрольный створ устанавливается на расстоянии 500 м от точки сброса сточных вод.

1.3. Оценка качества воды в контрольном створе водного объекта (максимальная концентрация загрязняющего вещества сравнивается с нормативами качества воды). В качестве нормативов качества воды могут назначаться или нормативы ПДК для водоемов соответствующих категорий водопользования или нормативы допустимых концентраций, установленные в соответствии с индивидуальными особенностями водных объектов. Если максимальная концентрация любого из загрязняющих веществ в контрольном створе превышает нормы качества воды, то необходимо решать обратную задачу прогноза качества воды и рассчитывать нормативы допустимого сброса (НДС) и предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах источника загрязнения.

Согласно блок-схеме для прямой задачи (рис. 3) по водному объекту данные по водовыпуску заносятся в качестве исходной информации.

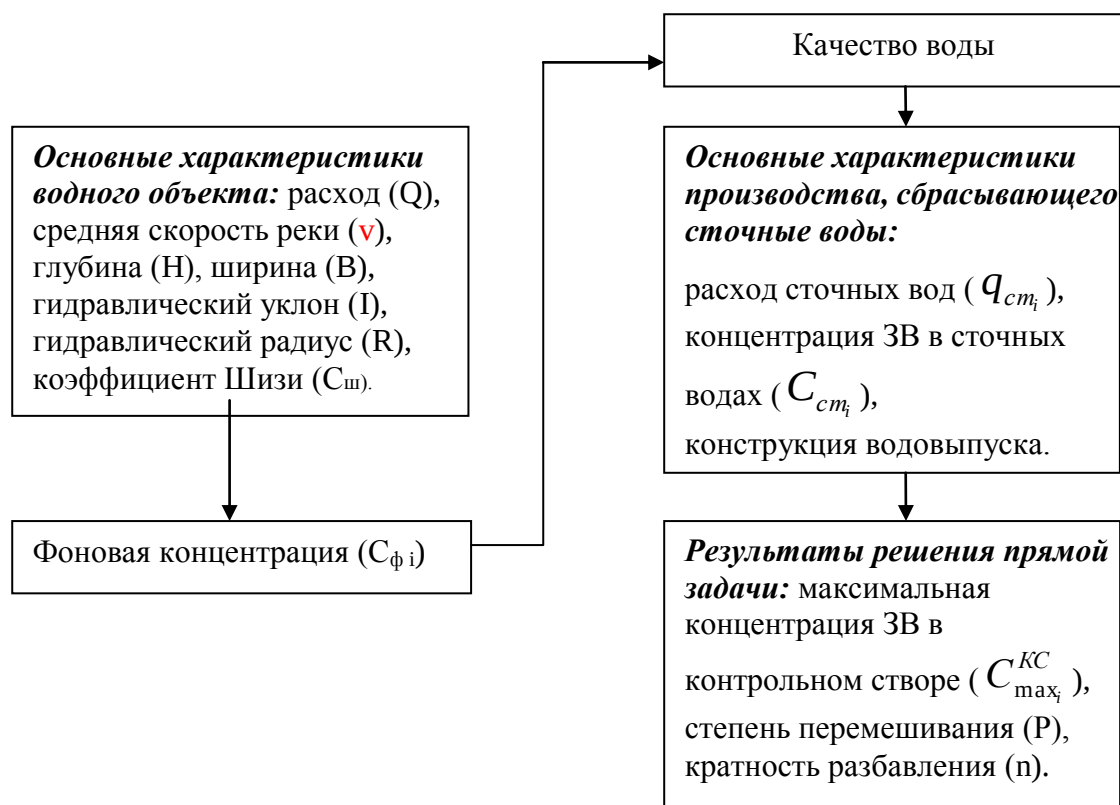


Рис. 3. Блок-схема расчета прямой задачи

С помощью программных средств реализуется одна из типовых моделей: конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ (КДП и ПВ), которая позволяет рассчитать распределение концентраций в заданном створе, определить кратность разбавления, степень перемешивания и максимальную концентрацию по каждому ингредиенту. Рассмотренная схема позволяет определить любой из расчетных параметров показателей качества воды, как при имеющихся исходных данных, так и для случая имитирования различных ситуаций для водного объекта и различных параметров сточных вод.

Полученные результаты сопоставляются с заданными экологическими стандартами. В результате сопоставления могут получиться два варианта:

- полное выполнение всех экологических стандартов;
- абсолютное или частичное невыполнение экологических стандартов.

В первом случае этап решения задачи заканчивается, а во втором – производится постановка обратной задачи прогноза предельно допустимого сброса сточных вод, блок-схема которой приведена на рис. 4.

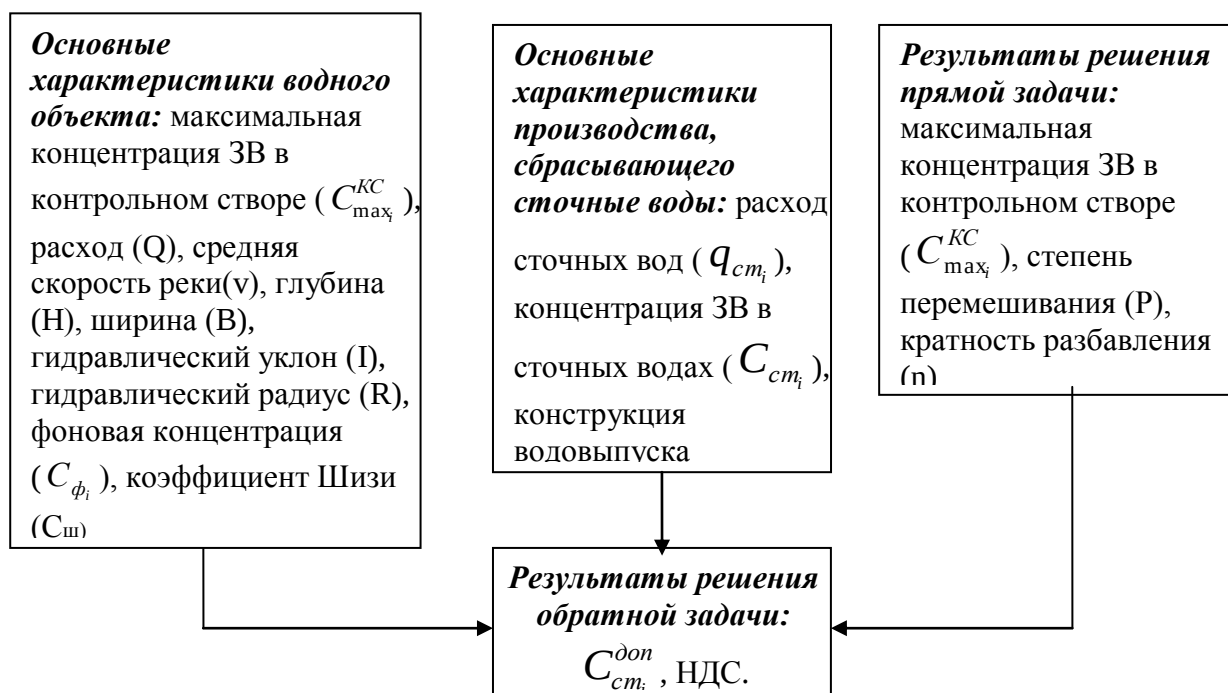


Рис. 4. Блок-схема обратной задачи расчета НДС

1.2. Обратная задача прогноза нормативов допустимого сброса сточных вод

Процесс распределения сточных вод в водотоках можно представить схемой (рис. 5), включающей три зоны участка перемешивания: I – струйная (инерционная) зона первоначального смешения; II – зона выравнивания

концентраций (в ней происходит трехразмерная диффузия загрязняющего вещества, а при малой глубине - двухразмерная); III – зона полного смешения (в ней происходит продольная диффузия загрязняющего вещества). Таким образом, примеси, попавшие в ту или иную часть речного потока или водоема, увлекаются течением и под влиянием турбулентного перемешивания распространяются в смежные струи потока.

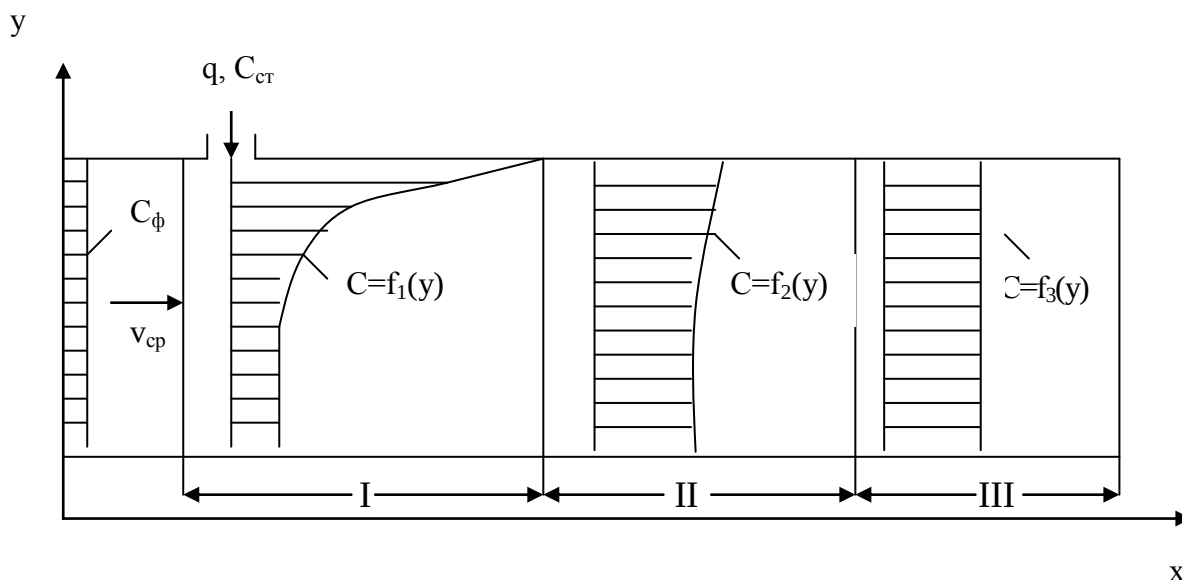


Рис. 5. Принципиальная схема распределения сточных вод для водотоков

При этом происходит разбавление примесей: по мере удаления от места поступления примеси в поток ее концентрация постепенно снижается и при наличии самоочищения приближается к фоновой.

Средняя концентрация примеси определяется из уравнения материального баланса:

$$C_{cp}^* = \frac{q \cdot C_{ст} + Q \cdot C_{ф}}{q + Q}, \quad (4)$$

где $C_{ст}$ – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах по одному показателю, мг/л;
 $C_{ф}$ – фоновая концентрация, мг/л;
 Q – расход воды в реке, м³/с;
 q – расход сточных вод, м³/с.

1.3. Описание исходных данных

Задан водный объект рыбохозяйственного назначения со следующими гидрологическими характеристиками:

- средняя глубина на исследуемом участке Н (м);

- средняя ширина B (м);
- длина расчетного участка L (м);
- средняя скорость течения V (м/с).

Параметры водного объекта сведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры водного объекта

L	B	H	V	Q
<i>м</i>	<i>м</i>	<i>М</i>	<i>м/с</i>	<i>м³/с</i>
500	100	2	0,5	100

На левом берегу водного объекта расположен источник загрязнения. Его координаты от начала расчетного участка: X (м); Y (м). Расход сточных вод q (м³/с). Водовыпуск береговой сосредоточенный. Количество патрубков W принимается равным 1, соответственно расстояние между патрубками W_1 равно 0. Параметры водовыпуска сведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика источника загрязнения

$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$	$q, \text{ м}^3/\text{с}$	W	W_1
10	0	0,9	1	-

Качество сточных вод анализируется по одному параметру загрязнения (метанолу). Значения концентрации расчетного ингредиента в фоновом створе реки $C_{\text{ф}}$, концентрация расчетного ингредиента в сточных водах источника загрязнения $C_{\text{ст.факт}}$, группа по лимитирующему показателю вредности (ЛПВ) – санитарно-токсикологическая, предельно допустимая концентрация (ПДК) для водоемов и водотоков рыбохозяйственного значения сведены в табл. 3. В *Приложении 2* приведен перечень ПДК основных загрязняющих веществ.

Таблица 3

Характеристика показателя загрязнения

Название	Группа ЛПВ	Класс опасности	ПДК р/х	$C_{\text{ф}}$	$C_{\text{ст.факт.}}$
			<i>мг/л</i>	<i>мг/л</i>	<i>мг/л</i>
Метанол	Санитарно-токсикологическая	4	0,1	0,05	0,87

1.4. Расчет фоновых концентраций

Важной и трудоемкой задачей перед определением НДС является расчет фоновой концентрации. Ниже приводится алгоритм ее определения согласно руководящему документу.

Под фоновой концентрацией (C_{ϕ}) понимается расчетное значение концентрации химического вещества в конкретном створе водного объекта, расположенном выше одного или нескольких контролируемых источников этого вещества, при неблагоприятных условиях, обусловленных как естественными, так и антропогенными факторами воздействия.

Расчет должен периодически проводиться с целью установления оптимальной степени очистки, режима и условий сброса сточных вод, при которых качество воды водотока ниже выпуска сточных вод будет удовлетворять установленным нормам.

Для расчета C_{ϕ} используют результаты систематических наблюдений, при получении которых не изменялись методика отбора и анализ проб воды, водный режим водотока и характер поступления рассматриваемых химических веществ на вышерасположенном участке водотока.

Полученные расчетные значения C_{ϕ} действительны в течение 3-х лет со дня получения ответа на запрос, после чего подлежат пересмотру.

На значение C_{ϕ} оказывают влияние уровень расхода воды в водотоке и частота проводимых гидрохимических наблюдений. С целью упрощения расчета будем считать, что статистическая связь между C_{ϕ} и расходом воды отсутствует.

Аномально высокие и низкие значения исходных концентраций, связанные с грубыми ошибками при отборе, подготовке и анализе проб, необходимо исключить.

1. В исследуемом створе выделяют две условно изолированные массы воды: контрольную струю (для которой значение средней концентрации наибольшее) и остальную часть речной воды с более низкими концентрациями загрязняющего вещества.

На первом этапе проводят оценку значимости отличия сравниваемых выборок концентраций вещества (в обеих струях) с помощью критерия Вилькоксона-Манна-Витни (u^*).

Значения концентраций обеих выборок располагают в общую возрастающую последовательность:

$$y_1 \ x_1 \ x_2 \ y_2 \ y_3 \ y_4 \ x_3 \ y_5 \ y_6 \ x_4,$$

где $y_1 \dots y_6$ - концентрации вещества в контрольной струе;

$x_1, \dots, x_4$ - концентрации вещества в остальной части воды.

Каждому значению концентраций присваивается ранг или порядковый номер (если значения концентраций совпадают, то каждому из них присваивается среднее значение ранга).

$$\begin{array}{cccccccccccc} y_1 & x_1 & x_2 & y_2 & y_3 & y_4 & x_3 & y_5 & y_6 & x_4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \end{array}$$

Отдельно для каждой выборки подсчитывается сумма рангов. Например,

$$\begin{array}{cccccccccc} y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 & \Sigma y & & & & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & \Sigma x \\ 1 & 4 & 5 & 6 & 8 & 9 & 33 & & & & 2 & 3 & 7 & 10 & 22 \end{array}$$

Далее переходим непосредственно к вычислению критерия u^* .

$$u^* = T_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} \quad (5)$$

$$u^* = \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} + n_1n_2 - T_2 \quad (6)$$

где T_1 и T_2 – соответственно меньшая и большая суммы рангов в сравниваемых выборках;

n_1 и n_2 – число значений концентраций в выборках с меньшей и большей суммой рангов соответственно.

Если в большей по объему выборке количество данных не более восьми ($n_2 = 8$), то оценку различия концентраций в двух сравниваемых выборках проводят по номограммам с использованием полученного значения u^* и величин n_1 и n_2 , характеризующих соответственно объем меньшей и большей выборок.

Если число данных в большей выборке более восьми, то оценка различия концентраций сравниваемых выборок производится по критерию z , который представляет собой (приближенно) нормированную величину, распределенную по нормальному закону:

$$z = \frac{u^* - \frac{n_2n_1}{2} - \frac{1}{2}}{\sqrt{\frac{n_2n_1(n_2 + n_1 + 1)}{12}}} = \frac{u^* - 0,5(n_2n_1 + 1)}{0,289 \sqrt{n_2n_1(n_2 + n_1 + 1)}} \quad (7)$$

2. На втором этапе устанавливается взаимосвязь между C_ϕ и расходом сточных вод, и в случае наличия значимых статистических связей составляются необходимые расчетные зависимости – уравнения регрессии, по которым впоследствии рассчитывают среднюю концентрации вещества. C_ϕ определяется по формуле (4).

$$C_\phi = C_{cp} + \sigma t_{St} / n, \quad (8)$$

где C_{cp} – средняя концентрация вещества в основном месяце;

σ – среднеквадратическое отклонение значений концентрации в этом месяце;

t_{St} – коэффициент Стьюдента (справочная величина);

n – число данных в градации.

Будем считать, что взаимосвязи между этими показателями нет.

3. При наличии ежемесячных наблюдений за химическим составом воды не менее трех лет расчет C_ϕ начинают с исключения из выборки экстремально высоких значений. Для этого рассчитываем следующие индексы:

$$I' = (C_{\max} - C_{\text{ср}}) / \sigma, \quad (9)$$

$$I'' = (C_{\text{ср}} - C_{\min}) / \sigma, \quad (10)$$

где $C_{\text{ср}}$, $C_{\max}$, $C_{\min}$ - соответственно средняя, максимальная и минимальная концентрации вещества за рассматриваемый период;
 σ – среднеквадратическое отклонение значений концентрации вещества.

В том случае, если $I' > I_n$ или $I'' > I_n$ (где I_n – нормативное значение, определяемое по табл. 4), то взятое для анализа экстремальное значение концентрации вещества исключается из рассматриваемого ряда данных.

Выбранные для расчета $C_{\text{ф}}$ данные сводятся в градации по месяцам (число градаций -12). В выделенных градациях рассчитывают среднюю концентрацию вещества. Месяц с наибольшим значением концентрации вещества принимают за основной. Фоновая концентрация рассчитывается по формуле (8).

Таблица 4

Предельные значения I_n							
n	I_n	n	I_n	N	I_n	n	I_n
3	1,150	10	2,180	17	2,480	50	2,860
4	1,460	11	2,230	18	2,500	200	3,076
5	1,670	12	2,290	19	2,530	250	3,339
6	1,820	13	2,330	20	2,560	500	3,528
7	1,940	14	2,370	25	2,635		
8	2,030	15	2,410	30	2,696		
9	2,110	16	2,440	40	2,792		

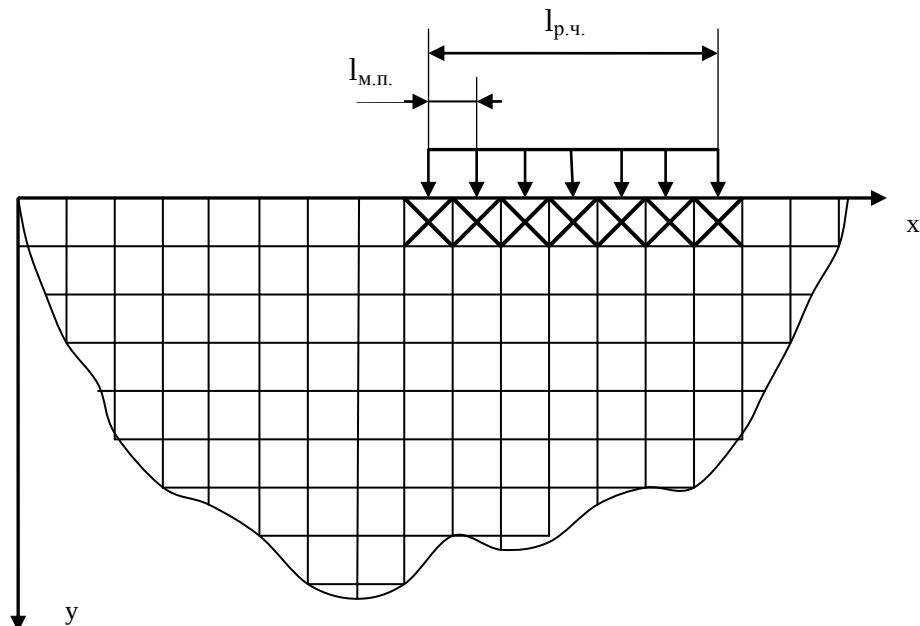
4. Расчет $C_{\text{ф}}$ при наблюдениях реже, чем один раз в месяц, выполняют с учетом возможных версий характерной внутригодовой периодичности изменения концентрации вещества. Основное условие при выборе версий – в каждом периоде должно быть не менее трех значений концентрации. Затем по аналогии с п. 3 исключаются экстремально высокие значения концентраций, рассчитывают среднее значение, период с наибольшей концентрацией принимают за основной. За искомое значение $C_{\text{ф}}$ принимают наибольшее из предварительно рассчитанных значений концентрации вещества по формуле (8).

Пример расчета фоновой концентрации приведен в *Приложении 1*.

1.5. Типы водовыпусков

Существует 5 видов водовыпусков:

1. Береговой распределенный выпуск.

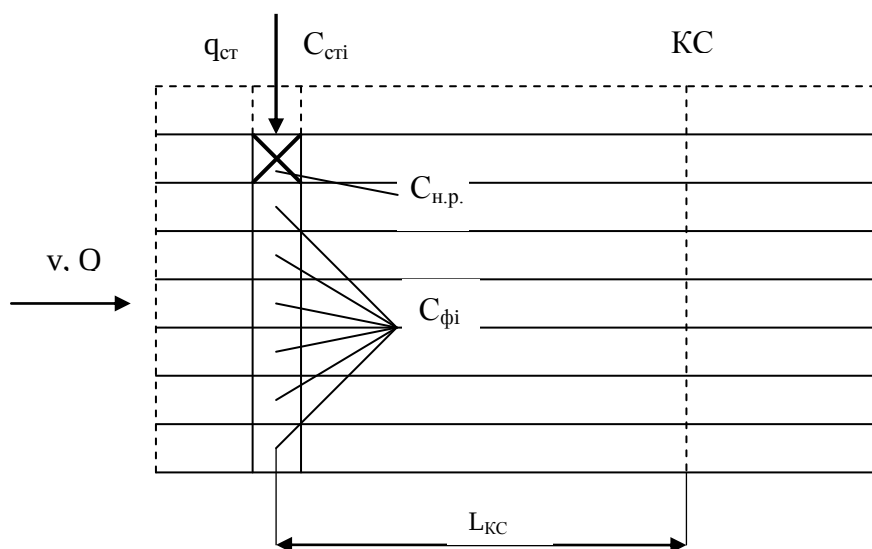


x – координата начальной точки выпуска (км);

$l_{р.ч.}$ – длина распределенной части выпуска (м);

$l_{м.п.}$ – расстояние между патрубками (м).

2. Береговой сосредоточенный выпуск.



x – координата точки выпуска (км)

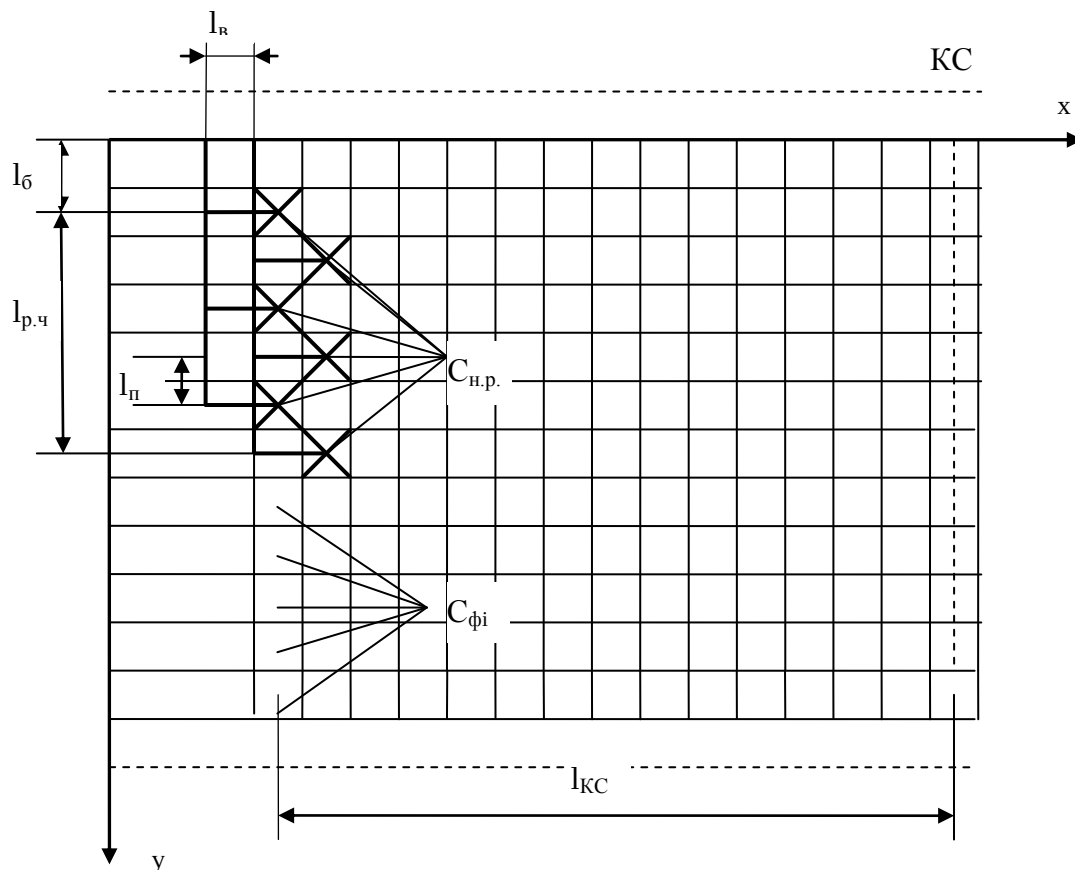
$l_{p.ч.}$ – длина рассеивающей части (м);

l_1 – расстояние между патрубками (м);

N – количество расчетных элементов;

$N+2$ – количество расчетных элементов с учетом граничных условий.

5. Русловой, рассеивающий с двумя ветками выпуск.



x – координата 1-й ветки выпуска (км);

$l_в$ – расстояние между ветками (м);

Для каждой ветки указывается:

$l_б$ – расстояние от берега 1-го патрубка (м);

$l_{p.ч.}$ – длина рассеивающей части (м);

$l_п$ – расстояние между патрубками (м).

Для каждого выпуска задается режим работы:

- стационарный;
- периодический;
- однократного действия;
- залповый.

От конструкции водовыпуска зависит величина начального разбавления и, соответственно, эффективность общего разбавления. Наибольшую величину начального разбавления обеспечивают рассеивающие выпуски.

Для источника, оказывающего наибольшее влияние на качество воды в водоеме, целесообразно применение рассеивающего водовыпуска. При этом назначается количество патрубков и ширина между ними. Общая длина водовыпуска не должна превышать 1/3 ширины реки. Эффективность работы рассеивающего водовыпуска оценивается по величине концентрации начального разбавления ($C_{н.р.}$) и максимальной концентрации в контрольном створе в сравнении с соответствующими величинами для сосредоточенного водовыпуска по каждому показателю загрязнения. Изменение конструкции водовыпуска принимается обоснованным, если уменьшение максимальной концентрации в контрольном створе произойдет более чем на 15%, а изменение концентрации начального разбавления более чем на 50%.

Дальнейшие расчеты выполняются для выбранной конструкции водовыпуска.

В *Приложении 3* приведен отчет по задаче с изменением конструкции водовыпуска с берегового сосредоточенного на русловой рассеивающий. Расстояние от берега до первого патрубка – 5 м, количество патрубков – 3 штуки, расстояние между ними 2 м. Обоснование изменения конструкции приведено в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика сосредоточенного и рассеивающего водовыпусков

Показ-ль	Сосредоточенный (С)		Рассеивающий (Р)		$C_{н.р.}^c - C_{н.р.}^p$	$C_{maxK.C.}^c - C_{maxK.C.}^p$	п		Р	
	$C_{н.р.}^c$	$C_{maxK.C.}^c$	$C_{н.р.}^p$	$C_{maxK.C.}^p$						
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	$C_{н.р.}^c$	$C_{maxK.C.}^c$	С	Р	С	Р
Метанол	0,78	0,23	0,237	0,113	0,696	0,510	4,5	10	24,7	49,4

Из таблицы видно, что максимальная концентрация в контрольном створе уменьшилась примерно на 50 %, а концентрация начального разбавления – на 70 %, степень перемешивания увеличилась более чем в 2 раза, что привело к такому же увеличению кратности разбавления.

1.6. Расчет допустимой концентрации загрязняющего вещества

Расчет допустимой концентрации состоит из нескольких этапов, рассмотренных ниже.

1.6.1. Выбор расчетной модели

Для расчета распространения загрязняющих веществ в водотоке принимаются некоторые допущения:

- морфологические и гидрологические параметры постоянны на рассматриваемом расчетном участке, что обуславливает однородность модели;
- принимается распределение вещества одинаковым по всем осям координат (считается модель изотропной);
- вследствие того, что глубина водотока мала по сравнению с шириной и длиной участка водотока, то распределением концентраций по глубине пренебрегаем - модель двухмерная (в модели рассчитывается концентрация загрязняющих веществ по двум направлениям¹ – длине и ширине потока);
- пренебрегается изменением процесса во времени, в частности не учитываются возможные изменения в режиме работы источников загрязнения (модель считается стационарной);
- для расчета выбирается однородная изотропная двухмерная стационарная модель, позволяющая рассчитать конвективно-диффузионный перенос и превращение веществ с учетом неконсервативности примесей. Уравнение модели получено путем преобразования основного уравнения КДП и ПВ (11) в уравнение (12):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \frac{\partial C}{\partial y} + V_z \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \mu_c, \quad (11)$$

где C – мгновенное значение концентрации;

x, y, z – координаты по соответствующим осям;

t – временной параметр;

V_x, V_y, V_z – средние скорости течения по соответствующим осям;

D_x, D_y, D_z – коэффициенты турбулентного переноса или диффузии;

μ_c – параметр неконсервативности.

$$V_x * \frac{\partial C}{\partial x} = D_y * \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - k_1 \cdot C, \quad (12)$$

где $V_x \frac{\partial C}{\partial x}$ - характеристика конвективного переноса;

$D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$ - характеристика диффузионного переноса;

k_1 – коэффициент самоочищения водотока, мг/(л·с), принимаем равным нулю.

¹ Если ширина реки значительно превышает глубину, то распространение примесей по глубине считается равномерным и им пренебрегают в расчетах.

1.6.2. Определение коэффициента поперечной диффузии

Поперечная диффузия (D_y) может определяться различным способом, выбор которого должен быть обусловлен гидрологическими характеристиками реки и имеющимися данными. Выделяют 5 способов для расчета D_y :

Таблица 6

Способы расчета коэффициента поперечной диффузии

Название метода	Формула расчета	Вспомогательные расчеты	Примечания
Метод Элдера	$D_y = 0,23 \cdot V_* \cdot H$	$V_* = \sqrt{gRJ};$ $R = \frac{B \cdot H}{B + 2H}$	Метод используется для малых рек. R – гидравлический радиус; J – уклон свободной поверхности реки; g – гравитационное ускорение; H – средняя глубина реки; B – средняя ширина реки
Метод Потапова	$D_y = \frac{HV_x}{200}$		Метод используется для равнинных рек. V_x – средняя скорость течения реки
Метод Караушева	$D_y = \frac{HV_x}{MC_{ш}}$	$M = 0,7C_{ш} + 6;$ $C_{ш} = \frac{V_x}{\sqrt{HJ}}$	Метод используется для естественных течений. $C_{ш}$ – коэффициент Шези
Метод Банзала	$\lg \frac{D_y}{V_x H} = -3,547 + 1,378 \cdot \lg \frac{B}{H}$		Метод используется для больших рек.
Комбинированный метод	$D_y = 0,72 \cdot V_x \cdot B \cdot f^2 \cdot N_{ш} \cdot H^m;$ $m = 2,5 \cdot \sqrt{N_{ш}} + 0,75 \cdot \sqrt{H} \cdot (\sqrt{N_{ш}} - 0,1) - 0,13$		Метод используется для естественных течений. $N_{ш}$ – коэффициент шероховатости русла; f – коэффициент извилистости русла; M, m – некоторые вспомогательные коэффициенты.

1.6.3. Расчет начального разбавления

Концентрация начального разбавления ($C_{н.р.}$) – начальная концентрация вещества в месте выброса. При расчете начального разбавления для каждого источника любой конфигурации используются следующие соотношения:

$$C_{н.р.} = \frac{C_{ср} \cdot N_y - C\phi \cdot (N_y - N_3)}{N_3}, \quad (13)$$

$$Q = B \cdot H \cdot V_x \quad (14)$$

где C_{cp}^* – среднее значение концентрации, определенное из уравнения баланса вещества (4), мг/л;

C_ϕ – фоновая концентрация, мг/л;

Q – расход воды в реке при наихудших гидрологических условиях, м³/с;

q – расход сточных вод, м³/с;

H – средняя глубина участка водотока при заданном расходе, м;

B – средняя ширина участка водотока при заданном расходе, м;

V_x – средняя скорость течения, м/с;

N_y – число клеток по ширине реки;

N_z – число клеток загрязнения, N_z рассчитывается исходя из конфигурации источника, если источник сосредоточенный, то, обычно это одна клетка.

Русло реки на рассматриваемом участке принимаем прямоугольным.

В общем случае для каждого источника рассчитывается относительное начальное разбавление (за вычетом фоновой концентрации) и все источники помещаются на обнуленное поле концентраций, соблюдая их конфигурацию. Затем происходит перерасчет всего поля концентраций с начала участка и до конца по течению с захватом всех встретившихся источников.

Таким образом, концентрация начального разбавления для источника, находящегося ниже по течению относительно другого определяется как его относительная концентрация начального разбавления плюс относительная концентрация вещества в точке выброса плюс фоновая концентрация.

Для контрольного створа выполняется расчет следующих параметров: среднее значение концентрации в створе (C_{cp}), максимальное значение концентрации (C_{max}) от каждого источника, суммарное максимальное значение концентрации ($C_{max}^{сум}$), кратность разбавления, рассчитываемая по формуле:

$$n = \frac{C_{ст} - C_\phi}{C_{max} - C_\phi} \quad (15)$$

Кратность разбавления является величиной постоянной для различных значений $C_{ст}$ при фиксированных параметрах модели, что говорит о линейной зависимости максимальной концентрации от концентрации стока. Кратность разбавления используется при расчете НДС. При значении $C_{ст}$, приближающимся к C_ϕ кратность разбавления, как характеризующий параметр, использовать нельзя.

Степень перемешивания, выражаемая в процентах:

$$P = \frac{C_{cp}}{C_{max}} \cdot 100\% ; \quad (16)$$

- характеризует интенсивность разбавления вещества для данной модели.

1.6.4. Построение расчетной схемы

Приведем пример расчетной схемы (рис. 6).

На расчетной схеме изображается исследуемый участок реки, разбитый на $M_x=250$ и $N_y=100$ расчетных элементов (с размерами $h_x=2$ м, $h_y=1$ м) по длине и ширине реки. В графическом виде приведены параметры расчетного участка реки источника загрязнения.

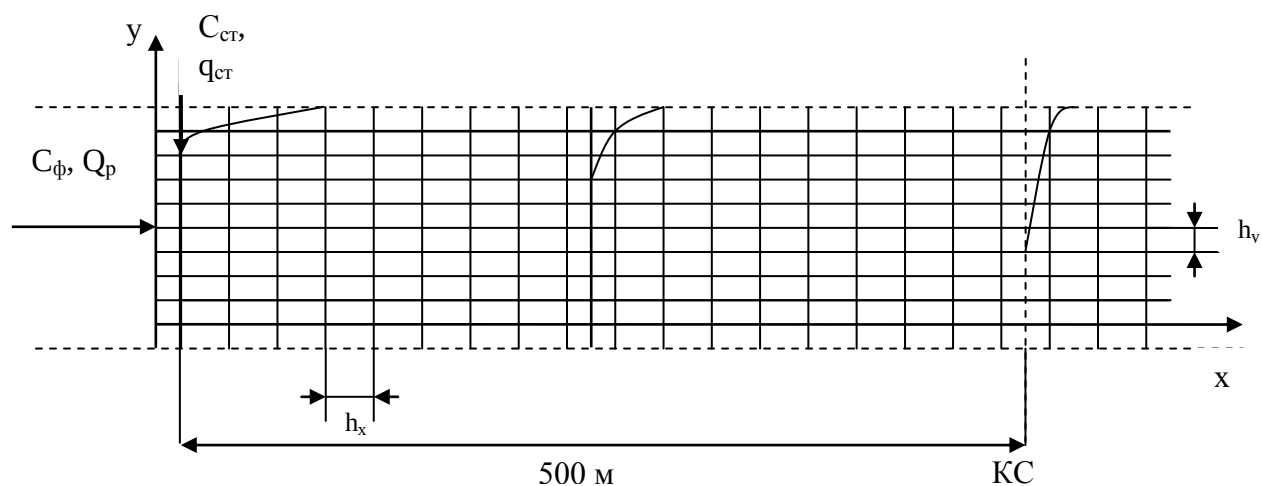


Рис. 6. Расчетная схема

На следующем этапе происходит непосредственно определение НДС с помощью различных программных продуктов.

2. Расчет нормативов допустимого сброса с помощью компьютерного моделирования

Расчет распространения загрязняющих веществ в водотоке производится посредством компьютерного моделирования (более подробно о работе с программами будет изложено в разделе 2.1), при котором дифференциальное уравнение однородной изотопной стационарной двумерной модели конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ (КДП и ПВ) решается по методу конечных разностей.

Вся площадь реки разбивается на участки с одинаковыми размерами, и концентрация загрязняющего вещества на конкретном участке $C [n, m]$ определяется, исходя из концентраций на трех предыдущих участках, соответственно $C [n, m-1]$, $C [n-1, m-1]$, $C [n+1, m-1]$. Таким образом, заполняется все поле концентраций с соблюдением граничных условий и условия устойчивости:

$$\lambda = \frac{D_y * h_x}{h_y^2 * V_x} \leq \frac{1}{4}, \quad (17)$$

где h_x, h_y – длина и ширина расчетного элемента.

Величины h_x, h_y определяются из условия устойчивости при известных значениях коэффициента поперечной диффузии D_y и скорости течения потока V_x .

Контрольный створ обычно устанавливается в 500 м от места последнего сброса или ближе, там, где располагается ближайший пункт водопользования.

При определении НДС условно можно выделить две задачи: прямая и обратная.

Прямая задача расчета является предварительным этапом, на котором оценивается влияние данных источников загрязнения на качество воды в контрольном створе.

Обратная задача является непосредственным расчетом НДС и состоит из двух этапов:

1. Определение допустимой концентрации стока ($C_{cm}^{don.}$) для каждого источника.
2. Расчет НДС, как произведения расхода воды в источнике (q) и допустимой концентрации стока ($C_{cm}^{don.}$).

Для описания процессов формирования качества воды, определяющих трансформацию состава и свойств загрязнённой воды, используют математические модели, которые можно подразделить на две группы: детерминированные и статистические (или вероятностные).

В настоящее время при планировании и разработке водоохранных комплексов большое значение имеют расчеты процессов КДП и ПВ. Именно

они обеспечивают стабильность биологических процессов и устойчивость экологических циклов в районах ниже выпуска сточных вод. А характер и интенсивность протекания биологических процессов определяют НДС на водоемы, водотоки, степень очистки сбросных вод и справедливое распределение затрат на очистку между всеми объектами, сбрасывающими сточные воды.

При проектировании и строительстве любого водоохранного комплекса необходимо соответствующее теоретическое обоснование. Но точные расчеты гидродинамических процессов конвективно-диффузионного переноса в пространстве и во времени и физико-химические превращения неконсервативных примесей в большинстве случаев невозможны из-за громоздкости или отсутствия аналитического решения уравнения КДП, описывающего распределение концентрации расчетного ингредиента в водоеме или водотоке. Полевые исследования и измерения процессов КДП и ПВ в естественных природных условиях трудны и дороги, кроме того, число возможных вариантов, как правило, во много раз превышает число реально существующих типовых объектов. Поэтому исследователи и проектировщики прибегают к числовым методам расчета или к методам математического моделирования.

При математическом моделировании изучаемый процесс, происходящий в данной области, заменяется аналогичным процессом, происходящим в области, геометрически подобной заданной. Так, например, стационарный процесс протекания жидкости по каналу данного сечения, распределение температуры и другие аналогичные процессы заменяются процессом протекания электрического тока по геометрически подобному проводнику. Среди таких моделей, образующих основу устройств с проводящей средой, широко распространены модели на электропроводящей бумаге типа ЭГДА (модели электрогидродинамической аналогии). Достоинством физических моделей является отсутствие методических ошибок и простота конструкции. К недостаткам следует отнести ограниченность применения из-за узости класса решаемых задач и небольшую точность решения, что объясняется сложностью воспроизведения точного геометрического подобия, с одной стороны, и неточностью фиксации геометрических координат измеряемой точки, с другой.

Мы рассмотрим две программы, описывающие процессы КДП и ПВ.

2.1. Программа «Экопрогноз»

Программа предназначена для расчета полей концентраций загрязняющих веществ и определения предельно допустимых параметров водовыпусков.

Постановка задачи

В заданный водный объект, например, реку, производится сброс очищенных сточных вод. Количество водовыпусков и их конструкции могут быть любыми. Требуется рассчитать значения концентраций загрязняющих

веществ в контрольных створах и определить нормативы допустимого сброса сточных вод (рис. 7).

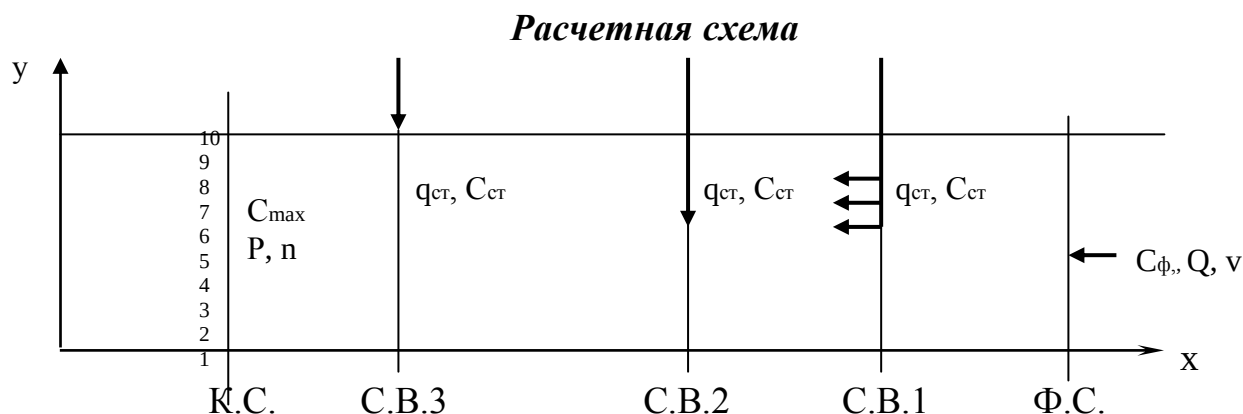


Рис. 7. Схема для расчета по программе «Экопрогноз»

Обозначения:

Ф.С. – створ контроля фоновых характеристик качества воды;

С.В.1, С.В.2, С.В.3 – створы выпуска очищенных сточных вод;

К.С. – контрольный створ;

$C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация;

v – средняя скорость течения;

Q – расход воды в водотоке;

P – степень перемешивания;

n – кратность разбавления;

$q_{\text{ст}}$ – расход сточных вод;

$C_{\text{ст}}$ – концентрация примеси в сточных водах;

x – продольная координата (отсчет от К.С.);

y – поперечная координата (отсчет от правого берега).

Река по ширине делится условно на 10 контрольных точек. В этих точках для контрольного створа и рассчитываются значения концентраций загрязняющих веществ.

Применяемая математическая модель КДП и ПВ

Решается следующее двумерное нестационарное уравнение переноса примеси:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{H} \cdot \frac{d}{dy} \left(K \cdot H \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right) - K_1 C + A, \quad (18)$$

где $C(x, y, t)$ – концентрация примеси;

$U(x, y)$ – компонента продольной скорости;

$H(x, y)$ – глубина реки;

$K(x, y)$ – коэффициент поперечной диффузии;

K_1 – коэффициент неконсервативности;

A – функция источников.

Граничные условия имеют вид:

$$C(0, y, t) = C_{\phi}, \quad (19)$$

где C_{ϕ} – фоновое значение концентраций.

$$dC(x, 0, t) / dy = \frac{dC(x, LB, t)}{dy} = 0 \quad (20)$$

(условия непротекания на берегах водотока).

Начальное условие задается в виде:

$$C(x, y, 0) = C_{\phi}. \quad (21)$$

Решение задачи осуществляется методом случайных блужданий (одна из разновидностей метода Монте-Карло)

Инструкция по работе с программой «Экопрогноз»

1. Создать файл исходных данных о реке (можно воспользоваться уже созданным файлом «fid») и занести туда следующую информацию: 5 чисел, разделенных пробелом – ширина реки (м), глубина (м), скорость течения (м/с), коэффициент поперечной диффузии (м²/с), коэффициент неконсервативности (1/с; принимаем равным 0).
2. Приступить к работе с программой выбрав файл igr.exe.
3. На запросы машины ввести имя файла исходных данных и имя файла результатов расчета.
4. Теперь программа работает в автоматическом режиме и для расчета конкретной ситуации необходимо ввести данные в ответ на вопросы машины.
5. После окончания работы машина «зависает» и для выхода достаточно нажать любую клавишу.

Теперь вся полученная информация (входная и рассчитанная) хранится в файле результата расчета.

Примечания

1. При вводе исходных данных следует обратить внимание на соблюдение следующих условий:
 - значение фоновой концентрации не должно превышать значения ПДК загрязняющего вещества с учетом доли ЛПВ: $C_{\phi} < \text{ПДК} \cdot F$ (F – доля ЛПВ);
 - значение концентрации загрязняющего вещества в сточных водах должно быть больше значения фоновой концентрации: $C_{\text{ст}} > C_{\phi}$.

2. При составлении расчетной схемы необходимо учесть, что наиболее удаленный от водовыпусков контрольный створ имеет координату, равную 0, а створы водовыпусков перечисляются, начиная с самого дальнего, в порядке убывания расстояния до последнего контрольного створа.

Практическая работа

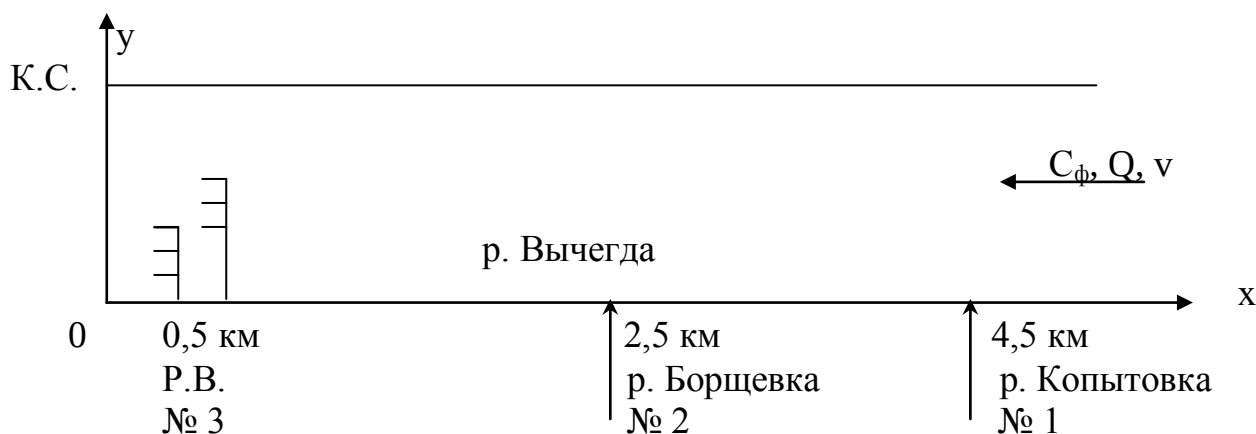
Целями данной работы являются:

1. Получить навыки работы с программой «Экопрогноз».
2. Рассчитать значения концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе по прямой задаче.
3. Определить предельно допустимые концентрации стоков, при которых максимальные значения концентраций в контрольном створе не превышают ПДК.
4. Рассчитать НДС.

Описание объекта исследования и построение расчетной схемы

Объектом исследования является Котласский ЦБК. Он производит выпуск сточных вод тремя потоками. Сброс осуществляется в реку Вычегда.

Расстояние от первого берегового сосредоточенного источника загрязнения (реки Копытовки) до контрольного створа – 4,5 км. Расстояние от второго берегового сосредоточенного источника загрязнения (реки Борщевки) до контрольного створа – 2,5 км. Расстояние от третьего источника загрязнения (руслового рассеивающего выпуска с двумя ветками) до контрольного створа – 0,5 км (рис. 8). Расстояние между ветками 3 м. Расстояние от берега до первого патрубка первой ветки 17,5 м, расстояние от берега до первого патрубка второй ветки 70 м. Количество патрубков на каждой ветке - 21. Расстояние между патрубками 2,5 м. Длина рассеивающей части 50 м (рис. 9).



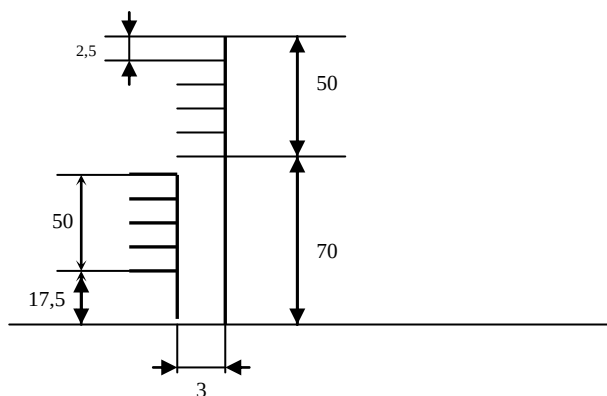


Рис. 9. Условная схема конструкции рассеивающего водовыпуска

Исходные данные по работе:

- Средняя ширина реки – В – 200 м.
- Средняя глубина реки – h – 2,54 м.
- Средняя скорость течения реки – v – 0,7 м/с.
- Коэффициент поперечной диффузии – D_y – 0,2 м²/с.
- Расход сточных вод:
 №1 – q – 1,05 м³/с;
 №2 – q – 1,23 м³/с;
 №3 – q – 7 м³/с.

В табл. 7 приведены гидрохимические показатели, необходимые для численного эксперимента.

Таблица 7

Исходные данные для расчета параметров сброса

Показатели	Класс опасности	ПДК* мг/л	$C_{расч}^{\phi}$ мг/л	F	$\frac{C_{\phi}}{ПДК}$	Концентрация фактическая $C_{ст.ф.}$ мг/л		
						выпуск №1 р.Копытовка	выпуск №2 р. Боршевка	выпуск №3 русовой рассеивающий
Общесанитарная группа								
БПК _{полн}	4	3,0	2,25	100	0,75	5,02	32,6	74,9
Взвеш. вещества	4	27,85	27,6	100	0,99	81,2	33,8	141,0
Санитарно-токсикологическая группа								
Метанол	4	0,1	0,003	100	0,03	0,24	0,77	8,52
Кадмий	2	0,001	0,0002	100	0,2	0,05	0,59	0,0729
Свинец	2	0,01	0,001	100	0,1	0,006	0,011	0,0018
Ртуть	1	0,0005	0,0002	100	0,4	0,0054	0,0048	0,0235
Рыбохозяйственная группа								
Фенолы	3	0,001	0,0002	100	0,2	0,002	0,008	0,014

* - для кадмия, свинца и ртути взяты ПДК для водоемов культурно-бытового назначения; для остальных показателей – ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Порядок проведения работы

1. Решается прямая задача прогноза качества воды для каждого загрязняющего вещества отдельно, т.к. программа не позволяет вводить исходные данные одновременно по всем исследуемым показателям.
2. Анализируется отношение $\sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{\max_i}}{C_{\text{ПДК}_i}} \right)$, где n – количество веществ, входящих в одну группу ЛПВ. Если в эту группу входят два и более вещества 1-го и 2-го класса опасности и $\sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{\max_i}}{C_{\text{ПДК}_i}} \right) \geq 1$, то требуется решение обратной задачи.
3. При решении обратной задачи необходимо подобрать такие значения концентраций загрязняющих веществ 1-го и 2-го классов опасности, чтобы $\sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{\max_i}}{C_{\text{ПДК}_i}} \right)$ было меньше или равно 1. Доля ЛПВ для каждого из веществ 1-го и 2-го классов опасности, входящих в одну группу, кроме общесанитарной, должна быть определена таким образом, чтобы суммарное значение долей было равно 1 или 100%. Более подробно о нахождении долей ЛПВ приведено в *Приложении 4*.
4. Строятся графики распределения концентраций загрязняющих веществ по ширине реки в контрольном створе при одновременной работе всех трех водовыпусков (последние строчки в таблицах) для прямой и обратной задач.

В *Приложении 5* представлен пример отчета полученных результатов по прямой и обратной задачам.

Основные результаты работы

Полученные результаты прогнозирования качества воды по таким показателям как БПК_{полн}, взвешенные вещества, метанол, кадмий и ртуть, позволяет сделать вывод о том, что не выполняются экологические стандарты. Следовательно, необходима обратная задача.

Решая обратную задачу по каждому из этих веществ, мы уменьшаем исходные значения концентраций таким образом, чтобы в контрольном створе выполнялось условие:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{\max_i}}{C_{\text{ПДК}_i}} \leq 1. \quad (22)$$

Результаты прогнозирования по прямой задаче по веществам 1-го и 2-го классов опасности (кадмий, свинец и ртуть), относящимся к санитарно-токсикологическому ЛПВ, не удовлетворяют нормативам качества с учетом эффекта суммации, поэтому для этих веществ выполняется следующий этап по оценке допустимого воздействия на водный объект с учетом его аккумулирующей емкости (см. Приложение 5 – обратная задача).

2.2. Программа «Waste»

Система Waste 4.5 Final предназначена для моделирования и прогнозирования качества воды естественных водотоков, загрязненной промышленными выбросами, построения поля концентраций для нескольких показателей загрязнения, объединенных в группы ЛПВ и определения нормативов допустимого сброса ПДС² для группы веществ.

Применяемая в программе математическая модель, а также определения коэффициента поперечной диффузии, концентрации начального разбавления, степени перемешивания, кратности разбавления и др. описаны выше (в разд. 1.6)

Система координат

Общая система координат по умолчанию задается такой, что точка с координатами 0,0 находится в левом верхнем углу, то есть начало координат находится на левом берегу в начале участка реки. Такое расположение считается стандартным. Положение начала координат можно изменить с помощью установок Обратная ось X и Обратная ось Y (Установки > Система), которые изменяют направление осей X и Y в сторону, противоположную стандартному направлению. Таким образом, если обе эти опции включены, то начало координат находится в правом нижнем углу, на правом берегу в конце участка реки.

Направление течения реки всегда устанавливается слева направо, независимо от направления осей. Изменение параметров отображения осей также не влияет на расположение источников.

Группы ЛПВ

В системе используется 6 групп ЛПВ: общесанитарная, токсикологическая, санитарно-токсикологическая, органолептическая, рыбохозяйственная и специальная. Все показатели загрязнений, которые используются в системе, должны принадлежать к какой-либо группе ЛПВ. К специальной группе ЛПВ можно отнести показатели, для которых расчет

² Норматив НДС был введен в новой редакции Водного Кодекса от 12.04.2006. Программа «Waste» была создана для расчетов предельно допустимого сброса (ПДС), действовавшего ранее. Здесь и далее при описании программы будет использоваться термин «ПДС».

производится не по стандартной схеме. Например, на данный момент для них не установлены значения ПДК, или значение фоновой концентрации превышает ПДК.

Группы ЛПВ используются для расчета ПДС совместно с параметром доля ЛПВ для расчета обратной задачи. Доля ЛПВ определяет предел отношения максимальной концентрации к ПДК для i -го показателя в контрольном створе:

$$F_i = \lim \frac{C_{\max i}}{ПДК_i} \quad (23)$$

Сумма долей ЛПВ для всех показателей в каждой группе должна быть равна 1³, для общесанитарной и специальной это соотношение должно быть равно 1 для каждого показателя. Эти условия используются при расчете ПДС.

Отчет

Waste 4.5 позволяет создать файл отчета по результатам моделирования в формате (Rich Text Format) RTF (Файл>Отчет). Файл может быть просмотрен в любом текстовом редакторе, который позволяет просматривать документы в данном формате, например, Microsoft Word.

В окне *Отчет* предлагается ввести имя файла отчета, а также определить, что будет включено в отчет. В отчет могут быть включены: параметры участка реки, конфигурации источников, параметры показателей загрязнения, параметры сброса и данные, соответствующие контрольному створу для каждого показателя. Контрольный створ для отчета всегда находится в конце участка реки.

Точность вывода значений в отчете определяется в пункте *Точность*.

В отчет включаются только те показатели, которые помечены в списке. Чтобы пометить или снять пометки со всех показателей, используйте клавишу *CTRL*.

Автоматическое включение графиков в отчет не предусмотрено. Для того чтобы включить в отчет график створа, можно воспользоваться буфером обмена Windows, для этого необходимо активизировать нужное окно мышью и нажать ALT - Print Screen и изображение окна будет помещено в буфер обмена. Далее при редактировании отчета нужно воспользоваться функцией текстового редактора *Правка > Вставить* (Edit > Paste).

Waste 4.5 не имеет встроенной функции печати, поэтому производить распечатку можно только из текстового редактора, который Вы используете для его редактирования отчета.

³ Новая «Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей», согласно которой эффект суммации учитывается только для веществ 1-го и 2-го класса опасности, относящихся к одной группе ЛПВ.

Инструкция по работе с программой «Waste»

После загрузки программы вверху на экране появляется строка основного меню. Выбирая пункт меню «Файл», создается новый файл программы. Далее выбирается пункт меню «Параметры», в который входят подпункты: «Река», «Источники», «Показатели» и последовательно задаются все исходные данные по этим пунктам. В параметрах реки необходимо задать длину участка реки L (м) – это расстояние от самого дальнего выпуска до контрольного створа, среднюю ширину B (м) и глубину H (м) участка реки и скорость течения v (м/с). Расчет поперечной диффузии D_y будет рассчитываться автоматически по выбранному методу или задаваться вручную, если выбран ручной метод. Для некоторых методов необходимо задать дополнительные параметры: уклон поверхности, шероховатость русла, извилистость русла.

После этого необходимо задать параметры сетки. Сначала задается параметр N_y – число шагов по ширине реки, а затем, при нажатии кнопки «С» число шагов по длине реки (M_x) рассчитывается автоматически, чтобы было соблюдено условие устойчивости.

Далее переходим к пункту меню «Источники». Добавление новых источников осуществляется нажатием кнопки «Добавить». Для каждого источника задаются его координаты: X (м) – расстояние по длине реки от начала координат, Y (м) – расстояние от берега по ширине реки, количество патрубков W (шт.) и интервал между ними W_1 (м). Для береговых выпусков координата Y всегда будет равна нулю. Ширина стока может быть задана автоматически при нажатии кнопки «С» или вручную.

После этого осуществляется переход к пункту «Показатели». Здесь необходимо вначале нажать кнопку «+», чтобы задать название нового показателя, при этом нужно выбрать группу ЛПВ, к которой он относится. При нажатии кнопки «ОК» новый показатель вносится в список. Показатель «Комплексный», который появляется в самом начале, можно удалить, нажав на кнопку «-». Для каждого показателя задаются: фоновая концентрация C_f (мг/л), предельно допустимая концентрация ПДК (мг/л), коэффициент самоочищения K_1 , доля ЛПВ (%) (сумма долей ЛПВ рассчитывается автоматически), фактическая концентрация стока $C_{ст}$ (мг/л) для каждого водовыпуска.

После того, как все исходные данные заданы, программа осуществляет расчет поля концентраций, и на экране появляются картинки: внизу – карта концентраций на участке реки в цветном изображении, справа – поля концентраций в численных значениях, вверху – графики распределения концентрации по ширине реки для выбранного створа. Также вверху справа появляются численные значения результатов расчета: максимальная концентрация в заданном створе, кратность разбавления, степень

перемешивания, средняя концентрация, суммарное отношение максимальной концентрации к ПДК ($\frac{C_{\max}}{ПДК}$) и т.д.

Чтобы получить полный отчет по работе, необходимо в пункте основного меню «Файл» выбрать пункт «Отчет», ввести имя файла отчета, а также определить, что будет включено в отчет. В отчет включаются все показатели, отмеченные в списке галочкой. Точность вывода значений определяется в пункте «Точность». Отчет будет выведен автоматически при нажатии клавиши «ОК» в формате RTF.

Расчет ПДС производится автоматически в пункте меню «Показатели». Для определения ПДС сначала необходимо задать нужную долю ЛПВ для всех показателей. Значения концентраций стока для тех выпусков, в которых необходимо изменить фактические значения концентраций, выделяем другим цветом. Для этого, удерживая клавишу CTRL, нужно левой кнопкой мыши нажать на номер источника рядом с полем редактирования $C_{\text{ст}}$. После этого нажимаем на клавишу ПДС. Необходимым условием расчета ПДС является выполнение соотношения: $F \cdot ПДК > C_{\text{ф}}$. Если это соотношение не выполняется, то появляется сообщение, что расчет ПДС невозможен. В этом случае необходимо изменить либо долю ЛПВ, либо значение $C_{\text{ф}}$ и повторить расчет ПДС.

Цель практической работы

1. Получить практические навыки по работе с программой “Waste”;
2. Рассчитать значения концентраций загрязняющих веществ с использованием прямой и обратной задач для летнего периода, не превышающих установленные значения ПДК с учетом фоновых концентраций.

Порядок проведения работы

1. Создать новый графический файл по своим данным.
2. Задать гидравлические характеристики реки, подобрать количество шагов по длине и ширине реки.
3. Задать параметры источников выбросов.
4. Ввести данные последовательно по каждому веществу по прямой задаче.
5. Создать отчет результатов, полученных по прямой задаче, анализируя его. В случае, если значение $\Sigma(C_{\text{max}i}/C_{\text{пдк}i})$ для групп веществ больше 1, то требуется проведение обратной задачи.
6. Решая обратную задачу, подобрать допустимые концентрации стоков ($C_{\text{ст.доп.}}$), при которых в контрольном створе нет превышения ПДК с учетом ЛПВ.
7. Провести графическую интерпретацию полученных результатов.
Результаты работы приведены в *Приложении 6*.

Основные результаты работы с программами «Экопрогноз» и «Waste»

Таким образом, был рассмотрен пример прогнозирования качества воды реки Вычегда после сброса в нее сточных вод Котласского ЦБК. Для решения поставленной задачи были использованы 2 программы расчета распространения загрязнения и определения основных параметров сброса сточных вод «Экопрогноз» и «Waste». Результаты, полученные с помощью этих программ, сведены в итоговую таблицу (*Приложение 7*). Результаты расчетов существенных различий не имеют. Стоит отметить, что программа «Waste» более современна и позволяет, в отличие от программы «Экопрогноз», автоматически рассчитать допустимые значения концентрации сточных вод и смоделировать различные варианты нормативов допустимого сброса.

3. Применение ГИС для управления водными объектами

Водные объекты (реки, озера, каналы, водохранилища, гидротехнические сооружения и др.) характеризуются большой протяженностью и пространственной распределённостью по территории России и сопредельных государств. В своем естественном состоянии водный объект представляет собой экологическую систему с определёнными пространственно-территориальными границами. В этой системе живые и неживые элементы взаимодействуют как единое функциональное целое и связаны между собой обменом веществ и энергией. Управление водными ресурсами является сложной, комплексной задачей.

Системы поддержки принятия управленческих решений по охране водных объектов подразделяются во временном разрезе и по типам решаемых задач.

1. Во временном разрезе выделяют следующие задачи управления водными ресурсами:

- 1.1. Долгосрочное (стратегическое) управление.
- 1.2. Оперативное (текущее) управление.
- 1.3. Управление в условиях чрезвычайных ситуаций

1.1. Долгосрочное управление. К данному классу задач относятся задачи, связанные с планированием антропогенного воздействия на рассматриваемую водную систему, включая долговременное планирование хозяйственной деятельности. Без учета долгосрочных задач управления невозможно перспективное развитие региона и оздоровления его экологического состояния в целом.

Пример (необходимо провести оценку степени влияния на водную систему строительства новых или реконструкции действующих промышленных предприятий)

1.2. Оперативное управление. Этот тип задач связан с повседневным управлением водными ресурсами.

Пример (Регулирование режима эксплуатации водосбросов конкретного предприятия)

1.3. Управление в условиях чрезвычайных ситуаций. К данному классу задач управления относятся задачи, характеризующиеся малым диапазоном времени для принятия конкретных решений.

Пример (Попадание в воду высокоопасных, токсических загрязняющих веществ, аварии нефтепроводов и судов, нагонные явления, расходы воды 1 % обеспеченности и т.д.)

2. В зависимости от характера поставленной задачи выделяют следующие СППР.

- 2.1. Задачи, связанные с гидрологическими и гидродинамическими процессами
- 2.2. Задачи, связанные с вопросами качества воды.
- 2.3. Задачи, связанные с экономическими и социально-экономическими аспектами водопользования.
- 2.4. Задачи, связанные с управлением водоохраной деятельностью.

Наличие информации о точном местоположении объектов, их взаимном расположении и взаимосвязи существенно влияет на качество управленческих решений, принимаемых и реализуемых на различных уровнях: федеральном, бассейновом, территориальном и местном. Для решения задач рационального управления водными ресурсами активно используют различные системы - системы поддержки принятия решений (СППР).

Цель создания СППР по управлению водными объектами состоит в обеспечении «Лиц, принимающих решения – (ЛПР)» полной, достоверной и оперативной пространственной информацией, необходимой для поддержки принятия стратегических и оперативных решений по управлению водными ресурсами на территории РФ. Для получения точной и полной оценки качества воды водного объекта и прилегающей к нему территории необходимо учитывать достаточное количество факторов, изменяющихся во времени, которые непосредственно описывают их состояние и по которым можно сделать выводы о загрязненности и возможности дальнейшего использования данного объекта для конкретных целей.

Лицам, принимающим решения для выработки действий по устранению причин загрязнений, необходимо создание мощного инструмента способного обобщать и систематизировать материалы, производить комплексную оценку с последующей интеграцией и визуализацией данных.

В качестве основы для разработки СППР управления водными объектами представляется целесообразным применение географических информационных систем (ГИС). Бурное развитие ГИС началось в начале 90-х годов прошлого века вместе с прогрессом вычислительной техники. В настоящее время существует огромное количество ГИС. Между тем наиболее доступными и универсальными считаются продукты ArcGis американской фирмы Esri.

Геоинформационные технологии позволяют организовать обработку и представление пространственной информации как в виде традиционного набора чисел и текстов, так и в форме электронных карт территорий и соответствующих баз данных. На основе ГИС возможно создание СППР в виде совокупности технических, программных и информационных средств, обеспечивающих ввод, хранение, обработку и интегрированное представление пространственных и соотнесенных с ними атрибутивных данных для решения проблем планирования и управления.

3.1. Задачи управления водными объектами, решаемые в ГИС

Разработка и развертывание ГИС предполагает решение нескольких классов задач.

1. Информационно–справочные задачи, позволяющие осуществлять поиск и уточнение местоположения и характеристик интересующих объектов в двух основных формах:

- Поиск и отображение местоположения объектов на карте (по сложным атрибутивным и пространственным запросам).
- Поиск и отображение атрибутивных характеристик объектов (в том числе видео- и фотоизображений) по их местоположению на карте.

2. Задачи анализа, моделирования и прогнозирования природных и техногенных процессов, связанных с управлением водными ресурсами. Решение этих задач позволяет в удобной и наглядной картографической форме (на экране дисплея или на бумажном носителе) получать обобщенную или детализированную информацию по бассейнам крупных водных объектов.

Решение задач данного класса позволяет:

- Рассчитывать бассейновые нормативы допустимого воздействия и индивидуальные нормативы допустимого сброса для предприятий.
- Определять наиболее загрязненные участки водных объектов и выявлять основные источники загрязнения.
- Моделировать зоны затопления при разрушении ГТС.
- Моделировать аварийные разливы и распространения загрязнителей в водных объектах.

Решение задач первого и второго класса позволяет приступить к решению следующих задач:

1. Для информационной поддержки стратегических решений:

- Анализ эффективности расходования бюджетных средств и мероприятий, направленных на снижение риска вредного воздействия.
- Создание тематических подборок картографических материалов для информационной поддержки стратегического управления водными ресурсами.
- Оптимизация размещения распределенных объектов (дамб, плотин, сети пунктов наблюдений, эксплуатационных последствий аварий (при разрушении гидротехнических сооружений, служб, инженерных сетей и др.).
- Моделирование и прогнозирование при крушениях танкеров, разгерметизации трубопроводов и др.).
- Моделирование зон затопления и подтопления при строительстве гидротехнических сооружений и в паводковых ситуациях.
- Подготовка в установленном порядке противопаводковых мероприятий, мероприятий по проектированию и установлению

водоохранных зон водных объектов и их прибрежных защитных полос, а также мероприятий по предотвращению и ликвидации вредного воздействия вод.

- Проведение в установленном порядке государственной экспертизы схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, а также предпроектной и проектной документации на строительство и реконструкцию хозяйственных и других объектов, влияющих на состояние водных объектов.
- Определение объемов экологических попусков и безвозвратного изъятия поверхностных вод для каждого водного объекта.
- Разработка перспективных планов эксплуатации водохранилищ и водохозяйственных систем комплексного назначения.
- Разработка перспективных планов эксплуатации защитных и других гидротехнических сооружений.
- Обеспечение мероприятий по рациональному использованию водных объектов.

2. Для информационной поддержки оперативных мероприятий:

- Контроль паводковых ситуаций и осуществление оперативных мероприятий по снижению их негативных последствий.
- Эксплуатация защитных и других гидротехнических сооружений.
- Эксплуатация водохранилищ и водохозяйственных систем комплексного назначения.
- Мониторинг и контроль над распределением и расходованием бюджетных средств.
- Оптимизация маршрутов (передвижение по речной сети; перераспределение водных ресурсов по сети водотоков; проезд аварийных бригад к месту аварии и др.).
- Моделирование распространения опасных загрязнений (например, нефти и нефтепродуктов) в водных объектах и при угрозе попадания в водные объекты.
- Установление режимов специальных попусков, наполнения и сработки водохранилищ, пропуска паводков на водных объектах, находящихся в федеральной собственности.
- Обследование технического состояния, инвентаризация и декларирование безопасности ГТС.
- Обеспечение оперативного, качественного и наглядного представления информации.
- Пространственное моделирование загрязнения водных объектов (Расчёт интегральных гидрохимических и гидробиологических индексов, реализация моделей переноса загрязняющих веществ в водных объектах).

3.2. Структура ГИС

ГИС состоят из трех основных блоков:

1. Картографического.
2. Баз данных.
3. Моделирующего.

1. Картографический блок

База геоданных ГИС содержит картографическую, атрибутивную, текстовую и графическую информацию, архивы космических снимков.

Картографическая составляющая БГД должна содержать следующую векторную информацию различных масштабов:

- карту масштаба от 1:10 000 000 до 1:2 500 000, включающую все общегеографические и специализированные объекты территории Российской Федерации и сопредельных государств для работы на федеральном уровне;
- карту масштаба от 1:1 000 000 до 1:200 000, включающую все общегеографические и специализированные объекты для работы на бассейновом и территориальном уровнях;
- карту масштаба менее 1:200 000, включающую все общегеографические и специализированные объекты для работы на территориальном уровне;
- карты масштабов от 1:50 000 до 1:1000 для специализированных объектов (гидротехнические сооружения, населенные пункты, предприятия и др.)

Картографический слой содержит: федеральные округа, хозяйственные районы, территориальное деление (субъекты РФ), районы административного деления субъектов РФ, населенные пункты, отметки высот, изолинии, растительность, автомобильные дороги, сооружения при автодорогах, железные дороги, сооружения при железных дорогах, грунты, хозяйственные строения, трубопроводные магистрали (газопроводы, продуктопроводы, нефтепродуктопроводы), станции и пункты связи, линии связи и ЛЭП. Картографическая информация о водных объектах включает: моря, озера, пруды, реки, водохранилища, бассейны морей, бассейны рек, посты гидрологического и гидрохимического контроля, бассейны подземных вод, пристани, колодцы, маяки, болота, ледники, дополнительную гидрографию (ключи, родники, гейзеры, источники), изобаты.

Слои, имеющие отношение к гидротехническим сооружениям, содержат: гидротехническое сооружение, сведения об авариях, органы госнадзора, зоны ответственности органов госнадзора.

Группа слоев окружающей среды (по отношению к водным объектам) содержит информацию о водопользователях, объектах капитального ремонта, строящихся объектах.

Слой по охраняемым территориям включает: земли водного фонда, водоохранные зоны, прибрежные полосы.

Слой административно-территориальных органов управления водными ресурсами содержит информацию о бассейновых управлениях и зонах их ответственности, территориальных органах и зоны их ответственности.

В состав системы включены также некоторые специальные слои, такие как места аварий.

2. База данных

База данных водных объектов.

База данных предприятий (в соответствии с формой отётности 2-ТП Водхоз.

База данных о прочих источниках загрязнения: сельскохозяйственные и животноводческие предприятия и фермы, места захоронения и утилизации отходов, ливневый сток с территории крупных населенных пунктов, сток с территории железных и автодорог.

База данных многолетних наблюдений гидрологических, гидрохимических и гидробиологических параметров водного объекта.

База данных по платежам за загрязнение водных объектов.

Кадастр водных объектов.

Кадастр городских предприятий.

База данных веществ и лимитирующих показателей их содержания в воде, а также соответствующих констант неконсервативности и классов опасности.

Атрибутивная информация должна содержать данные об общегеографических и специализированных объектах, важных с точки зрения оперативного и стратегического управления водными ресурсами.

Текстовая информация должна содержать описательные сведения об объектах базы данных.

3. Моделирующий блок

1. Моделирование различных гидрологических и гидрохимических процессов в водных объектах.

2. Моделирование антропогенной нагрузки на водные объекты от источников загрязнения.

3. Учет экономических аспектов природопользования.

4. Определение наиболее загрязненных участков водного объекта, ранжирование источников загрязнения (промышленные и сельскохозяйственные предприятия, диффузный сток) по массам сброса загрязняющих веществ, разработка мероприятий по уменьшению антропогенной нагрузки на водные объекты.

5. Расчёт нагрузок от свалок.

6. Расчёт нагрузки от животноводства и птицефабрик.

7. Расчёт стока с территории населенных пунктов и автодорог.
8. Расчёт нагрузки поступающей с атмосферными осадками.
9. Процессы самоочищения в водоемах. Расчет кислородного режима в водотоках с использованием мономолекулярной и бимолекулярной моделей БПК-кислород.

3.3. Упражнение. Разработка эколого-информационной системы участка р.Нева

ГИС - это современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов реального мира, а также событий, происходящих на нашей планете. Эта технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта.

Составные части ГИС

Работающая ГИС включает в себя пять ключевых составляющих: аппаратные средства, программное обеспечение, данные, исполнители и методы.

Аппаратные средства. Это компьютер, на котором запущена ГИС. Программное обеспечение ГИС содержит функции и инструменты, необходимые для хранения, анализа и визуализации географической (пространственной) информации.

Данные - это наиболее важный компонент ГИС. Данные о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные данные могут собираться и подготавливаться самим пользователем, либо приобретаться у поставщиков на коммерческой или другой основе.

Исполнители. Пользователями ГИС могут быть как технические специалисты, разрабатывающие и поддерживающие систему, так и обычные сотрудники (конечные пользователи), которым ГИС помогает решать текущие каждодневные дела и проблемы.

Методы. Успешность и эффективность (в том числе экономическая) применения ГИС во многом зависит от правильно составленного плана и правил работы, которые составляются в соответствии со спецификой задач и работой каждой организации.

Что такое ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop - это три взаимосвязанные базовые приложения: ArcMap, ArcCatalog и ArcToolbox. Их совместное использование позволяет решать ГИС-задачи любой сложности в области картографирования, управления данными, пространственного анализа, редактирования данных и их геообработки.

ArcGIS Desktop - это полнофункциональная, интегрированная, масштабируемая система, разработанная для самого широкого круга пользователей ГИС.

ArcMap - основное приложение ArcGIS Desktop. Оно используется для всех картографических задач, включая создание карт, анализ карт и редактирование данных.

В этом приложении вы работаете с картами. У карты есть компоновка, содержащая окно географических данных, называемое фреймом данных, - набор слоев карты, легенду, масштабные линейки, стрелки Севера и другие элементы.

В ArcMap есть два варианта отображения и работы с картой — в Виде географических данных и в Виде компоновки — в них вы можете решать разнообразные ГИС-задачи.

Приложение ArcCatalog поможет вам структурировать и управлять всеми данными вашей ГИС. Оно предоставляет инструменты для поиска и просмотра географических данных, создания, просмотра и управления метаданными, быстрого просмотра любого набора данных, а также инструменты для структурирования географических данных.

Arc Toolbox - это простое приложение, содержащее множество инструментов обработки геоданных.

Шаг 1. Создание рабочей папки

В этом шаге вы создадите папку, в которой будет храниться ваш проект.

- ☐ Зайдите в папку на рабочем столе *Студент*
- ☐ Щелкните правой кнопкой мыши на пустом месте в этой папке
- ☐ Выберите *Создать>Папку*
- ☐ Переименуйте папку с названием *Новая папка* следующим образом *Номер группы, Фамилия*

Шаг 2. Добавление снимка

Сначала запустите *ArcMap*

- Щелкните на *Пуск (Start) > Программы (Programs) > ArcGIS > ArcMap*
- Подтвердите выбор *Новой пустой карты (A new empty map)*
- Нажмите *ОК*
- На панели инструментов *ArcMap* щелкните на кнопке *Добавить данные (Add Data)* .
- В диалоговом окне *Добавить данные (Add Data)* перейдите к папке *C:\Documents and Settings\onil\Рабочий стол\Студент*.
- Щелкните на изображении *O-36-1.jpg*, чтобы выбрать его
- Нажмите *Добавить (Add)*.

Изображение в формате JPEG добавлено в виде слоя в Таблицу содержания.

Шаг 3. Добавление нового слоя

Не закрывая *ArcMap*, открыть *ArcCatalog*

- Щелкните на *Пуск (Start) > Программы (Programs) > ArcGIS > ArcCatalog*
- В дереве *ArcCatalog* дважды щелкните на названии диска *C*, чтобы развернуть его содержимое.
- В дереве *ArcCatalog*, перейдите к папке *C:\Documents and Settings\onil\Рабочий стол\Студент\Номер группы, Фамилия*
- В главном меню *ArcCatalog* щелкните на *File>New>Shapefile*
- В поле *Name* введите *River*
- В поле *Feature Type* выбрать из списка *Polygon*
- В окне *Create New Shapefile* нажмите *ОК*

Слой *River* появился в дереве *ArcCatalog* в папке *Студент\Номер группы, Фамилия*.

- Разместите окна приложений *ArcMap* и *ArcCatalog* таким образом, чтобы вы могли видеть их на своём экране одновременно.
- Щелкните и перетащите шейп-файл *River* из *ArcCatalog* в *ArcMap*, так чтобы он находился выше изображения O-36-1.jpg.

Шаг 4. Создание объекта

В этом шаге вы создадите полигональный объект - река

Прежде чем вы сможете начать сеанс редактирования, вы должны добавить панель Редактор (Editor) в интерфейс *ArcMap*.

- Чтобы добавить панель *Редактор (Editor)*, нажмите на кнопке *Панель Редактор (Editor Toolbar)*  на *Стандартной* панели инструментов. Разместите панель над областью отображения карты.
- Нажмите *Редактор (Editor)* > *Начать редактирование (Start Editing)*

Для создания новых объектов используйте закладку *Создать новый объект (Create New Feature)*, который работает в сочетании с Целевым слоем (Target)

- На панели *Редактор (Editor)* в качестве Целевого слоя (Target) выберите *River*
- Убедитесь, что опция *Задачи (Task)* определена, как *Создать новый объект (Create New Feature)*



- Щелкните на инструменте *Скетч (Sketch Tool)* 

Лучше на масштабной линейке установить масштаб 1:30000



- Щелкните левой кнопкой мыши в правом берегу реки Невы (смотри

рисунок ниже)



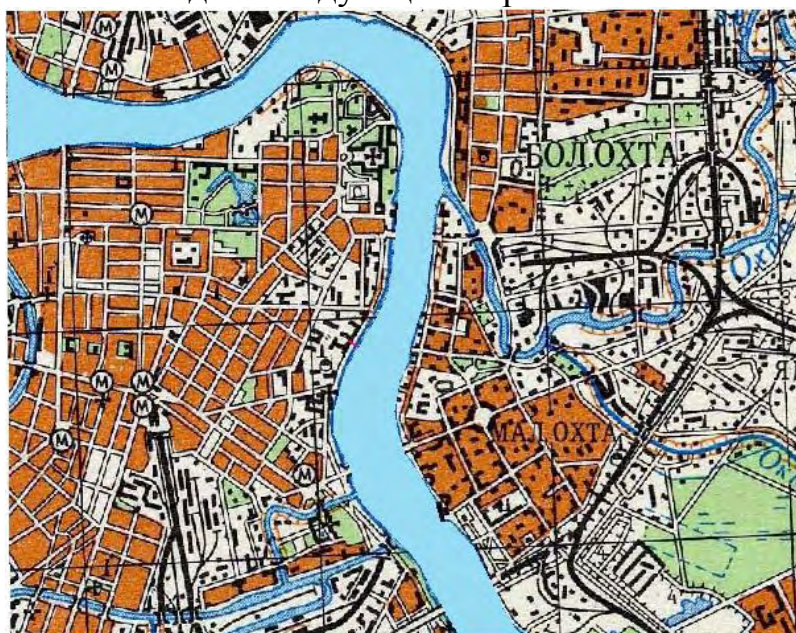
- Далее щелкая левой клавишей мыши очертить сначала правый берег, затем левый берег, чтобы получился замкнутый полигон
- Вернувшись в исходную точку, нажать правую кнопку мыши и выбрать опцию *Finish Sketch*

Перемещаться по карте возможно с использованием клавиш управления курсором

Создание полигона реки завершено.

- Нажмите *Редактор (Editor)* > *Сохранить изменения (Save Edits)*
- Нажмите *Редактор (Editor)* > *Остановить редактирование (Stop Editing)*

В итоге карта должна выглядеть следующим образом:



Шаг 5. Добавление информации о реке и изменение параметров слоя *River*

Сначала вы добавите дополнительную информацию о реке Нева

- ☐ В *Таблице содержания* щелкните правой кнопкой мыши на слое *River* и выберите *Open Attribute Table*
- ☐ В окне атрибутивной таблицы щелкните на кнопке *Options*, далее на *Add Field...*
- ☐ В диалоговом окне в поле *Name* запишите *Name_river*, в поле *Type* выберите *Text*
- ☐ Нажмите *OK*

Также добавить поля, с названиями: *Length*, тип *Double*; *Stream*, тип *Double*; *Width*, тип *Double*; *Area*, тип *Double*.

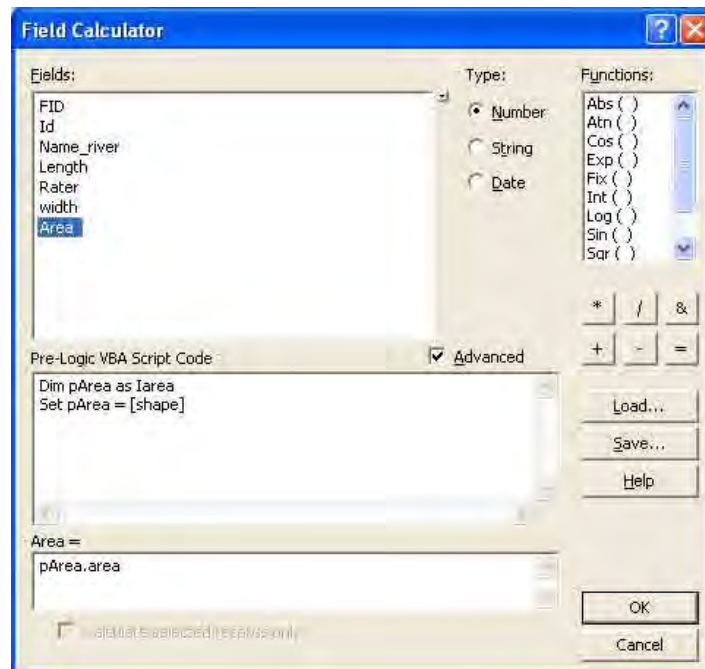
Теперь вы заполните созданные поля в атрибутивной таблице (*Attribute Table*) слоя *River*

- ☐ Нажмите *Редактор (Editor)* > *Начать редактирование (Start Editing)*
- ☐ В первой строке поля *Name_river* наберите название **Нева**, в поле *Length* наберите **74000**, *Width* наберите **400**, *Stream* наберите **2510**

Теперь вы, используя *Field Calculator*, автоматически рассчитаете площадь полигонального объекта.

- ☐ Нажмите правой кнопкой мыши на заголовке поля *Area*
- ☐ Из списка выберите *Field Calculator*

Диалоговое окно *Field Calculator* должно выглядеть так:



- Нажмите *OK*

В поле Area появилось значение площади в кв. м.

- Нажмите *Редактор (Editor) > Сохранить изменения (Save Edits)*
- Нажмите *Редактор (Editor) > Остановить редактирование (Stop Editing)*

Атрибутивная таблица должна выглядеть следующим образом:

Attributes of River							
FID	Shape *	Id	Name_river	Length	Width	Stream	Area
0	Polygon	0	Нева	74000	400	2510	3569396,79618

Record: 1 | Show: All Selected | Records (0 out of 1 Selected) | Options

Теперь вы измените свойства прозрачности слоя *River*

- В *Таблице содержания* щелкните правой кнопкой мыши на слое *River* и выберите опцию *Свойства (Properties)*
- В диалоговом окне *Свойства слоя (Layer Properties)* щелкните на закладке *Отображение (Display)*

- ☐ В окне *Прозрачность (Transparent)* введите значение 50.
- ☐ Нажмите *Применить (Apply)*

Отображение слоя изменится и заливка будет выглядеть, как полупрозрачная тень.

Так же можно изменить цвет объекта.

- ☐ В *Таблице содержания* щелкните правой кнопкой мыши на слое *River* и выберите опцию *Свойства (Properties)*
- ☐ В диалоговом окне *Свойства слоя (Layer Properties)* щелкните на закладке *Символы (Symbology)*
- ☐ В поле *Symbol* щелкните на цветном прямоугольнике и выберите цвет *Blue*.
- ☐ Нажмите *OK*

Шаг 6. Сохранение документа карты

Вы сохраните документ карты в вашей папке

- ☐ В меню *Файл (File)* выберите опцию *Сохранить как (Save As)*
- ☐ В окне *Сохранить в (Save in)* перейдите к папке *C:\Documents and Settings\onil\Рабочий стол\Студент\Номер группы, Фамилия*
- ☐ В качестве *Имени файла* наберите *River_proekt*
- ☐ Для опции *Тип файла* подтвердите *ArcMap Documents (*.mxd)*
- ☐ Нажмите *Сохранить (Save)*

Шаг 7. Добавление объекта с использованием инструмента Скетч

В этом шаге вы добавите новые створы на расстояние 1300 метров от имеющегося створа и 1700 метров от второго.

Сначала нужно добавить слой в *ArcMap*

Не закрывая *ArcMap*, открыть *ArcCatalog*

- Щелкните на *Пуск (Start) > Программы (Programs) > ArcGIS > ArcCatalog*
- В дереве *ArcCatalog* дважды щелкните на названии диска *C*, чтобы развернуть его содержимое.
- В дереве *ArcCatalog* перейдите к папке *C:\Documents and Settings\onil\Рабочий стол\Студент\Номер группы, Фамилия*
- В главном меню *ArcCatalog* щелкните на *File>New>Shapefile*
- В поле *Name* введите *Stvori*
- В поле *Feature Type* выбрать из списка *Polyline*
- В окне *Create New Shapefile* нажмите *OK*

Слой *River* появился в дереве *ArcCatalog* в папке *Студент\Номер группы, Фамилия*.

- Разместите окна приложений *ArcMap* и *ArcCatalog* таким образом, чтобы вы могли видеть их на своём экране одновременно.
- Щелкните и перетащите шейп-файл *Stvori* из *ArcCatalog* в *ArcMap*, так чтобы он находился выше изображения.

Шейп-файл *Stvori* появился в таблице содержания.

Теперь вы измените способ отображения слоя *Stvori*

- В *Таблице содержания* щелкните правой кнопкой мыши на слое *Stvori* и выберите опцию *Свойства (Properties)*
- В диалоговом окне *Свойства слоя (Layer Properties)* щелкните на закладке *Символы (Symbology)*
- Чтобы выбрать условное обозначение (*Символ*), щелкните на кнопке символа заливки. Откроется диалог *Выбор символа (Symbol Selector)*
- В появившемся окне *Symbol Selector* выберите стрелку *Arrow at End*

- В поле *Options* окна *Symbol Selector* выберите любой цвет
- Для определения *Ширины контура (Outline Width)* щелкните на стрелочке вверх до выбора значения 3.
- Нажмите *OK*
- В окне *Layer Properties* нажмите *OK*

Теперь вы начнёте редактирование слоя

- Нажмите *Редактор (Editor)* > *Начать редактирование (Start Editing)*
- На панели *Редактор (Editor)* в качестве Целевого слоя (Target) выберите *Stvori*
- Убедитесь, что опция *Задачи (Task)* определена, как *Создать новый объект (Create New Feature)*
- Щелкните на инструменте *Скетч (Sketch Tool)* 
- Щелкните левой кнопкой мыши на левом берегу, затем на осевой линии (смотри рисунок ниже)

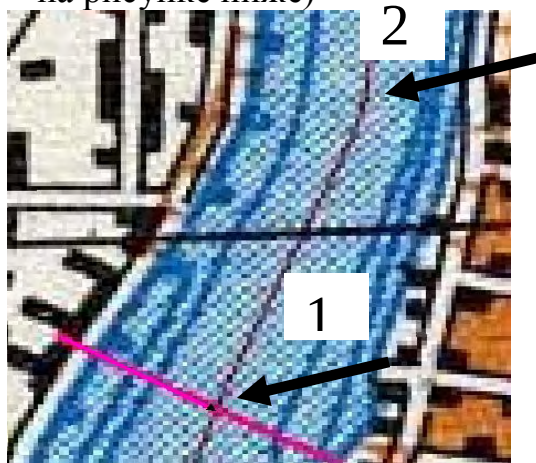


- Щелкните правой кнопкой мыши и выберите опцию *Finish Sketch*

Теперь добавьте второй створ на расстоянии 1300 метров от первого

- Выберите инструмент *Измерить* 
- Поместите плюсики, вид которого примет ваш курсор, на имеющемся створе (стрелка 1 на рисунке ниже)

- Переместите курсор по осевой линии до конца первого сегмента (стрелка 2 на рисунке ниже)



Расстояние будет показано в строке состояния, в нижнем левом углу окна приложения ArcMap, в единицах измерения слоя. Можно измерить линию, состоящую из нескольких отрезков, щелкая в конце каждого отрезка однократно.

- Далее по осевой линии отмерьте расстояние 1300 метров

Запомните расположение этой точки

- Щелкните на инструменте *Скетч (Sketch Tool)* 

- Щелкните левой кнопкой мыши на левом берегу, затем на осевой линии

Створ должен выглядеть примерно так:



- Щелкните правой кнопкой мыши и выберите опцию *Finish Sketch*

Далее по аналогии добавьте третий створ на расстоянии 1700 метров от второго

- После добавления нажмите *Редактор (Editor) > Сохранить изменения (Save Edits)*

- Нажмите *Редактор (Editor)* > *Остановить редактирование (Stop Editing)*

Добавление объектов закончено.

Теперь вы заполните необходимые поля в атрибутивной таблице (*Attribute Table*) слоя *Stvori*

- Нажмите *Редактор (Editor)* > *Начать редактирование (Start Editing)*
- На панели *Редактор (Editor)* в качестве Целевого слоя (Target) выберите *Stvori*
- Убедитесь, что опция *Задачи (Task)* определена, как *Создать новый объект (Create New Feature)*
- В *Таблице содержания* щелкните правой кнопкой мыши на слое *Stvori* и выберите опцию *Open Attribute Table*
- В поле *Id* для первой строки введите 1, для второй 2, для третьей 3.
- После добавления нажмите *Редактор (Editor)* > *Сохранить изменения (Save Edits)*
- Нажмите *Редактор (Editor)* > *Остановить редактирование (Stop Editing)*

Шаг 8. Сохранение изменений в документе карты

- В меню *Файл (File)* выберите опцию *Сохранить (Save)*

Документ будет сохранен в прежнем месте и сохранит прежнее название

- В меню *Файл (File)* выберите опцию *Выход (Exit)*

Шаг 9. Создание базы данных

Базы данных служат для хранения, анализа и представления данных.

В этом шаге вы создадите и заполните базу данных в MS Access, которая будет содержать информацию по сбросам загрязняющих веществ от предприятий.

Откройте MS Access

- Щелкните на *Пуск (Start)* > *Программы (Programs)* > *Microsoft office* > *MS Office Access*

- ☐ Выберите *Создать*
- ☐ Далее *Создание Новой базы данных*
- ☐ В появившемся окне перейдите к вашей папке с проектом *C:\Documents and Settings\onil\Рабочий стол\Студент\Номер группы, Фамилия*
- ☐ В поле *Имя файла* введите **Proekt**
- ☐ Нажмите *Создать*

Шаг 10. Создание и заполнение таблицы

В этом шаге вы создадите таблицу с известными полями.

- ☐ Нажмите *Создание таблицы в режиме конструктора*
- ☐ В появившемся окне *Таблица1: Таблица* в первой строчке в столбце *Имя поля* введите **ID**
- ☐ В столбце *Тип данных* выберите *Счетчик*
- ☐ Щелкните правой кнопкой мыши на сером квадратике первой строки
- ☐ В появившемся списке выберите *Ключевое поле*

Поле ID является уникальным идентифицирующим полем.

- ☐ Во второй строке в первом столбце введите **Nazvanie_predpriati**
- ☐ В столбце *Тип данных* выберите *Текстовый*

Далее по аналогии заполните оставшиеся строки:

Имя поля	Тип поля	Примечание
oID	Числовой	
Data_zamera	Дата/время	
Q_куб.м.	Числовой	В закладке <i>Общие</i> в поле <i>Размер поля</i> выберите <i>Двойное с плавающей точкой</i>
БПК5	Числовой	
NH ₄ ⁺	Числовой	
Fe	Числовой	
Н/п	Числовой	

- После того, как все поля добавлены, нажмите на *Заккрыть* 
- На вопрос *Сохранить изменения макета или структуры объекта*
Таблица1: Таблица? ответить *ДА*
- В окне *Сохранение* в поле *Имя таблицы:* введите **Stvori**
- Нажмите *ОК*

Теперь вы занесете имеющиеся данные в таблицу **Stvori**

- Нажмите два раза на названии таблицы **Stvori**
- Занесите данные из приведенной ниже таблицы

Поле ID является Счетчиком и обеспечивает индивидуальность каждой записи. Это поле трогать не надо, значения будут добавляться сами.

Nazvanie_predpriati	oID	Data_zamera	Q_куб.м.	БПК ₅	NH ₄ ⁺	Fe	Н/п
Ливиз	1	31.01.2008	0,23	17,2	3,8	0,4	0,005
Мебельная фабрика	2	31.01.2008	0,030	5,3	5,8	0,6	0,003
ЛМЗ	3	31.01.2008	0,50	3,8	3,8	27	2,06

- После того, как вся информация добавлена нажмите на *Заккрыть* 

По аналогии создайте таблицу *Вещества*, имеющую следующий набор полей:

Имя поля	Тип поля	Примечание
ID_pokazateli	Счетчик	
Название вещества	Текстовой	
ПДК	Числовой	В закладке <i>Общие</i> в поле <i>Размер поля</i> выберите <i>Двойное с плавающей точкой</i>

Данные, которые содержатся в таблице:

Название вещества	ПДК, мг/л
БПК ₅	2,26
NH ₄ ⁺	0,5
Fe	0,1
Н/п	0,05

- После заполнения второй таблицы нажмите на *Заккрыть*  окна базы данных. На вопрос *Сохранить изменения* нажмите *ДА*

Шаг 11. Создание соединения

Иногда информация об объектах, находящихся на карте, хранится в базе данных. Для объединения информации в базе данных с объектами на карте возможно использовать функцию соединения.

Запустите ArcMap.

- ☐ Щелкните на *Пуск (Start) > Программы (Programs) > ArcGIS > ArcMap*
- ☐ Выберите опцию *С существующей картой (An existing map)*
- ☐ Нажмите *OK*
- ☐ В диалоговом окне *Открыть (Open)* перейдите к папке *C:\Documents and Settings\onil\Рабочий стол\Студент\Номер группы, Фамилия*
- ☐ Откройте карту под названием *River_proekt.mxd*.

Теперь вы добавите данные в ArcMap.

- ☐ Щелкните на кнопке *Добавить* 
- ☐ Перейдите к папке *C:\Documents and Settings\onil\Рабочий стол\Студент\Номер группы, Фамилия*
- ☐ Щелкните на базе геоданных *Proekt.mdb*, чтобы открыть её, и выберите таблицу *Stvori*
- ☐ Щелкните на кнопке *Добавить (Add)*

Теперь создадите соединение

- ☐ Щелкните правой кнопкой мыши на слое *Stvori*
- ☐ Выберите опцию *Joins and relates >Join...*
- ☐ В диалоговом окне *Соединение данных (Join Data)* для элемента 1, выберите *Id* в качестве поля, на котором будет основано соединение.
- ☐ Для элемента 2, выберите *Stvori* в качестве таблицы, с которой будет выполнено соединение, а для пункта 3 выберите *oID* в качестве поля в таблице *Stvori*, на котором будет основано соединение

☐ Нажмите *OK*

☐ Щелкните правой кнопкой мыши на слое *Stvori* и выберите опцию *Open Attribute Table*.

Теперь вы можете видеть характеристику створов в атрибутивной таблице слоя *Stvori*.

☐ Закройте таблицу.

В атрибутивной таблице видны все имеющиеся столбцы, что затрудняет восприятие информации.

Теперь вы скроете ненужные столбцы.

☐ В *Таблице содержания* щелкните правой кнопкой мыши на слое *Stvori* и выберите опцию *Свойства (Properties)*

☐ В диалоговом окне *Свойства слоя (Layer Properties)* щелкните на закладке *Поля (Fields)*

☐ Уберите галочки напротив полей *ID*, *oID*, *Id*

☐ Нажмите *OK*

Если теперь открыть атрибутивную таблицу слоя *Stvori*, эти поля не будут отображаться

Шаг 12. Добавление масштабной линейки

Если предполагаемая цель вашей карты - использование ее для выполнения точных измерений расстояний, важно добавить на карту масштабную линейку.

☐ Нажмите *Вид (View) > Вид компоновка (Layout View)*

☐ Выберите масштаб 80% на панели инструментов *Компоновка (Layout)*.

☐ Выберите последовательно *Вставка (Insert) > Масштабная линейка (Scale Bar)*.

☐ В окне *Выбрать: Scale Bar (Scale Bar Selector)* выберите стиль *Scale Line 1*

- Нажмите *ОК*, чтобы принять значения, заданные по умолчанию, так как вам требуется увидеть изображение масштабной линейки прежде, чем вы решите внести какие-либо изменения в свойства

По умолчанию, масштабная линейка будет отображена в центре страницы компоновки. Вы переместите ее в другое место.

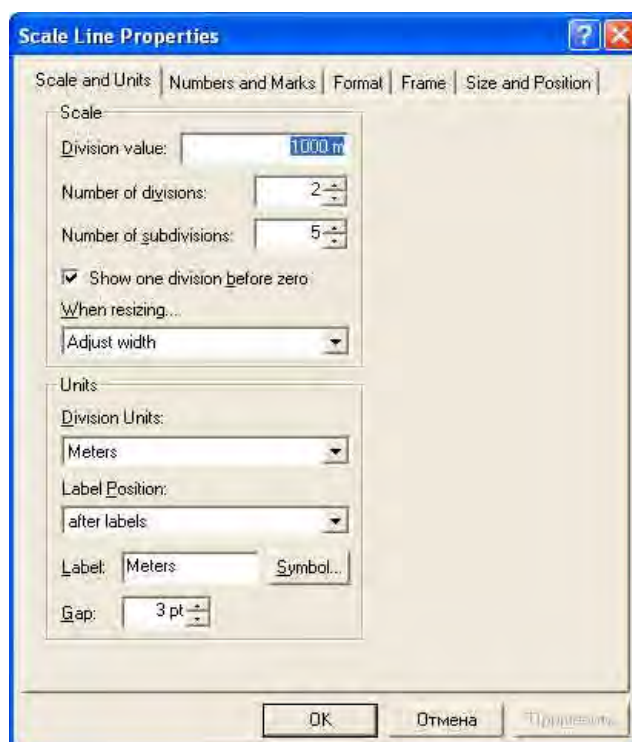
- Щелкните и перетащите рамку в то место, где вы хотите расположить на карте свою масштабную линейку (предпочтительно в нижней части карты).

Масштабная линейка отображается с принятыми по умолчанию свойствами, которые вам нужно будет изменить. Для начала вы измените свойства *Масштаб (Scale)* и *Единицы (Units)*.

- Щелкните правой кнопкой на масштабной линейке и выберите опцию *Свойства (Properties)*.

Примечание № (): Двойной щелчок на масштабной линейке даст тот же самый результат.*

- Убедитесь, что в окне *Свойства Масштабной линейки (Scale Line Properties)* активна закладка *Масштаб и единицы (Scale and Units)*.
- В закладке *Масштаб и единицы (Scale and Units)*, из ниспадающего списка 'При изменении размера' ('When resizing') выберите опцию *Изменить ширину (Adjust width)*.
- Для значения *Цена деления (Division value)* введите 1000.
- Убедитесь, что *Число делений (Number of divisions)* равно 2, или введите его в соответствующее окно.
- Для значения *Число промежуточных делений (Number of subdivisions)* введите 5
- Поставьте отметку в окошке для опции *Показать одно деление до нуля (Show one division before zero)*
- Сохраните предлагаемые по умолчанию значения для остальных свойств



- Нажмите кнопку *Применить (Apply)*, чтобы увидеть, как выглядит масштабная линейка

Далее, вы измените свойство *Метки и Подписи (Numbers and Marks)*

- В диалоговом окне *Свойства Масштабной линейки (Scale Line Properties)* щелкните на закладке *Метки и подписи (Numbers and Marks)*
- В закладке *Метки и подписи (Numbers and Marks)* измените свойства масштабной линейки, чтобы привести их в соответствие рисунку



- ☐ Нажмите на кнопке *Применить (Apply)*, чтобы увидеть, как выглядит масштабная линейка в настоящий момент
- ☐ Нажмите *ОК*, чтобы закрыть диалоговое окно *Свойства масштабной линейки (Scale Line Properties)*

Шаг 13. Добавление стрелки севера

Стрелка севера предоставляет пользователю карты информацию относительно ориентации карты. Стрелки севера не всегда уместны на картах. В действительности, появление на карте стрелки севера может вводить в заблуждение: для всей карты стрелка севера может не указывать надлежащее направление. В зависимости от проекции, стрелки севера могут оставаться корректными только вдоль определенных линий. Задача картографа заключается в том, чтобы ясно дать понять это пользователю карты в форме, соответствующей текстовой информации.

Далее, вы добавите значок стрелки севера на вашу карту.

- ☐ Выберите последовательно *Вставка (Insert) > Стрелка севера (North Arrow)*.
- ☐ Выберите *ESRI North 6*.
- ☐ Нажмите *ОК*.

Стрелка севера появится в центре карты, в положении по умолчанию, которое можно изменить.

- ☐ Щелкните и перетащите рамку со стрелкой севера в то место, где вы хотите видеть ее.

Шаг 14. Добавление заголовка

Заголовок карты указывает пользователям на содержание карты. Далее вы добавите в вашу карту заголовок. Сначала вам предстоит задать характеристики текста.

- ☐ На панели инструментов *Рисование (Draw)*, расположенной в нижней части окна ArcMap, выберите значение 36 в качестве размера шрифта.



- ☐ Нажмите кнопку *B*, чтобы получить полужирный шрифт.

- Щелкните на стрелке рядом с кнопкой *A*, чтобы изменить цвет шрифта на ярко-малиновый

Теперь вы готовы добавить заголовок карты.

- Нажмите кнопку *Новый текст (New Text)*.
- Используйте курсор (который отображается в форме крестика с буквой *A* в нижнем правом углу) и щелкните в какое-либо место на карте. Будет отображена рамка с выделенным словом *Текст (Text)*.
- Замените слово *Текст (Text)*, набрав река Нева и нажмите Enter.

Заголовок будет прорисован малиновым цветом. Возможно, что вы захотите переместить заголовок в более подходящую позицию.

Шаг 15. Добавление легенды

Легенда – это ключ к пониманию вашей карты. В ArcMap можно без труда создать легенду и повысить качество ее визуального представления.

- В Главном меню ArcMap нажмите *Вставка (Insert) > Легенда (Legend)*. Откроется Мастер легенды.
- Принимая все значения по умолчанию, нажимайте кнопку *Далее (Next)* до тех пор, пока вы не достигните конца интерактивного режима мастера
- Нажмите *Готово (Finish)*

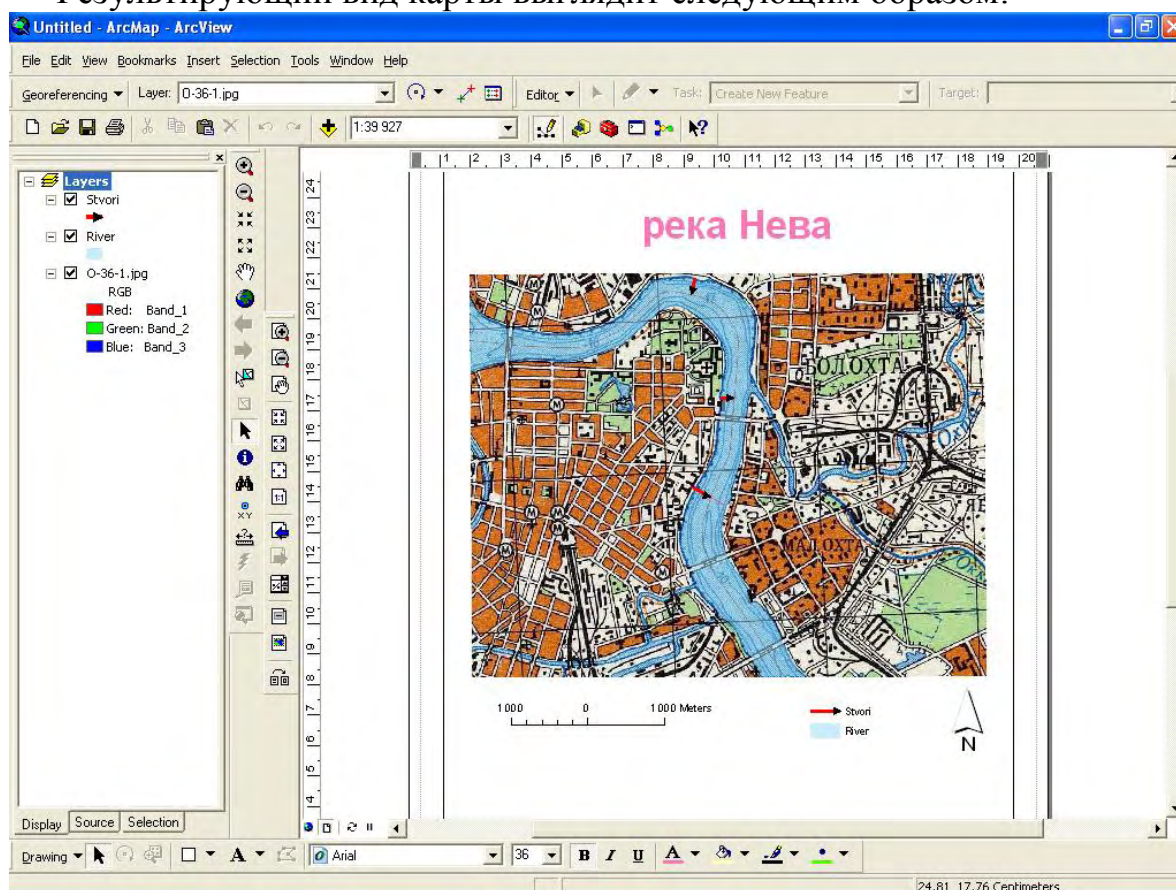
По умолчанию, все новые элементы добавляются примерно в центре карты. Вы переместите легенду в более подходящую позицию.

- Щелкните и перетащите рамку в то место, где вы хотите разместить на карте легенду.
- Убедитесь, что на странице компоновки выбран именно элемент легенды. Он должен быть выделен с использованием голубой линии по периметру и голубых маркеров выборки. Если легенда не выделена, щелкните на ней, чтобы выбрать ее.
- В области отображения компоновки щелкните правой кнопкой мыши на отображаемой легенде и выберите опцию *Свойства (Properties)*
- В окне *Свойства легенды (Legend Properties)* убедитесь, что открыта закладка *Легенда (Legend)*
- Под блоком *Название (Title)* уберите отметку рядом с опцией *Показать (Show)*

Заголовок будет удален из отображаемой легенды после того, как вы нажмете *Применить (Apply)*

- ☐ Щелкните на закладке *Пункты легенды (Items)*
- ☐ В списке *Пункты легенды (Legend Items)* выберите элемент *O-36-1*
- ☐ Нажмите на кнопке со стрелкой влево, чтобы перенести *O-36-1* в список *Слои карты (Map Layers)*. Это приведет к тому, что пункт легенды для фотоснимка будет удален из легенды.
- ☐ Нажмите *Применить (Apply)*
- ☐ Нажмите *ОК* в окне *Свойства легенды (Legend Properties)*

Результирующий вид карты выглядит следующим образом:



Здесь вы составили полноценную карту в ArcMap. Вы научились добавлять на карту текст, стрелку севера, легенду и масштабную линейку.

Конец упражнения

4. Процессы самоочищения в водоемах. Расчет кислородного режима в водотоках с использованием мономолекулярной и бимолекулярной моделей БПК-кислород

4.1. Основные теоретические положения

Самоочищение в водоемах осуществляется под воздействием биологических процессов путем окисления загрязняющих веществ растворенным в воде кислородом. Этот процесс является результатом жизнедеятельности целого комплекса водных организмов. Водная микрофлора очень разнообразна: бактерии, вирусы, бактериофаги, плесени и водоросли. Микроорганизмы играют исключительно важную роль в процессе самоочищения в водоемах. Микробиологические процессы при самоочищении водоемов происходят в результате питания бактерий, дыхания и, наконец, их отмирания.

На начальном этапе начинается процесс окисления поступающих органических веществ, следовательно, изменяется кислородный режим. Процесс окисления органических веществ связан с активным расходом кислорода. До определенного момента времени расход кислорода на окисление превышает количество кислорода, поступающего из атмосферы. Интенсивность поступления кислорода из атмосферы зависит от гидродинамических характеристик водного объекта и определяется величиной коэффициента реаэрации; скорость самого процесса окисления определяется величиной коэффициента биохимического окисления. Иногда его называют коэффициентом минерализации. Наступает момент при окислении органических загрязнений в водном объекте, когда количество кислорода, расходуемого на окисление, компенсируется кислородом, поступающим из атмосферы. Этот момент соответствует минимальному значению концентрации кислорода в водном объекте; на кислородной кривой это точка перегиба.

После этого потребность в количестве растворенного в воде кислорода, расходуемого на процесс окисления, становится меньше, чем его поступает из атмосферного воздуха, и величина растворенного в воде кислорода начинает расти до тех пор, пока не достигнет величины предельного насыщения при данной температуре. В начале процесса происходит увеличение количества бактерий, что способствует активному уменьшению количества органических веществ. Когда пищи становится меньше, то наблюдается гибель бактерий.

Скорость, с которой растворенный кислород потребляется в природной воде или воде, загрязненной стоками, впервые была изучена Фелпсом и Стритером. Было найдено, что биохимическое окисление протекает примерно так же, как мономолекулярная химическая реакция, т.е. скорость приблизительно пропорциональна остающейся концентрации неокисленного органического вещества и является функцией температуры.

Изменение БПК и растворенного в воде кислорода по схеме Филпса-Стритера (мономолекулярная модель) описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dC_{БПК}}{dt} = -k_1 \cdot C_{БПК}, \\ \frac{dC_{O_2}}{dt} = \frac{dC_{БПК}}{dt} + k_2(C_{O_2}^{np} - C_{O_2}), \end{cases} \quad (24)$$

с начальными условиями $t=0$, $C_{БПК} = C_{БПК}^0$, $C_{O_2} = C_{O_2}^0$,

где $C_{БПК}$ – концентрация БПК, мг/л;

C_{O_2} – концентрация растворенного в воде кислорода, мг/л;

$C_{O_2}^{np}$ – предельное содержание растворенного в воде кислорода, мг/л;

k_1 – коэффициент биохимического окисления, 1/сут;

k_2 – коэффициент реаэрации, 1/сут.

Эта система имеет ограниченный диапазон применимости: при больших дефицитах кислорода в условиях анаэробного режима кривая кислородного прогиба, построенная по уравнения Фелпса-Стритера дает количественно неправдоподобную картину – отрицательное значение C_{O_2} .

Мономолекулярная модель имеет аналитическое решение:

$$\begin{cases} C_{БПК} = C_{БПК}^0 \cdot \exp(-k_1 \cdot t), \\ C_{O_2} = C_{O_2}^{np} - k_1 \cdot \frac{C_{БПК}^0}{k_2 - k_1} \cdot [\exp(-k_1 \cdot t) - \exp(-k_2 \cdot t)] + (C_{O_2}^{np} - C_{O_2}^0) \cdot \exp(-k_2 \cdot t), \end{cases} \quad (25)$$

где t – время, сут.

Учитывая, что $C_{O_2, \min} > 0$, имеем область применимости метода Фелпса-Стритера, ограниченную условиями:

$$C_{O_2}^0 < C_{O_2}^{np} \times \eta^{\frac{\eta}{1-\eta}} \left[1 + \chi \left(1 - \eta \right)^{\frac{1}{1-\eta}} \right], \quad (26)$$

где $\eta = k_2 / k_1$

$$\chi = \frac{C_{O_2}^{np} - C_{O_2}^0}{C_{БПК}^0}$$

$C_{БПК}^0$ – концентрация БПК при $t=0$, т.е. в начальный момент времени.

$C_{O_2}^0$ – концентрация растворенного в воде кислорода при $t=0$.

Минимальное количество растворенного в воде кислорода $C_{O_2, \min}$ определяется по выражению

$$C_{O_2, \min} = C_{O_2}^{np} - C_{БПК}^0 \times \eta^{\frac{\eta}{1-\eta}} \left[1 + \chi \left(1 - \eta \right)^{\frac{1}{1-\eta}} \right]. \quad (27)$$

На рис. 10 приведены графики зависимости $(C_{O_2}^{np} - C_{O_2, \min}) / C_{БПК}^0 = F(\eta, \chi)$, определяемые по выражению (27).

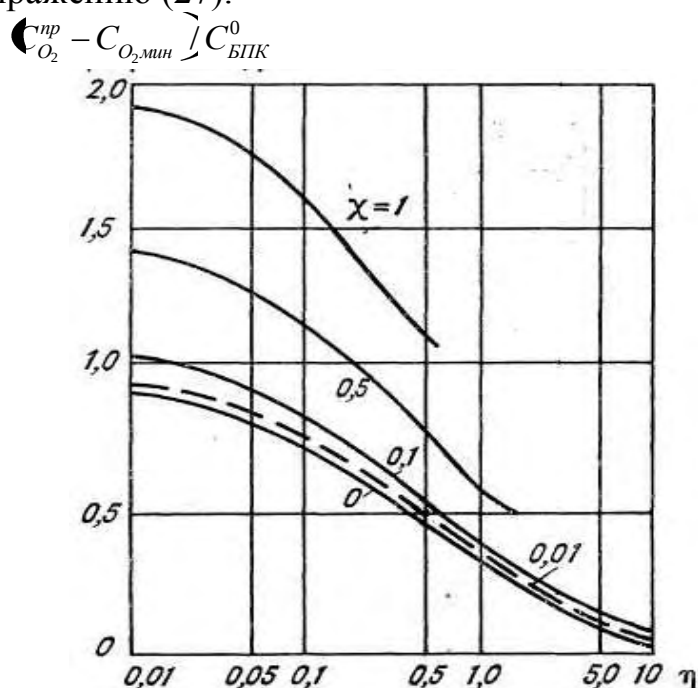


Рис. 10. Зависимость $(C_{O_2}^{np} - C_{O_2, \min}) / C_{БПК}^0 = F(\eta, \chi)$

Например, $C_{БПК}^0 = 15$ мг/л, $C_{O_2}^0 = 12$ мг/л, $C_{O_2}^{np} = 14$ мг/л, $k_1 = 0,15$ 1/сут, $k_2 = 0,05$ 1/сут

Вычисляются значения

$$\chi = \frac{C_{O_2}^{np} - C_{O_2}^0}{C_{БПК}^0} = \frac{14 - 12}{15} = 0,1333$$

$$\eta = k_2 / k_1 = 0,333, \quad \chi < \frac{1}{\eta} = 3.$$

Следовательно, зависимость растворимого в воде кислорода, построенная по схеме Фелпса-Стритера имеет минимум.

Из графиков, приведенных на рис. 10, находим значение $F(\eta, \chi) \approx 0,7$.

Определяем минимальную концентрацию растворенного в воде кислорода:

$$C_{O_2, \min} = C_{O_2}^{np} - C_{БПК}^0 \times F(\eta, \chi). \quad (28)$$

Если окажется, что $C_{O_2, \min} > 0$, то использование выражений (24), (25) возможно, а если получится, что $C_{O_2, \min} < 0$, то, очевидно, изменение значений величин $C_{БПК}$ и C_{O_2} по выражениям (24), (25) не соответствуют их изменению в водотоке.

$$C_{O_2, \min} = 14 - 15 \cdot 0,7 = 3,5 > 0$$

Отсюда следует, что использование мономолекулярной модели возможно.

При других исходных данных, например, при $C_{БПК}^0 = 70 \text{ мг/л}$, $\chi = 0,0286$, тогда $F(\chi) = 0,65$.

$$C_{O_2, \min} = 14 - 70 \cdot 0,65 = -31,5 < 0$$

Отсюда следует, что при такой концентрации БПК применять мономолекулярную модель для прогноза качества воды нельзя.

В случае если мономолекулярная модель не применима, используется бимолекулярная модель, которая имеет следующее математическое описание:

$$\begin{cases} \frac{dC_{БПК}}{dt} = -\alpha \cdot C_{БПК} \cdot C_{O_2} \\ \frac{dC_{O_2}}{dt} = \frac{dC_{БПК}}{dt} + k_2 \cdot (C_{O_2}^{np} - C_{O_2}) \end{cases} \quad (29)$$

с начальными условиями $t=0$, $C_{БПК} = C_{БПК}^0$, $C_{O_2} = C_{O_2}^0$, α – коэффициент биохимического окисления для бимолекулярной модели.

Для определения параметров бимолекулярной модели, в частности, определения коэффициента α можно использовать решение мономолекулярной модели, но с измененными начальными условиями, с учетом ограничений по применению модели Фелпса-Стритера. Следует отметить, что в тех случаях, когда применима модель Фелпса-Стритера, естественно применима и бимолекулярная модель.

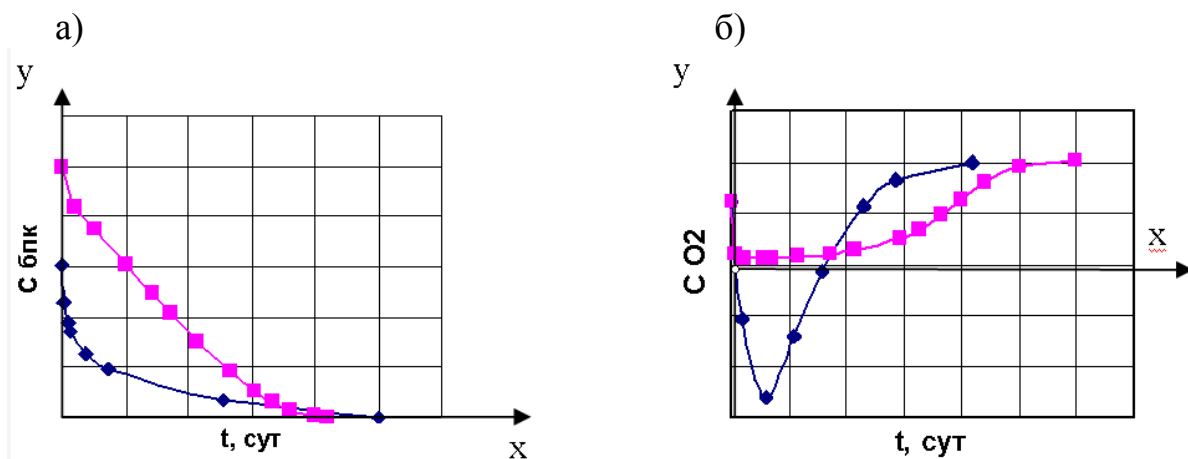
При допустимых значениях концентраций БПК и O_2 и неизменных параметрах модели производится повторный расчет по обеим моделям. Расчет по бимолекулярной модели производится при различных значениях коэффициента α , который принимается последовательно: равным k_1 ; меньше, чем k_1 ; больше, чем k_1 и потом, методом последовательных приближений, находится α , при котором решения по моно- и бимолекулярной моделям максимально совпадают.

Выбрать решение бимолекулярной модели, максимально соответствующее решению, полученному по мономолекулярной модели, можно тремя способами: используя метод наименьших квадратов путем визуального сравнения построенных по результатам решений графиков и комбинированным методом.

Коэффициент α , отвечающий наилучшей сходимости решений, принимается как входной параметр для бимолекулярной модели. Теперь, при найденных параметрах можно проводить моделирование по бимолекулярной

модели для исходных значений начальных концентраций БПК и O_2 . После чего можно, проводя последовательно моделирование, подобрать значения начальных концентраций БПК и O_2 , отвечающие экологическому стандарту.

На рис. 11 представлены кривые изменения БПК и концентрации растворенного в воде кислорода по моно- и бимолекулярной моделям.



черный цвет - по мономолекулярной модели;
серый цвет - по бимолекулярной модели.

Рис. 11. Кривые изменения БПК и растворенного в воде кислорода по моно- и бимолекулярной моделям

4.1.1. Описание пакета прикладных программ DesignLad 8.0

Данный пакет программ предназначен для решения моно- и бимолекулярных моделей. Используется физическая система, которая специально сознательно построена так, что физические процессы, протекающие в ней, описываются теми же математическими выражениями, что и задача, подлежащая решению. Результат задачи получается замером физических величин.

Возможность для построения таких физических решающих устройств определяется сходством, подобием математических описаний процессов, различных по своей физической природе.

Законы имеют одинаковую форму математической записи при различном физическом содержании входящих в них символов. Одинаковые по форме математические выражения получили название «изоморфные». Уравнения, описывающие процессы, идентичны, различен лишь физический смысл входящих в них символов.

Программирование состоит: 1) из анализа исходных формульных зависимостей; 2) из разработки способа соединения операционных блоков

между собой, путём установления связей между ними; 3) из представления исходных математических переменных физическими величинами путём подбора соответствующих масштабов.

Для каждого уравнения решаемой системы, разрешённого относительно производной, посредством решающих блоков составляется схема, входными напряжениями которой служат предположительно известные искомые переменные задачи. Искомые переменные получаются путём интегрирования правых частей уравнений.

Пакет *Design Lab* представляет собой комбинацию аналогового и цифрового методов решения.

Из состава пакета *Design Lab 8.0* для решения моно- и бимолекулярной моделей использованы:

1) *Schematics* - графический редактор принципиальных схем, который одновременно является управляющей оболочкой для запуска основных модулей системы на всех стадиях работы с проектом.

2) *Pspice A/D* — моделирование смешанных аналого-цифровых устройств.

3) *Probe* - графическое отображение, обработка и документирование результатов моделирования.

С помощью библиотек стандартных символов компонентов составляется электрическая схема, отвечающая исследуемым уравнениям.

4.1.2. Краткое описание работы с программой

В редакторе *Schematics* по команде *Draw/Get/New Part* наносим символы компонентов на схему, последовательно выбирая нужные нам символы. Проводники наносятся на схему по команде *Draw/Wire*.

Когда схема нарисована (см. рис. 12) - устанавливаем значения констант и входных постоянных интеграторов, как значения напряжений с помощью команды *Edit/Attributes* (или после двойного щелчка мышью на выбранном объекте).

Далее, по команде *Markers/Mark Voltage/Level* устанавливаем на схемы в нужных местах маркеры построения графиков изменения напряжений, присваивая каждому маркеру свой цвет (при построении графиков цвет маркера будет соответствовать цвету кривой).

Можно вместо (или вместе) маркеров установить символ *VPRINT* из библиотеки стандартных символов-компонентов. С его помощью можно получить значения потенциала в виде таблицы, которую можно просмотреть в файле *.out* (в меню *Analysis/Examine Output*). В таблице значения потенциала будут даны с шагом, заданным в меню *Analysis/Setup/Transient* в графе *Print Step*, например: 20s или 10 ns (10 наносекунд).

В этом же меню, в графе *Final Time* задается конечное время моделирования, в графе *No-Print Delay* - начальный момент вывода данных, а в

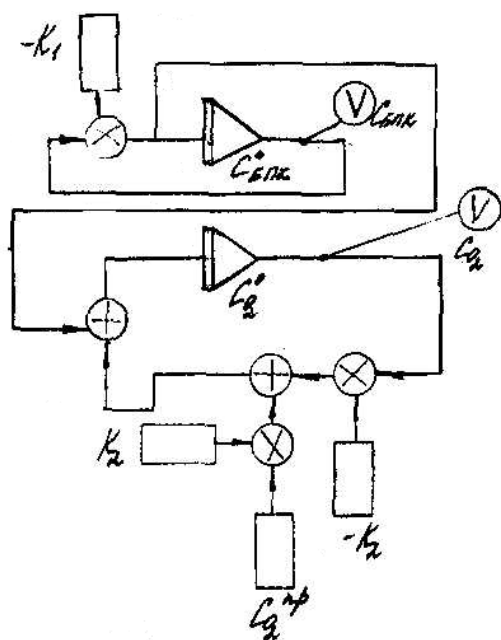
графе *Step Ceiling* - максимальный шаг (последние два задавать не обязательно). В меню *Analysis/Setup* помечается также команда *bias Point Detail*.

После этого можно запускать программу:

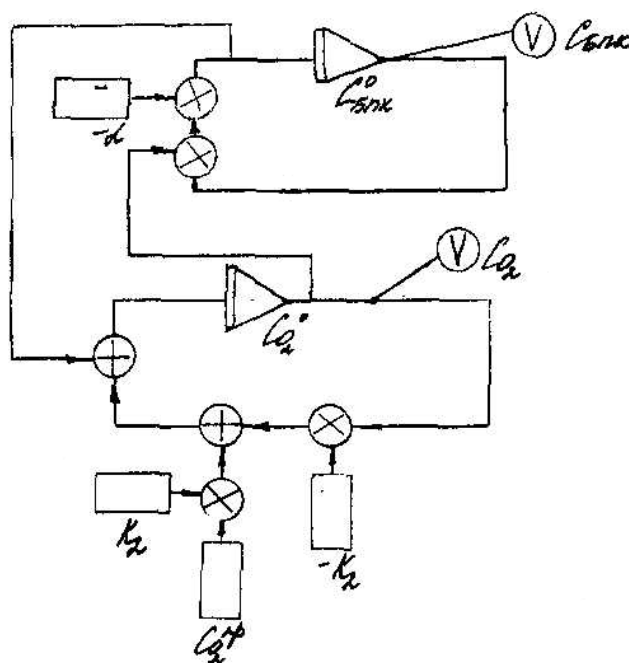
1) По команде *Analysis/Electrical/Rule Check* проверяется наличие в схеме не подсоединенных выводов компонентов, совпадающих позиционных обозначений и других ошибок.

2) Программа моделирования *Pspice* запускается по команде *Analysis/Simulation*.

3) Программа *Probe* (построение графиков по результатам моделирования) вызывается автономно, под управлением *Schematics* или по команде *Analysis/Probe*.



для мономолекулярной модели



для бимолекулярной модели

Рис. 12. Схема для решения моно- и бимолекулярной моделей

В программе *Probe* дисплей переключается в режим считывания координат по команде *Tools/Cursor/Display*.

В нижнем правом углу дисплея показываются координаты точки на графике, в которой находится курсор. По команде *Tools/Label/Mark* на экран выводятся координаты последней точки, помеченной курсором. Это очень важное достоинство программы, так как далеко не все, даже самые новые и известные математические пакеты предусматривают эту функцию. Здесь это возможно, благодаря поставляемому в составе пакета математическому процессору (это - программа) фирмы AMD.

Программа позволяет составить схемы моно- и бимолекулярной модели на одном листе (в одном файле) и проводить моделирование и построение

графиков для обеих моделей одновременно. Это делает очень удобной, наглядной и быстрой процедуру визуального сравнения графиков для выбора наиболее подходящего α .

4.2. Практическая работа

Цель работы:

1. Изучить процессы биохимического распада загрязняющих веществ.
2. Научиться пользоваться пакетом “Design.Lab”.
3. Провести моделирование по мономолекулярной и бимолекулярной моделям, определив зависимость концентрации БПК и кислорода от времени.
4. Определить значения концентраций БПК и кислорода в заданном контрольно створе.

Исходные данные для расчета:

Исходные данные, необходимые для расчета кислородного режима, сведены в табл. 8:

Таблица 8

Исходные данные						
$C_{БПК}^0$	$C_{O_2}^0$	t^0	K_1	K_2	L	v
мг/л	мг/л	°С	1/сут	1/сут	км	м/с
50	6	14	0,2	0,15	40	0,2

По таблице из *Приложения 8* подбираем значение $C_{O_2}^{np} = 10,37$ мг/л при заданной температуре воды.

Ход работы:

1. Проверяем применимость мономолекулярной модели при начальных значениях БПК:

$$\chi = \frac{C_{O_2}^{np} - C_{O_2}^0}{C_{БПК}^0} = \frac{10,37 - 6}{50} = 0,0874.$$

$$\eta = k_2 / k_1 = 0,75$$

Из графика на рис. 10 находим $F \approx 0,42$,

$$C_{O_2, \min} = 10,37 - 50 * 0,42 = -10,63 < 0.$$

Отсюда следует, что мономолекулярная модель не применима. Для того, чтобы можно было применить бимолекулярную модель, необходимо найти коэффициент α , который неизвестен.

2. Производим моделирование по мономолекулярной модели. Т.к. график $C_{O_2}(t)$ уходит в отрицательную область, то по мономолекулярной модели подбираем такие значения $C_{БПК}^0$ и $C_{O_2}^0$, чтобы график не уходил в отрицательную область.
3. Переходим к бимолекулярной модели. Задаем значение $C_{БПК}^0$ и $C_{O_2}^0$ такие, как подобрали для мономолекулярной модели.
4. Подбираем коэффициент α таким образом, чтобы графики, полученные по мономолекулярной и бимолекулярной моделям, были максимально схожими (принимая $\alpha = K_1$, $\alpha < K_1$ и $\alpha > K_1$).
5. По бимолекулярной модели при подобранном значении α и начальных значениях $C_{O_2}^0$ и $C_{БПК}^0$ производим моделирование.
6. По полученным в результате расчетов графикам определяем концентрации кислорода и БПК на некотором расстоянии L от источника загрязнения при заданной скорости течения реки v .

Для определения концентрации кислорода и БПК в заданном створе рассчитывается время пробега при заданной скорости:

$$T = L / v = 40000 / 0,2 = 200000 \text{ с} = 2,3 \text{ сут.}$$

В этот период времени концентрация БПК примерно равна 43 мг/л, концентрация кислорода – 0,54 мг/л (см. рис. 18 в *Приложении 9*).

Результаты работы приведены в *Приложении 9*.

Выводы

Из проведенной работы видно, что при заданных концентрациях при использовании мономолекулярной модели график изменения концентрации кислорода во времени уходит в отрицательную область, чего физически быть не может, т.е. мономолекулярная модель в данном случае не применима. Так как коэффициенты бимолекулярной модели неизвестны, смоделировать процесс с помощью этой модели невозможно, но, используя обе модели и мономолекулярную и бимолекулярную вместе, можно решить поставленную задачу, найдя неизвестные параметры бимолекулярной модели с помощью мономолекулярной (модели Фелпса-Стритера), что и было сделано с помощью пакета Design.Lab 8.0. Все это позволило определить значения концентрации БПК и растворенного в воде кислорода в заданном контрольном створе.

Библиографический список

Водный кодекс Российской Федерации от 12.04.2006.

Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Принят Государственной думой 20 декабря 2001 г.

Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты// Государственный комитет РФ по охране окружающей среды 3 сентября 2007 г.

Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утверждена приказом МПР России от 17.12.2007 №333.

СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.

РД 52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков/ Гидрохимический институт (ГХИ), СПб, 2001. - 62 с.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» (утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 27 апреля 2003 г.).

Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение / ВНИРО., М., 1999.

Дружинин Н. И., Шишкин А. И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. - Л.: Гидрометеиздат, 1989.- 329 с.

Шишкин А. И. Основы математического моделирования конвективно-диффузионного переноса примеси / ЛТИ ЦБП., Л., 1976.- 243 с.

Шишкин А. И. Математическое моделирование переноса примесей и прогнозирование состава окружающей среды / ЛТА., Л., 1981.- 232 с.

Шишкин А.И. Применение вычислительных средств при нормировании ПДС стоков целлюлозно-бумажных предприятий / Шишкин А.И., Саяпин К.Я. и др. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 44 с.

Шишкин А. И., Замораева В. С, Горбунов Н. Е. Теоретические основы защиты окружающей среды. Процессы окисления органических веществ в водоемах: методические указания / СПбГПУ, СПб, 2006.- 24 с.

Шаренков Д.В., Шишкин А.И., Применение концепции «наилучших существующих технологий» (НСТ) в рамках эколого-технологического нормирования: материалы XVI межотраслевой международной конференции / СПбГТУРП. - СПб., 2008, - 63-65 с.

Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. А.В. Караушева. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 175 с.

Приложения

Приложение 1. Расчет фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков

Таблица 9

Результаты наблюдений за содержанием хлоридов в контрольном створе водотока

Дата	Расход воды в реке, м³/с	Содержание хлоридов, мг/дм³	Дата	Расход воды в реке, м³/с	Содержание хлоридов, мг/дм³	Дата	Расход воды в реке, м³/с	Содержание хлоридов, мг/дм³
2007 г.			2008 г.			2009 г.		
13.01	3,99	11,9	29.01	5,66	12,4	27.01	5,05	10,8
12.02	7,34	8,2	26.02	44,5	8,3	22.02	12,4	9,8
09.03	18,8	10,9	26.03	60,6	6	30.03	51	9,9
09.04	10,4	4,6	24.04	65,5	8,3	14.04	14	22
15.05	14	6	22.05	50,2	10,2	16.05	10,4	8,2
13.06	7,74	11,9	24.06	7,12	11,3	12.06	4	4,68
15.07	6,01	10,8	28.07	2,92	11,7	15.07	3,89	11
19.08	4,9	15,8	20.08	4,9	12,5	16.08	2,53	12
03.09	3,89	11,9	21.09.	4,76	12,1	09.09	4,49	11,8
25.10	3,6	16,3	28.10	6,56	12	08.10	11,8	11,9
22.11	2,77	18	27.11	28,3	11,1	19.11	12	11,1
28.12	18	12	25.12	7,3	11	24.12	18,8	10,9

Таблица 10

Результаты совместного ранжирования данных за 2008 и 2009 гг.

Содержание хлоридов, мг/дм³	Ранг	Содержание хлоридов, мг/дм³	Ранг
2008 г.		2009 г.	
6	2	10,8	1
8,3	4,5	9,8	3
8,3	4,5	9,9	6
10,2	8,5	22	7
11	12,5	8,2	8,5
11,1	14,5	4,68	10
11,3	16	11	11
11,7	17	12	12,5
12	20,5	11,8	14,5
12,1	22	11,9	18
12,4	23	11,1	18
12,5	24	10,9	20,5
n=12	Σ=160,5	n=12	Σ=139,5

Из таблицы следует: $T_1 = 139,5$; $n_1 = n = 12$; $T_2 = 160,5$; $n_2 = m = 12$.

Определяем значение критерия u^*

$$u^* = 130 - \frac{12(12+1)}{2} = 61,5.$$

Так как число данных в большей выборке более восьми ($m^* > 8$), то оценку отличия сравниваемых выборок концентраций проводим по критерию z , который представляет собой приближенно нормированную величину, распределенную по нормальному закону:

$$z = \frac{52 - 0,5(12 \cdot 12 + 1)}{0,289\sqrt{12 \cdot 12(12 + 12 + 1)}} = -0,63.$$

Рассчитанное значение z попадает в интервал $-1,28 < z < 1,28$, поэтому отличие результатов наблюдений за 2009 и 2008 гг. принимаем незначимым.

Аналогичным способом проверим значимость отличия данных в 2007 г. Результаты этого анализа: $T_1 = 142$; $n_1 = n = 12$; $T_2 = 158$; $n_2 = m = 12$, $u^* = 64$, $z = -0,49$.

Полученное значение z попадает в интервал $-1,28 < z < 1,28$, поэтому принимаем, что отличие результатов наблюдений за 2009 и 2007 гг. незначимо.

Так как данные за 2007-2009 гг. отличаются несущественно, в дальнейшем статистическом анализе все данные будем рассматривать совместно. Результаты группируем помесечно и для каждой выделенной градации определяем среднюю концентрацию хлоридов (табл. 11). В августе среднее содержание хлоридов было наибольшим, поэтому этот месяц относим к основной (опорной) градации. Используя критерий u^* , определим значимость отличия основной градации от остальных. От основной градации незначимо отличаются данные за октябрь и ноябрь (значение параметра u^* больше значений параметра $u_T = 2,1$). Данные за три месяца объединяем в один массив (тогда $n = 9$), получаем:

$$C_{cp} = \frac{120,7}{9} = 13,4$$

Таблица 11

Определение концентраций хлоридов по выделенным градациям, мг/дм³

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1969	11,9	8,2	10,9	4,6	6	11,9	10,8	15,8	11,9	16,3	18	12
1970	12,4	8,3	6	8,3	10,2	11,3	11,7	12,5	12,1	12	11,1	11
1971	10,8	9,8	9,9	22	8,2	4,68	11	12	11,8	11,9	11,1	10,9
Σ	35,1	26,3	26,8	34,9	24,4	27,88	33,5	40,3	35,8	40,2	40,2	33,9
n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Сф(ср)	11,7	8,77	8,93	11,63	8,13	9,29	11,17	13,43	11,93	13,4	13,4	11,3

Таблица 12

Значение коэффициента Стьюдента t_{St} при односторонней доверительной вероятности $P=0,95$

n-1	t_{St}	n-1	t_{St}	n-1	t_{St}
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		
Примечания – При $n < 5$ принимается, что $t_{St}=1$					

$$\sigma = 12,8.$$

где C_{ϕ}^* - значение фоновой концентрации вещества.

$$C_{\phi}^* = 13,4 + \frac{12,8 \cdot 1,86}{\sqrt{9}} = 21,3 \text{ мг/дм}^3.$$

Приложение 2. Перечень ПДК основных загрязняющих веществ

Наименование вещества	ПДК _{рыбохоз.} (пресные водоёмы), мг/дм ³	Группа ЛПВ класс опасности	ПДК _{хоз.пит.} ^{**} мг/дм ³	Группа ЛПВ ^{**} , класс опасности	Примечание
Взвешенный в-ва	+0,25 к фону выш. и 1 кат. +0,75 к фону 2-ая кат.	общесан.	+0,25 к фону	общесан.	
Сухой остаток	не норм.	общесан.	1000	общесан.	
БПК _{полное}	3	общесан.	3,0	общесан.	1,33 БПК ₅
ХПК	не норм.	общесан.	30	общесан.	
Азот аммонийный	0,4/0,5	токс., 4	1,5	орг., 4	0,778 (NH ₄)
Азот нитратный	9,1/40,0	сан.-токс., 4э	10,2/45,0	сан.-токс., 3	0,226 (NO ₃)
Азот нитритный	0,02/0,08	токс., 4э	1,0/3,3	сан.-токс., 2	0,304 (NO ₂)
Азот общий	-	(общесан.)?	-	-	
Фосфор фосфатов	0,2 эвтроф.	санит., 4э	1,14/3,5	орг., 3	PO ₄ ⁻³ /P ₂ O ₆
фосфор общий	-	(общесан.)?	-	-	0,326/0,436
Нефтепродукты	0,05	рыбохоз., 3	0,3	орг., 4	(раств.)
ПАВ (АПАВ)	0,1	сан.-токс., 4	0,5	орг., 4	(Сульфирол-8)
Сульфаты	100	сан.-токс.	500	орг., 4	
Хлориды	300	сан.-токс., 4э	350	орг., 4	
Фенолы	0,001	рыбохоз., 3	0,001 (0,1)	орг., 4	
Формальдегид	0,1	токс., 4	0,05	сан.-токс., 2	
Фторид	+0,05 к фону, но <0,75	токс., 3	1,5 (F)	сан.-токс., 2	
Алюминий	0,04	токс., 4	0,2 (0,5)	орг., 3	
Железо общее по Fe	0,1	токс., 4	0,3 (1,0)	орг., 3	
Кадмий	0,005	токс., 2	0,001	сан.-токс., 2	
Калий	50,0(10,0)	сан.-токс., 4э	-	-	
Кальций	180,0	сан.-токс., 4э	-	-	
Кобальт	0,01	токс., 3	0,1	сан.-токс., 2	
Магний	40,0	сан.-токс., 4	50,0	орг., 3	
Марганец	0,01	токс., 4	0,1	орг., 3	
Медь	0,001	токс., 3	1,0	орг., 3	
Молибден	0,001	токс., 2	0,25	сан.-токс., 2	
Натрий	120,0	сан.-токс., 4э	200,0	сан.-токс., 2	
Никель	0,01	токс., 3	0,02	сан.-токс., 2	
Ртуть	0,00001	токс., 1	0,0005	сан.-токс., 1	
Свинец	0,006	токс., 2	0,01	сан.-токс., 2	
Хром(+3)	0,07	токс., 3	0,5	сан.-токс., 3	
Хром(+6)	0,02	токс., 3	0,05	сан.-токс., 3	
Цинк	0,01	токс., 3	1,0	общесан., 3	
Сульфиды	0,01	токс., 3	0,003 (H ₂ S)	орг., 4	
Хлор	отс. 0,00001	токс., 1	отсутствие	общесан., 3	
pH	6,5-8,5	общесан.	6,5-8,5	общесан.*	
Растворенный O ₂	зим. ≥6,0/≥4,0	общесан.	≥4,0	общесан.*	

Приложение 3. Отчет по задаче с изменением конструкции точечного водовыпуска на рассеивающий

Сосредоточенный водовыпуск

Параметры участка реки

Река

L	B	H	Vx	Q	Mx	Ny	Dy	M
510	100	2	0,5	100	250	100	0,005	П

Конфигурации источников

N	Название	X	Y	W	Wl	b	q
1	источник	10	0	1	0	0,9	0,9

Параметры показателей загрязнения

Название	Группа	F	ПДК	Cф	Cmax	Ccp	P	F*
метанол	с. - т.	100	0,1	0,05	0,231965	0,0573142	24,7081	2,31965

$$-F_{c-т} = 2,31965$$

Параметры сбросов

N	Cст	Ccp*	Cн.р.	Cmax*	n	P*	q * Cст
1	0,87	0,0573142	0,781417	0,231965	4,50636	24,7081	0,783

метанол



Рассеивающий водовыпуск

Параметры участка реки

Река

L	B	H	Vx	Q	Mx	Ny	Dy	M
510	100	2	0,5	100	250	100	0,005	П

Конфигурации источников

N	Название	X	Y	W	Wl	b	q
1	источник	10	5	3	2	0,3	0,9

Параметры показателей загрязнения

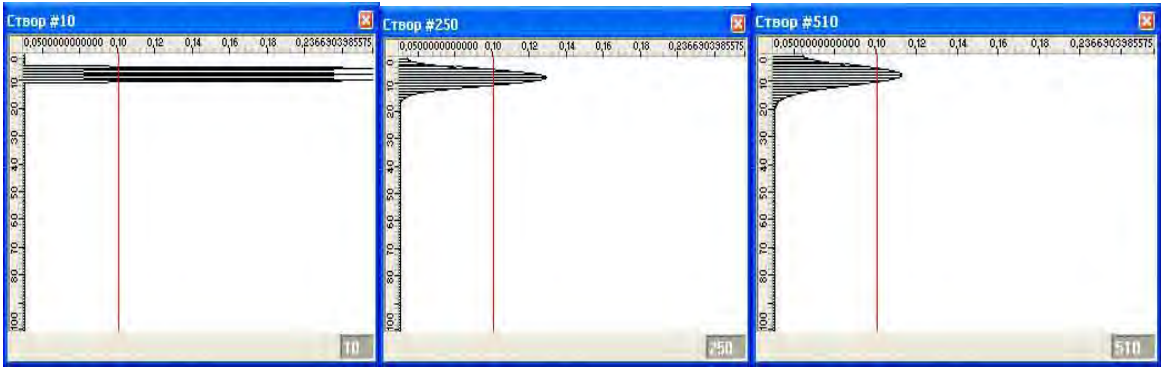
Название	Группа	F	ПДК	Сф	Сmax	Сср	P	F*
метанол	с. - т.	100	0,1	0,05	0,112508	0,0556007	49,4192	1,12508

$-F_{с-т} = 1,12508$

Параметры сбросов

метанол

N	Сст	Сср*	Сн.р.	Сmax*	n	P*	q * Сст
1	0,677902	0,0556007	0,23669	0,112508	10,0451	49,4192	0,610112



Приложение 4. Методика определения долей ЛПВ при решении обратной задачи

В соответствии с методикой расчёта нормативов допустимого сброса для веществ, относящихся к первому и второму классам опасности, необходимо учитывать эффект суммации по группам лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), для веществ третьего и четвертого классов опасности эффект суммации не учитывается. Вещества первого и второго классов опасности должны быть разбиты по соответствующим группам лимитирующего показателя вредности (ЛПВ):

- 1) санитарно-токсикологический;
- 2) токсикологический;
- 3) рыбохозяйственный;
- 4) органолептический.

При этом в контрольном створе для обеспечения экологических нормативов должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{\max}^{KC}}{ПДК_i} \leq 1. \quad (33)$$

Из уравнения очевидно, что расчет НДС для предприятий возможен только при соблюдении следующего условия:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{\phi_i}}{ПДК_i} \leq 1 \quad (34)$$

Если это условие не выполняется, то необходимо установить расчетные значения фоновых концентраций, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{\phi_i}}{ПДК_i} \leq 0.95 \div 0.98 \quad (35)$$

Анализируя уравнение (35) очевидно, что для отдельного вещества экологический норматив в контрольном створе будет рассчитываться по уравнению:

$$C_{\max_i}^{KC} \leq ПДК_i \cdot F_i \quad (36)$$

$$\sum_{i=1}^n F_i = 1, \quad (37)$$

где: F_i - доля ЛПВ i -го вещества.

Из уравнения (37) понятно, что чем больше доля ЛПВ, тем больше будет допустимая максимальная концентрация загрязняющего вещества в контрольном створе и тем больше допустимый сброс этого вещества. При этом долю ЛПВ нельзя бесконечно увеличивать, внутри каждой группы суммации

для веществ первого и второго классов опасности сумма долей ЛПВ должна быть равна единице.

Здесь возникает проблема, какую же F (долю ЛПВ) выбрать для каждого конкретного вещества. Во-первых, доля ЛПВ не может быть меньше минимального допустимой доли ЛПВ- $F_{\min}$.

$$F_{\min_i} = \frac{C_{\phi_i}}{ПДК_i} \cdot \quad (38)$$

Минимальная доля ЛПВ должна быть рассчитана для каждого из веществ в группе суммации.

После того как мы узнали минимальное значение доли ЛПВ для каждого вещества, встает вопрос на сколько же ее мы можем увеличить для конкретного вещества.

Из уравнений (36) и (38) очевидно, что максимальное увеличение доли ЛПВ для каждого вещества (назовем его дельта) составляет:

$$\Delta = 1 - \sum_{i=1}^n F_{\min_i} \quad (39)$$

После того как мы определили дельту (Δ) встает вопрос, как ее распределить между всеми веществами в группе суммации. Здесь существует несколько подходов:

1. Распределить равномерно между всеми веществами.
2. Распределить долю ЛПВ с учетом эколого-экономических факторов.

1. Равномерное распределение между всеми веществами это самый простой вариант. Доля ЛПВ для каждого вещества рассчитывается по формуле:

$$F_i = F_{\min_i} + \frac{1 - \sum_{i=1}^n F_{\min_i}}{n} \quad (40)$$

На следующем этапе сравниваем рассчитанные доли ЛПВ (F_i) с фактически требуемой долей ЛПВ ($\frac{C_{\max_i}^{KC}}{ПДК_i}$).

1. Если для всех веществ в группе суммации выполняется неравенство:

$$F_i \leq \frac{C_{\max_i}^{KC}}{ПДК_i}, \quad (41)$$

то расчет долей ЛПВ заканчиваем.

2. Если хотя бы для одного вещества в группе суммации не выполняется неравенство $F_i \leq \frac{C_{max_i}^{KC}}{ПДК_i}$, то для веществ, неудовлетворяющих неравенству, принимаем:

$$F'_i = \frac{C_{max_i}^{KC}}{ПДК_i}.$$

При этом у нас образуется неизрасходованный запас доли ЛПВ назовем его ΔF

$$\Delta F = \sum_{i=1}^k F_i - F'_i.$$

Где k -количество веществ для которых не выполняется условие (41)

На следующем этапе мы распределяем запас долей ЛПВ между остальными веществами в группе суммации

$$F''_i = F_i + \Delta F / (n - k)$$

где: n - количество веществ в группе суммации;

k - количество веществ для которых не выполняется условие (41).

2. Распределение доли ЛПВ с учетом эколого-экономических параметров.

При этом варианте расчёта в соответствии с формулой (33) существующий запас доли ЛПВ распределяется между веществами не равномерно, а с учетом стоимости мероприятий связанных с очисткой сточных вод по каждому загрязняющему веществу или группам веществ. Может получиться так, что весь запас доли ЛПВ придется отдать одному веществу, так как его очистка чрезвычайно дорога, а для остальных веществ обеспечивать на сбросе фоновые значения.

Пример расчёта

Предположим по результатам решения прямой задачи нами были получены следующие результаты представленные в табл. 13

Тогда получим:

$$F_{\min}(\text{ртуть}) = 0,0002 / 0,0005 = 0,4$$

$$F_{\min}(\text{кадмий}) = 0,0002 / 0,001 = 0,2$$

$$F_{\min}(\text{свинец}) = 0,001 / 0,01 = 0,1$$

$$\sum_{i=1}^3 F_{\min_i} = 0,4 + 0,2 + 0,1 = 0,7$$

Таблица 13

Результаты решения прямой задачи

Вещество	Группа ЛПВ	Класс опасности	ПДК (хозяйственно-питьевая категория водопользования)	Сф	$C_{\max}^{KC}$	$\frac{C_{\max_i}^{KC}}{ПДК_i}$
Ртуть	с.т.	1	0,0005	0,0002	0,001	2
Кадмий	с.т.	2	0,001	0,0002	0,003	3
Свинец	с.т.	2	0,01	0,001	0,0012	0,12

Тогда по формуле (34)

$$F_{(\text{ртуть})} = 0,4 + (1 - 0,7)/3 = 0,5$$

$$F_{(\text{кадмий})} = 0,2 + (1 - 0,7)/3 = 0,3$$

$$F_{(\text{свинец})} = 0,1 + (1 - 0,7)/3 = 0,2$$

Результаты расчётов сводятся в табл. 14.

Таблица 14

Расчет долей ЛПВ – 1-й этап

Вещество	Группа ЛПВ	ПДК	Сф	$C_{\max}^{KC}$	$\frac{C_{\max_i}^{KC}}{ПДК_i}$	$F_{\min}$	F
Ртуть	с.т.	0,0005	0,0002	0,001	2	0,4	0,5
Кадмий	с.т.	0,001	0,0002	0,003	3	0,2	0,3
Свинец	с.т.	0,01	0,001	0,0012	0,12	0,1	0,2

На следующем этапе сравниваем рассчитанные доли ЛПВ с соотношением $\frac{C_{\max_i}^{KC}}{ПДК_i}$ по результатам прямой задачи. Только для свинца доля

ЛПВ=0,2 превышает $\frac{C_{\max_i}^{KC}}{ПДК_i} = 0,12$,

Поэтому выбор доли ЛПВ равной 0,2 на практике приведет к излишне жестким требованиям по сбросу для ртути и кадмия.

Поэтому для свинца принимаем долю ЛПВ, равную:

$$F'_{(\text{свинца})} = \frac{C_{\max_i}^{KC}}{ПДК_i} = 0,12.$$

Запас доли ЛПВ составит $\Delta F = \sum_{i=1}^k F_i - F'_i = 0,2 - 0,12 = 0,8$ равномерно распределяем между оставшимися двумя веществами в группе, получаем следующие доли ЛПВ

$$F''_{(\text{ртуть})} = F_{(\text{ртуть})} + \Delta F / (n - k) = 0,5 + 0,8 / (3 - 1) = 0,54,$$

$$F''_{(\text{кадмий})} = F_{(\text{кадмий})} + \Delta F / (n - k) = 0,3 + 0,8 / (3 - 1) = 0,34.$$

Результаты расчёта приводим в табл. 15.

Таблица 15

Расчет долей ЛПВ – 2-й этап

Вещество	Группа ЛПВ	ПДК	Сф	$C_{\max}^{KC}$	$\frac{C_{\max_i}^{KC}}{ПДК_i}$	$F_{\min}$	F
Ртуть	с.т.	0,0005	0,0002	0,001	2	0,4	0,54
Кадмий	с.т.	0,001	0,0002	0,003	3	0,2	0,34
Свинец	с.т.	0,01	0,001	0,0012	0,12	0,1	0,12

Приложение 5. Отчет по программе «Экопрогноз»

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ ПО ДВУМЕРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ КОНВЕКТИВНО-ДИФфуЗИОННОЙ МОДЕЛИ (прямая задача)

ПАРАМЕТРЫ: LB-СРЕДНЯЯ ШИРИНА РЕКИ, LH-СРЕДНЯЯ ГЛУБИНА
РЕКИ, VS-СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ, DY-КОЭФ. ПОПЕРЕЧНОЙ
ДИФфуЗИИ, K1-КОЭФ. НЕКОНСЕРВАТИВНОСТИ

LB(M)= 200.0 VS(M/C)= 0.70 DY(M²/C)= 0.20

LH(M)= 2.5 K1(1/C)= 0.0000000

НАИМЕНОВАНИЕ ВЕЩЕСТВА : >БПК₂₀

ДОЛЯ В ЛПВ : 1.00

ЗНАЧЕНИЕ CPDK : 3.00

ФОНОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ В ТОЧКАХ ВЫПУСКА : > 2.25

КОЛИЧЕСТВО ЦИФР ПЕРЕД .(>=0,<4) : >1

КОЛИЧЕСТВО СТОРОВ ВЫПУСКА : >3

СТВОРЫ ПЕРЕЧИСЛЯЮТСЯ НАЧИНАЯ С САМОГО ДАЛЬНЕГО
В ПОРЯДКЕ УБЫВАНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО УСТЬЯ

ПАРАМЕТРЫ ВЫПУСКА 1

ТИП ВЫПУСКА : БЕРЕГОВОЙ, СОСРЕДОТОЧЕННЫЙ
БЕРЕГ, С КОТОРОГО ПРОИЗВОДИТСЯ ВЫПУСК: ЛЕВЫЙ

X-КООРДИНАТА ТОЧКИ ВЫПУСКА(КМ) : 4.50

РЕЖИМ РАБОТЫ ВЫПУСКА : СТАЦИОНАРНЫЙ

НАЧАЛО ОТСЧЕТА ВРЕМЕНИ ВЫБИРАЕТСЯ ПРОИЗВОЛЬНО

КОНЦЕНТРАЦИЯ ПРИМЕСИ В СТОКАХ(МГ/Л) : 5.02

РАСХОД СТОЧНЫХ ВОД (М³/СЕК) : 1.05

ПАРАМЕТРЫ ВЫПУСКА 2

ТИП ВЫПУСКА : БЕРЕГОВОЙ, СОСРЕДОТОЧЕННЫЙ
БЕРЕГ, С КОТОРОГО ПРОИЗВОДИТСЯ ВЫПУСК: ЛЕВЫЙ

X-КООРДИНАТА ТОЧКИ ВЫПУСКА(КМ) : 2.50

РЕЖИМ РАБОТЫ ВЫПУСКА : СТАЦИОНАРНЫЙ

НАЧАЛО ОТСЧЕТА ВРЕМЕНИ ВЫБИРАЕТСЯ ПРОИЗВОЛЬНО

КОНЦЕНТРАЦИЯ ПРИМЕСИ В СТОКАХ(МГ/Л) : 32.60

РАСХОД СТОЧНЫХ ВОД (М³/СЕК) : 1.23

ПАРАМЕТРЫ ВЫПУСКА 3

ТИП ВЫПУСКА : РУСЛОВОЙ, РАССЕЙВАЮЩИЙ С ДВУМЯ ВЕТКАМИ
БЕРЕГ, С КОТОРОГО ПРОИЗВОДИТСЯ ВЫПУСК: ЛЕВЫЙ

X-КООРДИНАТА 1-ОЙ ВЕТКИ ВЫПУСКА(КМ) : 0.50

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ВЕТКАМИ(М) : 3.00

ДЛЯ ВЕТКИ 1

РАССТОЯНИЕ ОТ БЕРЕГА 1-ГО ПАТРУБКА(М) : 17.50

ДЛИНА РАССЕЙВАЮЩЕЙ ЧАСТИ(М) : 50.00

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПАТРУБКАМИ(М) : 2.50

ДЛЯ ВЕТКИ 2

РАССТОЯНИЕ ОТ БЕРЕГА 1-ГО ПАТРУБКА(М) : 70.00

ДЛИНА РАССЕЙВАЮЩЕЙ ЧАСТИ(М) : 50.00

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПАТРУБКАМИ(М) : 2.50

РЕЖИМ РАБОТЫ ВЫПУСКА : СТАЦИОНАРНЫЙ
 НАЧАЛО ОТСЧЕТА ВРЕМЕНИ ВЫБИРАЕТСЯ ПРОИЗВОЛЬНО
 КОНЦЕНТРАЦИЯ ПРИМЕСИ В СТОКАХ(МГ/Л) : 74.90
 РАСХОД СТОЧНЫХ ВОД (М**3/СЕК) : 7.00
 КОЛИЧЕСТВО КОНТРОЛЬНЫХ СТОРОВ : >1

КООРДИНАТА КОНТРОЛЬНОГО СТОРА(КМ) 1 : 0.00
 ФОНОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ В КОНТР. СТОРЕ(МГ/Л) 1: 2.25
 КОЛИЧЕСТВО СТОРОВ ВЫПУСКА ВЫШЕ КОНТР.СТОРА : 3
 КОЛИЧЕСТВО МОМЕНТОВ КОНТРОЛЯ : 18
 МОМЕНТЫ КОНТРОЛЯ(МИН):
 8 13 18 23 28 33 38 69 88 117 137 153 158 166 210 247 276 299

ПАРАМЕТРЫ СХЕМЫ: DT(C)= 36 ;DX(M)= 100.0; DY(M)=20.00

Таблица 16

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
 КОНТРОЛЬНОМ СТОРЕ ВО ВРЕМЕНИ (ДО УСТАНОВЛЕНИЯ)
 ПРИ РАБОТЕ ТОЛЬКО ВЫПУСКА 3

НОМЕРА ТОЧЕК В СЕЧЕНИИ КОНТРОЛЬНОГО СТОРА										
T(МИН)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.0	2.250	2.250	2.251	2.284	2.465	2.539	2.472	2.445	2.252	2.250
13.0	2.250	2.250	2.254	2.353	2.895	3.116	2.928	3.044	2.765	2.288
18.0	2.250	2.250	2.257	2.422	3.326	3.693	3.383	3.644	3.349	2.408
23.0	2.250	2.250	2.260	2.491	3.756	4.270	3.838	4.245	3.946	2.708
28.0	2.250	2.250	2.264	2.559	4.186	4.847	4.294	4.846	4.545	3.160
33.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
38.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
69.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
88.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
117.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
137.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
153.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
158.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
166.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
210.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
247.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
276.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
299.0	2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392

СМАХ= 5.147 P= 71.5 N= 25.08 СМАХ/СРДК= 1.7156
 ССТД= 21.060 PDS= 147.419
 ПАРАМЕТРЫ СХЕМЫ: DT(C)= 120 ;DX(M)= 310.0; DY(M)=20.00

Таблица 17

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
КОНТРОЛЬНОМ СТВОРЕ ВО ВРЕМЕНИ (ДО УСТАНОВЛЕНИЯ)
ПРИ РАБОТЕ ТОЛЬКО ВЫПУСКА 2

Т(МИН)	НОМЕРА ТОЧЕК В СЕЧЕНИИ КОНТРОЛЬНОГО СТВОРА									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
13.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
18.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
23.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
28.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
33.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
38.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
69.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.262	2.271	2.254
88.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.256	2.283	2.315	2.274
117.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.265	2.343	2.476	2.402
137.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.272	2.391	2.628	2.615
153.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.274	2.407	2.678	2.689
158.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.274	2.407	2.678	2.689
166.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.274	2.407	2.678	2.689
210.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.274	2.407	2.678	2.689
247.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.274	2.407	2.678	2.689
276.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.274	2.407	2.678	2.689
299.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.274	2.407	2.678	2.689

CMAХ= 2.689 P= 87.6 N= 69.16 CMAХ/CPDK= 0.8963

CCTD= 54.120 PDS= 66.568

ПАРАМЕТРЫ СХЕМЫ: DT(C)= 240 ;DX(M)= 410.0; DY(M)=20.00

Таблица 18

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
КОНТРОЛЬНОМ СТВОРЕ ВО ВРЕМЕНИ (ДО УСТАНОВЛЕНИЯ)
ПРИ РАБОТЕ ТОЛЬКО ВЫПУСКА 1

Т(МИН)	НОМЕРА ТОЧЕК В СЕЧЕНИИ КОНТРОЛЬНОГО СТВОРА									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
13.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
18.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
23.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
28.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
33.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
38.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250

69.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
88.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
117.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.251	2.251	2.250
137.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.252	2.253	2.251
153.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.254	2.255	2.252
158.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.254	2.255	2.252
166.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.253	2.255	2.257	2.253
210.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.256	2.261	2.268	2.262
247.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.257	2.265	2.276	2.270
276.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.258	2.267	2.280	2.274
299.0		2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.258	2.267	2.280	2.274

CMAX= 2.280 P= 99.1 N= 93.73 CMAX/CPDK= 0.7599

CCTD= 72.547 PDS= 76.175

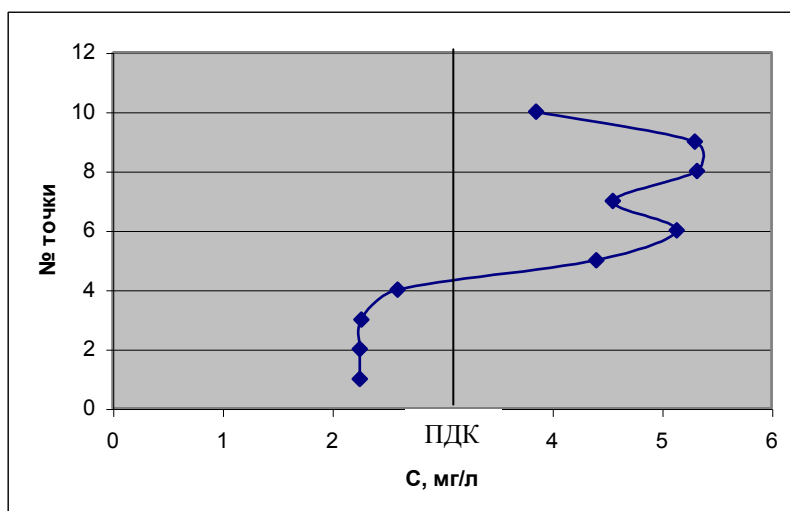
Таблица 19

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
КОНТРОЛЬНОМ СТВОРЕ ВО ВРЕМЕНИ (ДО УСТАНОВЛЕНИЯ)
ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ВКЛЮЧЕНИИ ВСЕХ ВОДОВЫПУСКОВ

НОМЕРА ТОЧЕК В СЕЧЕНИИ КОНТРОЛЬНОГО СТВОРА											
T(МИН)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
8.0		2.250	2.250	2.251	2.284	2.465	2.539	2.472	2.445	2.252	2.250
13.0		2.250	2.250	2.254	2.353	2.895	3.116	2.928	3.044	2.765	2.288
18.0		2.250	2.250	2.257	2.422	3.326	3.693	3.383	3.644	3.349	2.408
23.0		2.250	2.250	2.260	2.491	3.756	4.270	3.838	4.245	3.946	2.708
28.0		2.250	2.250	2.264	2.559	4.186	4.847	4.294	4.846	4.545	3.160
33.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
38.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.521	5.147	4.845	3.392
69.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.524	5.159	4.866	3.396
88.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.136	4.527	5.180	4.910	3.416
117.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.401	5.137	4.537	5.241	5.072	3.545
137.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.402	5.138	4.545	5.290	5.225	3.758
153.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.402	5.138	4.548	5.307	5.278	3.833
158.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.402	5.138	4.548	5.307	5.278	3.833
166.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.402	5.138	4.549	5.309	5.281	3.834
210.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.402	5.139	4.551	5.314	5.291	3.843
247.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.402	5.139	4.553	5.318	5.299	3.851
276.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.402	5.139	4.554	5.320	5.303	3.855
299.0		2.250	2.250	2.265	2.594	4.402	5.139	4.554	5.320	5.303	3.855

CMAX= 5.320 P= 71.3 N= 0.90 CMAX/CPDK= 1.77

Распределение концентраций в контрольном створе.
БПК₂₀



РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ
ПО ДВУМЕРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ КОНВЕКТИВНО-ДИФфуЗИОННОЙ МОДЕЛИ.
(обратная задача)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ
ПО ДВУМЕРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ КОНВЕКТИВНО-ДИФфуЗИОННОЙ МОДЕЛИ

ПАРАМЕТРЫ: LB-СРЕДНЯЯ ШИРИНА РЕКИ, LH-СРЕДНЯЯ ГЛУБИНА
РЕКИ, VS-СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ, DY-КОЭФ. ПОПЕРЕЧНОЙ
ДИФфуЗИИ, K1-КОЭФ. НЕКОНСЕРВАТИВНОСТИ

LB(M)= 200.0 VS(M/C)= 0.70 DY(M²/C)= 0.20

LH(M)= 2.5 K1(1/C)= 0.0000000

НАИМЕНОВАНИЕ ВЕЩЕСТВА : >БПК

ДОЛЯ В ЛПВ : 1.00

ЗНАЧЕНИЕ СРДК : 3.00

ФОНОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ В ТОЧКАХ ВЫПУСКА : > 2.25

КОЛИЧЕСТВО ЦИФР ПЕРЕД .(>=0,<4) : >1

КОЛИЧЕСТВО СТВОРОВ ВЫПУСКА : >3

СТВОРЫ ПЕРЕЧИСЛЯЮТСЯ НАЧИНАЯ С САМОГО ДАЛЬНЕГО
В ПОРЯДКЕ УБЫВАНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО УСТЬЯ

ПАРАМЕТРЫ ВЫПУСКА 1

ТИП ВЫПУСКА : БЕРЕГОВОЙ, СОСРЕДОТОЧЕННЫЙ

БЕРЕГ, С КОТОРОГО ПРОИЗВОДИТСЯ ВЫПУСК: ЛЕВЫЙ

X-КООРДИНАТА ТОЧКИ ВЫПУСКА(КМ) : 4.50

РЕЖИМ РАБОТЫ ВЫПУСКА : СТАЦИОНАРНЫЙ

НАЧАЛО ОТСЧЕТА ВРЕМЕНИ ВЫБИРАЕТСЯ ПРОИЗВОЛЬНО

КОНЦЕНТРАЦИЯ ПРИМЕСИ В СТОКАХ(МГ/Л) : 5.02

РАСХОД СТОЧНЫХ ВОД (М³/СЕК) : 1.05

ПАРАМЕТРЫ ВЫПУСКА 2

ТИП ВЫПУСКА : БЕРЕГОВОЙ, СОСРЕДОТОЧЕННЫЙ

БЕРЕГ, С КОТОРОГО ПРОИЗВОДИТСЯ ВЫПУСК: ЛЕВЫЙ

X-КООРДИНАТА ТОЧКИ ВЫПУСКА(КМ) : 2.50

РЕЖИМ РАБОТЫ ВЫПУСКА : СТАЦИОНАРНЫЙ
 НАЧАЛО ОТСЧЕТА ВРЕМЕНИ ВЫБИРАЕТСЯ ПРОИЗВОЛЬНО
КОНЦЕНТРАЦИЯ ПРИМЕСИ В СТОКАХ(МГ/Л) : 10.50
 РАСХОД СТОЧНЫХ ВОД (М**3/СЕК) : 1.23
 ПАРАМЕТРЫ ВЫПУСКА 3
 ТИП ВЫПУСКА : РУСЛОВОЙ,РАССЕИВАЮЩИЙ С ДВУМЯ ВЕТКАМИ
 БЕРЕГ,С КОТОРОГО ПРОИЗВОДИТСЯ ВЫПУСК: ЛЕВЫЙ
 Х-КООРДИНАТА 1-ОЙ ВЕТКИ ВЫПУСКА(КМ) : 0.50
 РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ВЕТКАМИ(М) : 3.00
 ДЛЯ ВЕТКИ 1
 РАССТОЯНИЕ ОТ БЕРЕГА 1-ГО ПАТРУБКА(М) : 17.50
 ДЛИНА РАССЕИВАЮЩЕЙ ЧАСТИ(М) : 50.00
 РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПАТРУБКАМИ(М) : 2.50
 ДЛЯ ВЕТКИ 2
 РАССТОЯНИЕ ОТ БЕРЕГА 1-ГО ПАТРУБКА(М) : 70.00
 ДЛИНА РАССЕИВАЮЩЕЙ ЧАСТИ(М) : 50.00
 РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПАТРУБКАМИ(М) : 2.50
 НАЧАЛО ОТСЧЕТА ВРЕМЕНИ ВЫБИРАЕТСЯ ПРОИЗВОЛЬНО
КОНЦЕНТРАЦИЯ ПРИМЕСИ В СТОКАХ(МГ/Л) : 18.20
 РАСХОД СТОЧНЫХ ВОД (М**3/СЕК) : 7.00
 КОЛИЧЕСТВО КОНТРОЛЬНЫХ СТВОРОВ : >1
 ФОНОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ В КОНТР. СТВОРЕ(МГ/Л) 1: 2.25
 КОЛИЧЕСТВО СТВОРОВ ВЫПУСКА ВЫШЕ КОНТР.СТВОРА : 3
 КОЛИЧЕСТВО МОМЕНТОВ КОНТРОЛЯ : 18
 МОМЕНТЫ КОНТРОЛЯ(МИН):
 8 13 18 23 28 33 38 69 88 117 137 153 158 166 210 247 276 299
 ПАРАМЕТРЫ СХЕМЫ: DT(C)= 36 ;DX(M)= 100.0; DY(M)=20.00

Таблица 20

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
 КОНТРОЛЬНОМ СТВОРЕ ВО ВРЕМЕНИ (ДО УСТАНОВЛЕНИЯ)
 ПРИ РАБОТЕ ТОЛЬКО ВЫПУСКА 3

Т(МИН)	НОМЕРА ТОЧЕК В СЕЧЕНИИ КОНТРОЛЬНОГО СТВОРА									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.0	2.250	2.250	2.250	2.258	2.297	2.313	2.299	2.293	2.251	2.250
13.0	2.250	2.250	2.251	2.273	2.392	2.440	2.399	2.424	2.363	2.258
18.0	2.250	2.250	2.252	2.288	2.486	2.567	2.499	2.556	2.491	2.285
23.0	2.250	2.250	2.252	2.303	2.581	2.693	2.599	2.688	2.622	2.351
28.0	2.250	2.250	2.253	2.318	2.675	2.820	2.699	2.820	2.754	2.450
33.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501
88.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501
38.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501
69.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501
117.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501
137.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501

153.0		2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501	
158.0		2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501	
166.0		2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501	
210.0		2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501	
247.0		2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501	
276.0		2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501	
299.0		2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501	

CMAX= 2.886 P= 88.8 N= 25.08 CMAX/CPDK= 0.9620

CCTD= 21.060 PDS= 147.419

ПАРАМЕТРЫ СХЕМЫ: DT(C)= 120 ;DX(M)= 310.0; DY(M)=20.00

Таблица 21

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
КОНТРОЛЬНОМ СТВОРЕ ВО ВРЕМЕНИ (ДО УСТАНОВЛЕНИЯ)
ПРИ РАБОТЕ ТОЛЬКО ВЫПУСКА 2

НОМЕРА ТОЧЕК В СЕЧЕНИИ КОНТРОЛЬНОГО СТВОРА										
T(МИН)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
13.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
18.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
23.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
28.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
33.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
38.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
69.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.253	2.256	2.251
88.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.259	2.268	2.257
117.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.254	2.275	2.311	2.291
137.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.256	2.288	2.353	2.349
153.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.257	2.293	2.366	2.369
158.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.257	2.293	2.366	2.369
166.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.257	2.293	2.366	2.369
210.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.257	2.293	2.366	2.369
247.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.257	2.293	2.366	2.369
276.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.257	2.293	2.366	2.369
299.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.257	2.293	2.366	2.369

CMAX= 2.369 P= 96.2 N= 69.16 CMAX/CPDK= 0.7898

CCTD= 54.120 PDS= 66.568

ПАРАМЕТРЫ СХЕМЫ: DT(C)= 240 ;DX(M)= 410.0; DY(M)=20.00

Таблица 22

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
КОНТРОЛЬНОМ СТВОРЕ ВО ВРЕМЕНИ (ДО УСТАНОВЛЕНИЯ)
ПРИ РАБОТЕ ТОЛЬКО ВЫПУСКА 1

Т(МИН)	НОМЕРА ТОЧЕК В СЕЧЕНИИ КОНТРОЛЬНОГО СТВОРА									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
13.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
18.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
23.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
28.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
33.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
38.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
69.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
88.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250
117.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.251	2.251	2.250
137.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.252	2.252	2.253	2.251
153.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.254	2.255	2.252
158.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.254	2.255	2.252
166.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.253	2.255	2.257	2.253
210.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.256	2.261	2.268	2.262
247.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.257	2.265	2.276	2.270
276.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.258	2.267	2.280	2.274
299.0	2.250	2.250	2.250	2.250	2.251	2.252	2.258	2.267	2.280	2.274

CMAH= 2.280 P= 99.1 N= 93.73 CMAH/CPDK= 0.7599

CCTD= 72.547 PDS= 76.175

Таблица 23

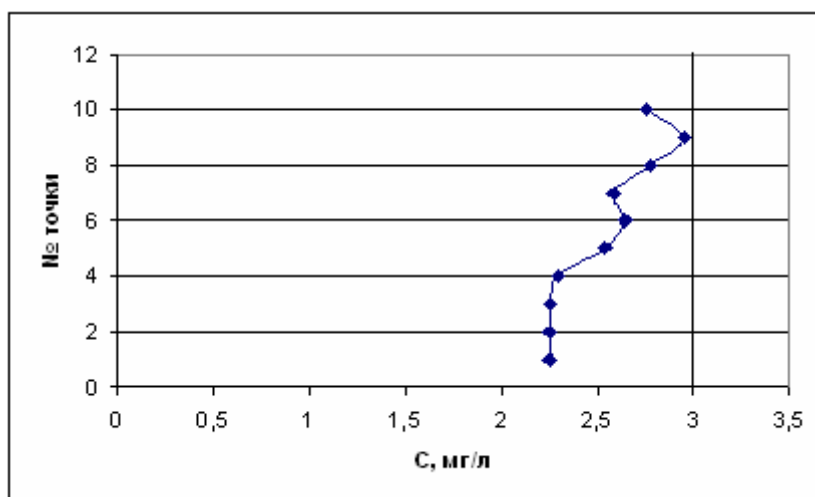
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
КОНТРОЛЬНОМ СТВОРЕ ВО ВРЕМЕНИ (ДО УСТАНОВЛЕНИЯ)
ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ВКЛЮЧЕНИИ ВСЕХ ВОДОВЫПУСКОВ

Т(МИН)	НОМЕРА ТОЧЕК В СЕЧЕНИИ КОНТРОЛЬНОГО СТВОРА									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.0	2.250	2.250	2.250	2.258	2.297	2.313	2.299	2.293	2.251	2.250
13.0	2.250	2.250	2.251	2.273	2.392	2.440	2.399	2.424	2.363	2.258
18.0	2.250	2.250	2.252	2.288	2.486	2.567	2.499	2.556	2.491	2.285
23.0	2.250	2.250	2.252	2.303	2.581	2.693	2.599	2.688	2.622	2.351
28.0	2.250	2.250	2.253	2.318	2.675	2.820	2.699	2.820	2.754	2.450
33.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501
38.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.886	2.820	2.501

69.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.749	2.889	2.825	2.502
88.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.750	2.895	2.837	2.507
117.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.754	2.912	2.882	2.542
137.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.722	2.884	2.756	2.927	2.925	2.601
153.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.723	2.885	2.758	2.932	2.941	2.622
158.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.723	2.885	2.758	2.932	2.941	2.622
166.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.723	2.885	2.758	2.934	2.944	2.623
210.0	2.250	2.250	2.253	2.325	2.723	2.885	2.761	2.940	2.954	2.632
247.0	2.250	2.250	2.253	2.326	2.723	2.886	2.763	2.943	2.962	2.640
276.0	2.250	2.250	2.253	2.326	2.723	2.886	2.764	2.945	2.966	2.644
299.0	2.250	2.250	2.253	2.326	2.723	2.886	2.764	2.945	2.966	2.644

C_{MAX}= 2.966 P= 87.7 N= 3.87 C_{MAX}/CPDK= 0.99

Распределение концентраций в контрольном створе.
БПК₂₀



Приложение 6. Отчет по программе «Waste».

Прямая задача

WASTE 4.5

- Copyright 1998,2000 Relonar Insubordinated, Lex O. Croochik

Параметры участка реки

река Вычегда

L	B	H	V _x	Q	M _x	N _y	D _y	M
4500	200	2,54	0,7	355,6	54	20	0,206962	Б

Конфигурации источников

N	Название	X	Y	W	Wl	b	q
1	источник1	0	0	1	0	0,591	1,05
2	источник2	2000	0	1	0	0,691789	1,23
3	источник3	4000	17,5	42	2,5	0,0937383	7

Параметры показателей загрязнения

Название	Группа	F	ПДК	Сф	С _{max}	С _{ср}	P	F*
БПК	общ.	100	3	2,25	4,80005	3,76528	78,4426	1,60002
Взвешенные вещества	общ.	100	27,85	27,6	31,5903	29,9684	94,8657	1,1343
Метанол	с. - т.	100	0,1	0,003	0,281948	0,170762	60,5653	2,81948
Кадмий	с. - т.	100	0,001	0,0002	0,00300906	0,00182029	60,4936	3,00906
Свинец	с. - т.	100	0,01	0,001	0,00120193	0,00106463	88,577	0,120193
Ртуть	с. - т.	100	0,0005	0,0002	0,00100765	0,00068097	67,5803	2,0153
Фенол	рыб.	100	0,001	0,0002	0,00070779	0,0004986	70,4444	0,707786

$$-F_{c-t} = 7,96403 \quad -F_{рыб} = 0,707786$$

Параметры сбросов

БПК

N	Сст	Сср*	Сн.р.	С _{max} *	n	P*	q * Сст
1	5,02	2,25816	2,4131	2,27517	110,061	99,2522	5,271
2	32,6	2,35462	4,34234	2,68234	70,199	87,7821	40,098
3	74,9	3,65251	4,58752	4,58752	31,08	79,6185	524,3

взвешенные вещества

N	Сст	Сср*	Сн.р.	С _{max} *	n	P*	q * Сст
1	81,2	27,7578	30,756	28,087	110,061	98,8279	85,26
2	33,8	27,6214	28,0274	27,6883	70,199	99,7582	41,574
3	141	29,7892	31,2486	31,2486	31,08	95,3295	987

метанол

N	Сст	Сср*	Сн.р.	С _{max} *	n	P*	q * Сст
1	0,24	0,00369774	0,0169549	0,00515334	110,061	71,7543	0,252
2	0,77	0,00564386	0,0558773	0,0139261	70,199	40,5273	0,9471
3	8,52	0,167421	0,277035	0,277035	31,08	60,4332	59,64

кадмий

N	Сст	Сср*	Сн.р.	С _{max} *	n	P*	q * Сст
1	0,005	0,000214132	0,00048263	0,000243612	110,061	87,8986	0,00525
2	0,059	0,000402685	0,0042537	0,00103762	70,199	38,8085	0,07257
3	0,0729	0,00160347	0,00253912	0,00253912	31,08	63,1507	0,5103

свинец

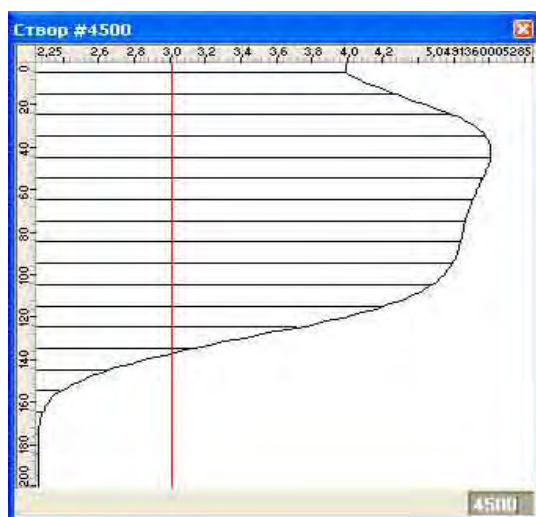
N	Сст	Сср*	Сн.р.	Смах*	n	P*	q * Сст
1	0,006	0,00101472	0,00129441	0,00104543	110,061	97,0626	0,0063
2	0,011	0,00103447	0,0016894	0,00114245	70,199	90,5482	0,01353
3	0,0018	0,00101544	0,00102574	0,00102574	31,08	98,9962	0,0126

ртуть

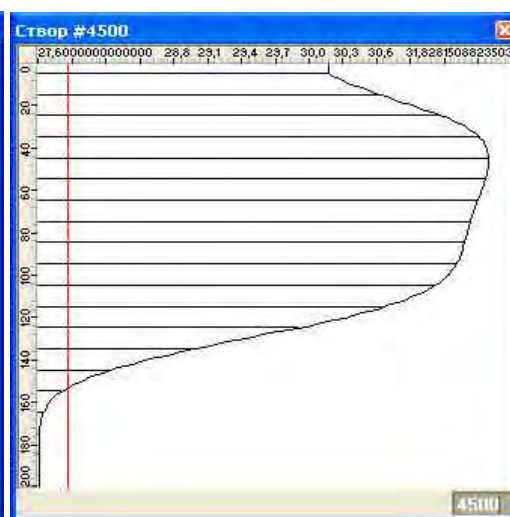
N	Сст	Сср*	Сн.р.	Смах*	n	P*	q * Сст
1	0,0054	0,000215309	0,000506183	0,000247246	110,061	87,0828	0,00567
2	0,0048	0,000215856	0,000517126	0,000265528	70,199	81,2932	0,005904
3	0,0235	0,000649807	0,000949678	0,000949678	31,08	68,4239	0,1645

фенол

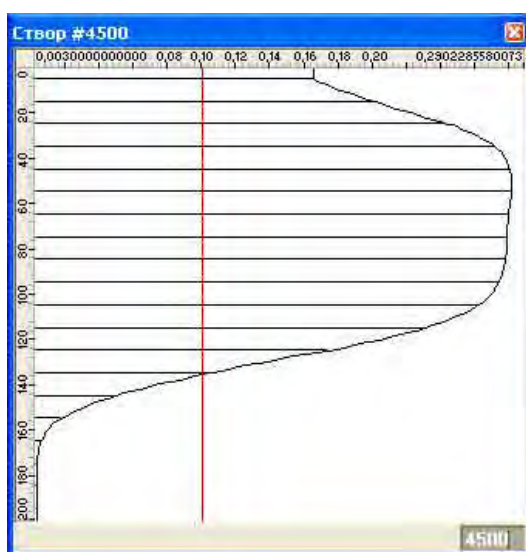
N	Сст	Сср*	Сн.р.	Смах*	n	P*	q * Сст
1	0,002	0,000205299	0,000305986	0,000216354	110,061	94,8902	0,0021
2	0,008	0,000226887	0,000737735	0,000311113	70,199	72,9275	0,00984
3	0,014	0,000466409	0,000644015	0,000644015	31,08	72,4221	0,098



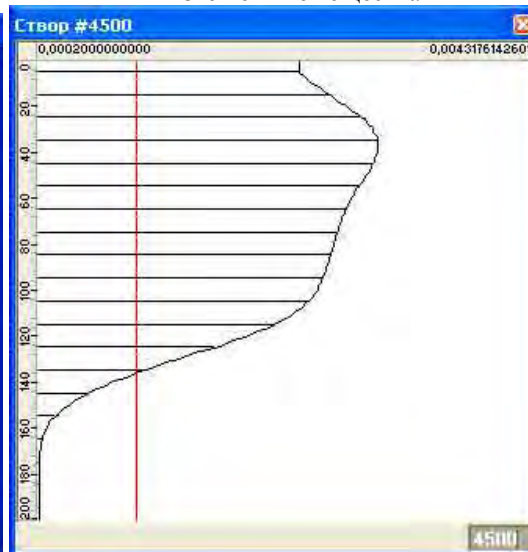
БПК



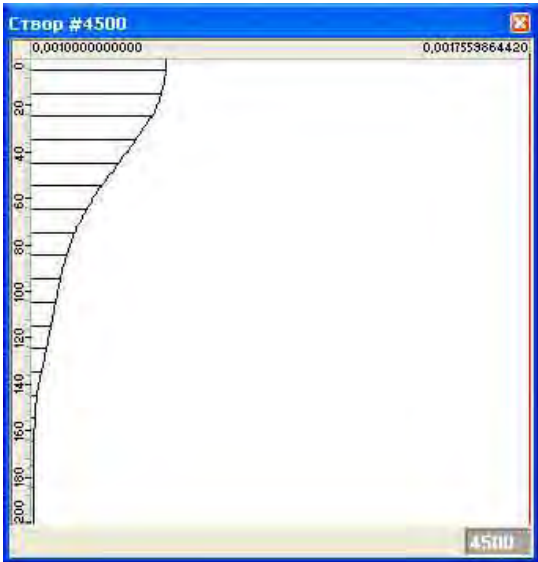
Взвешенные вещества



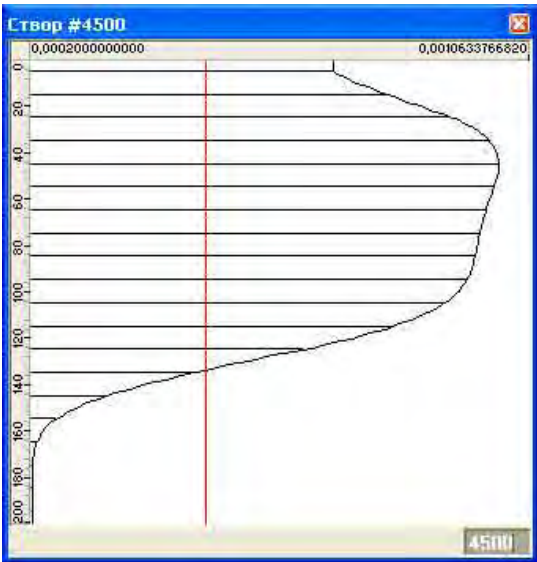
Метанол



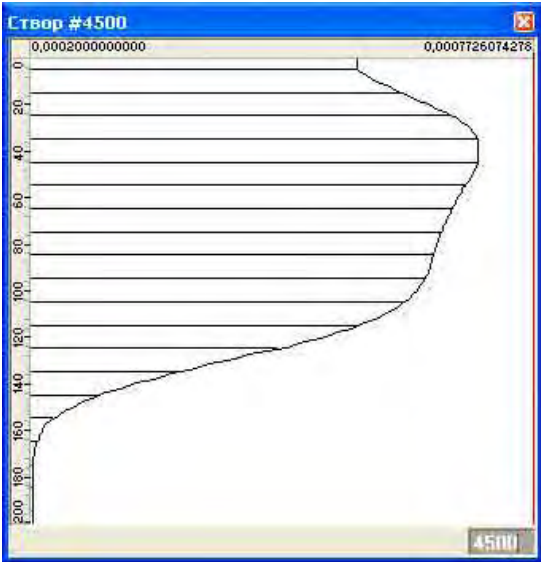
Кадмий



Свинец



Ртуть



Фенол

Обратная задача

Параметры участка реки

река Вычегда

L	B	H	V _x	Q	M _x	N _y	D _y	M
4500	200	2,54	0,7	355,6	54	20	0,206962	Б

Конфигурации источников

N	Название	X	Y	W	Wl	b	q
1	источник1	0	0	1	0	0,591	1,05
2	источник2	2000	0	1	0	0,691789	1,23
3	источник3	4000	17,5	42	2,5	0,0937383	7

Параметры показателей загрязнения

Название	Группа	F	ПДК	Сф	С _{мах}	С _{ср}	P	F*
БПК	общ.	100	3	2,25	3	2,69416	89,8054	1
Взвешенные вещества	общ.	100	27,85	27,6	27,85	27,7484	99,6351	1
Метанол	с. - т.	100	0,1	0,003	0,1	0,0608899	60,8899	1
Кадмий	с. - т.	34	0,001	0,0002	0,00033999	0,00027503	80,8932	0,339996
Свинец	с. - т.	12	0,01	0,001	0,0012	0,00106251	88,5426	0,12
Ртуть	с. - т.	54	0,0005	0,0002	0,00026999	0,00023424	86,758	0,53998
Фенол	рыб.	100	0,001	0,0002	0,001	0,0006762	67,6198	1

$$-F_{с-т} = 1,99998 \quad -F_{рыб} = 1$$

Параметры сбросов

БПК

N	Сст	Сср*	Сн.р.	Смах*	n	P*	q * Сст
1	5,02	2,25816	2,4131	2,27517	110,061	99,2522	5,271
2	11,0302	2,28027	2,85531	2,37508	70,199	96,0081	13,5671
3	23,2674	2,65574	2,92624	2,92624	31,08	90,7562	162,872

взвешенные вещества

N	Сст	Сср*	Сн.р.	Смах*	n	P*	q * Сст
1	30,9581	27,6099	27,7977	27,6305	110,061	99,9254	32,506
2	27,9884	27,6013	27,6268	27,6055	70,199	99,9848	34,4258
3	34,7047	27,7372	27,8286	27,8286	31,08	99,6714	242,933

метанол

N	Сст	Сср*	Сн.р.	Смах*	n	P*	q * Сст
1	0,24	0,00369774	0,0169549	0,00515334	110,061	71,7543	0,252
2	0,77	0,00564386	0,0558773	0,0139261	70,199	40,5273	0,9471
3	2,8286	0,0575483	0,0939139	0,0939139	31,08	61,2778	19,8002

кадмий

N	Сст	Сср*	Сн.р.	Смах*	n	P*	q * Сст
1	0,005	0,000214132	0,00048263	0,000243612	110,061	87,8986	0,00525
2	0,00242958	0,000207685	0,000353708	0,000231761	70,199	89,6119	0,00298839
3	0,00295665	0,000253217	0,000288695	0,000288695	31,08	87,7109	0,0206965

свинец

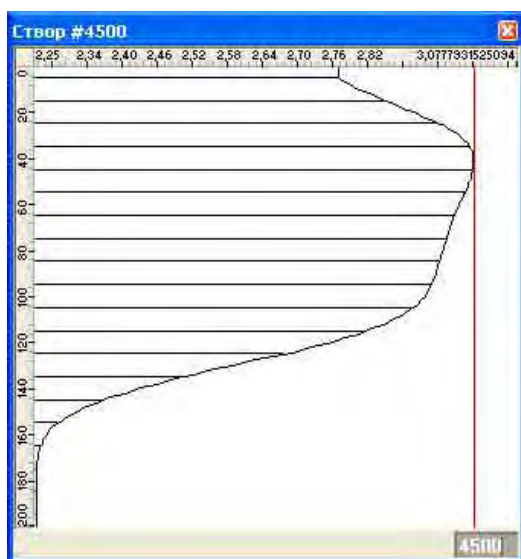
N	Cст	Ccp*	Cн.р.	Cmax*	n	P*	q * Cст
1	0,006	0,00101472	0,00129441	0,00104543	110,061	97,0626	0,0063
2	0,011	0,00103447	0,0016894	0,00114245	70,199	90,5482	0,01353
3	0,00168984	0,00101332	0,0010222	0,0010222	31,08	99,1314	0,0118289

ртуть

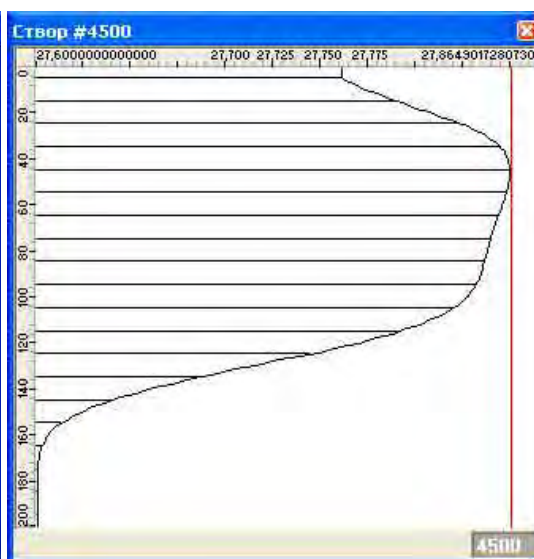
N	Cст	Ccp*	Cн.р.	Cmax*	n	P*	q * Cст
1	0,0054	0,000215309	0,000506183	0,000247246	110,061	87,0828	0,00567
2	0,000386987	0,000200645	0,000212891	0,000202664	70,199	99,0037	0,000475994
3	0,00114713	0,000218284	0,000230474	0,000230474	31,08	94,7111	0,00802992

фенол

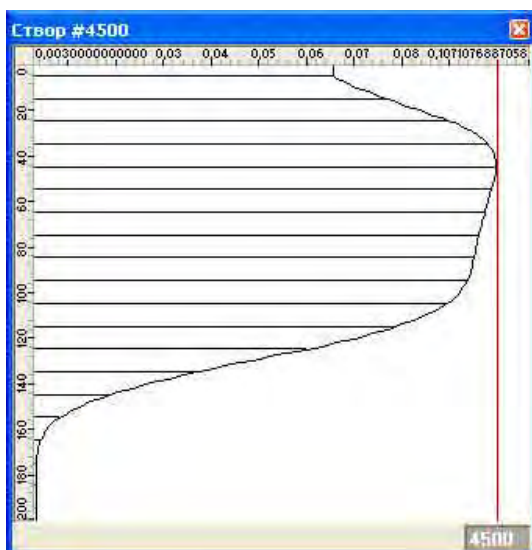
N	Cст	Ccp*	Cн.р.	Cmax*	n	P*	q * Cст
1	0,002	0,000205299	0,000305986	0,000216354	110,061	94,8902	0,0021
2	0,008	0,000226887	0,000737735	0,000311113	70,199	72,9275	0,00984
3	0,0231999	0,000644013	0,000940021	0,000940021	31,08	68,5104	0,162399



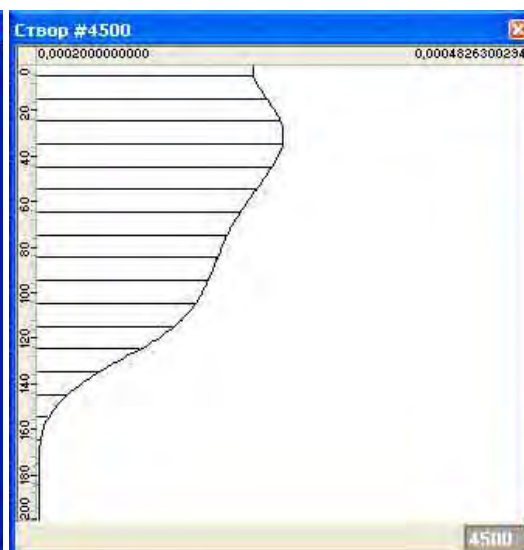
БПК



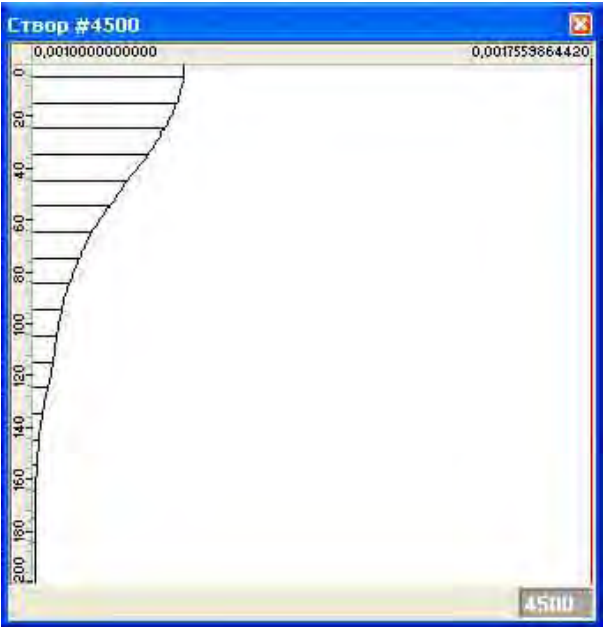
Взвешенные вещества



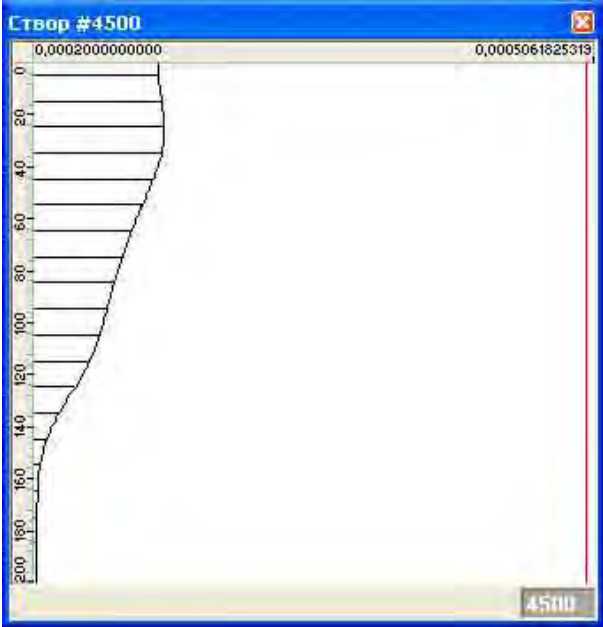
Метанол



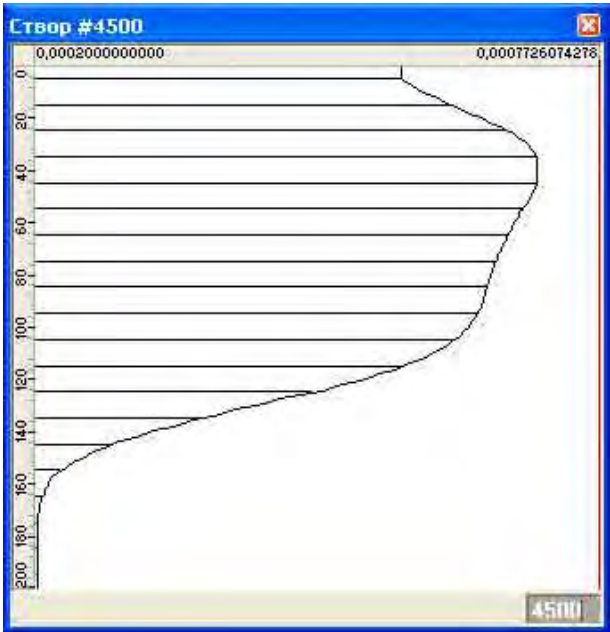
Кадмий



Свинец



Ртуть



Фенол

Приложение 7. Сводная таблица результатов расчета по программам «Экопрогноз» и «Waste».

Исходные данные									Прямая задача											
вещество	группа ЛПВ	класс опасности	ПДК, мг/л	С _ф , мг/л	С _ф ПДК	С _{сфакт} , мг/л			С _{max} ^{КС}				степень перемешивания Р				кратность разбавления			С _{maxΣ}
									С _{maxΣ} ^{КС}											ПДК
					1	2	3	1	2	3	С _{maxΣ} ^{КС}	1	2	3	Σ	1	2	3	21	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
БПК _{полн}	Общ.	4	3,0	2,25	0,75	5,02	32,6	74,9	2,280	2,689	5,147	5,32	99,1	87,6	71,50	71,3	93,73	69,16	25,08	1,77
									2,275	2,682	4,588	4,80	99,25	87,78	79,61	78,44	110,1	70,2	31,1	1,6
Взвешенные вещества	Общ.	4	27,85	27,6	0,99	81,2	33,8	141,0	28,172	27,69	32,12	32,497	98,5	99,8	92,9	92,4	93,73	69,16	25,08	1,17
									28,087	27,69	31,24	31,59	98,83	99,76	95,33	94,87	110,1	70,2	31,1	1,13
Метанол	С.-т.	4	0,1	0,003	0,03	0,24	0,77	8,52	0,006	0,014	0,343	0,348	66,9	40,1	49,8	50,0	93,73	69,16	25,08	3,48
									0,005	0,014	0,277	0,282	71,75	40,53	60,43	60,56	110,1	70,2	31,1	2,82
Кадмий	С.-т.	2	0,001	0,0002	0,2	0,005	0,059	0,0729	0,0002	0,0005	0,0025	0,004	85,3	38,4	52,6	50,3	93,73	69,16	25,08	3,68
									0,0002	0,001	0,0025	0,003	87,89	38,3	63,15	60,49	110,1	70,2	31,1	3,009
Свинец	С.-т.	2	0,1	0,001	0,1	0,006	0,011	0,0018	0,001	0,001	0,001	0,0011	96,3	90,4	98,4	87,1	93,73	69,16	25,08	0,12
									0,001	0,001	0,001	0,0012	97,06	90,54	98,99	88,58	110,1	70,2	31,1	0,12
Ртуть	С.-т.	1	0,0005	0,0002	0,4	0,0054	0,0048	0,0235	0,0002	0,0003	0,0008	0,001	84,3	81,0	58,3	58,3	93,73	69,16	25,08	2,37
									0,0002	0,0003	0,0009	0,001	87,08	81,29	68,42	67,58	110,1	70,2	31,1	2,015
Фенолы	Р/хоз.	3	0,001	0,0002	0,2	0,002	0,008	0,014	0,0002	0,0003	0,0006	0,0007	93,74	72,6	62,9	71,3	93,73	69,16	25,08	0,7
									0,0002	0,0003	0,0006	0,0007	94,89	72,92	72,42	70,44	110,1	70,2	31,1	0,7

Сводная таблица результатов расчета по программам «Экопрогноз» и «Waste» (продолжение)

Обратная задача															
вещество	группа ЛПВ	класс опасности	$C_{ф\text{ расч}}$	доля ЛПВ	$C_{ст.}^{доп.}$			C_{max}^{KC}				$C_{max\Sigma}$ ПДК	НДС		
					1	2	3	1	2	3	$C_{max\Sigma}^{KC}$		1	2	3
1	2	3	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
БПК _{полн.}	Общ.	4	2,25	1	5,02	10,5	18,2	2,89	2,37	2,28	2,97	0,99	5,27	12,92	127,4
					5,02	11,03	23,27	2,27	2,37	2,92	3,0	1	5,27	13,57	162,87
Взвешенные вещества	Общ.	4	27,6	1	27,7	33,8	29,0	27,60	27,60	27,66	27,74	1	29,08	41,57	203,0
					30,96	27,99	34,70	27,63	27,61	27,83	27,85	1	32,51	34,43	242,93
Метанол	С.-г.	4	0,003	1	0,24	0,77	2,28	0,006	0,014	0,094	0,1	0,99	0,252	0,947	15,96
					0,24	0,77	2,83	0,005	0,014	0,094	0,1	1	0,252	0,947	19,81
Кадмий	С.-г.	2	0,0002	0,34	0,005	0,0019	0,0021	0,0002	0,00023	0,00025	0,0003	0,34	0,0053	0,0023	0,0147
					0,005	0,0024	0,0029	0,00024	0,00023	0,00028	0,0003	0,34	0,0053	0,003	0,0207
Свинец	С.-г.	2	0,001	0,12	0,006	0,011	0,0018	0,001	0,001	0,001	0,0012	0,12	0,0063	0,0135	0,0126
					0,006	0,011	0,0017	0,001	0,001	0,001	0,0012	0,12	0,0063	0,0135	0,0118
Ртуть	С.-г.	1	0,0002	0,54	0,0054	0,00029	0,0008	0,0002	0,0002	0,00025	0,00027	0,54	0,0057	0,00036	0,0056
					0,0054	0,00039	0,0011	0,0002	0,0002	0,00023	0,00027	0,54	0,0057	0,00048	0,008
Фенолы	Р/хоз.	3	0,0002	1	0,002	0,008	0,014	0,0002	0,0003	0,0006	0,0007	0,7	0,0021	0,0098	0,098
					0,002	0,008	0,014	0,0002	0,0003	0,0006	0,0007	0,708	0,0021	0,0098	0,098

Пояснения к сводной таблице

Сводную таблицу результатов расчета можно условно разделить на 3 блока: исходные данные, результаты, полученные по решению прямой задачи, и результаты, полученные по решению обратной задачи.

Исходные данные (графы 1-9) – это вся имеющаяся исходная информация для решения поставленной задачи. Значения ПДК берутся из перечня ПДК основных загрязняющих веществ (*Приложение 2*). В графе 5 даются фактические значения фоновых концентраций, рассчитанных по примеру, приведенному в *Приложении 1*. Количество граф, в которых задаются фактические значения концентрации стока $C_{\text{ст}}^{\text{факт}}$, равно количеству источников загрязнения.

В блоке «прямая задача» (графы 10-21) в каждой ячейке имеются 2 значения. В числителе – результаты расчета по программе «Экопрогноз», в знаменателе – по программе «Waste».

Данные по «Экопрогнозу» берутся из *Приложения 5* (прямая задача). Здесь необходимо обратить внимание на то, что результирующие таблицы выдаются в обратном порядке, т.е. сначала приводятся результаты по самому близкому к контрольному створу водовыпуску, а в конце – по самому дальнему, тогда как при занесении исходных данных в программу створы водовыпусков перечисляются в порядке убывания расстояния до контрольного створа, начиная с самого дальнего (рис. 8).

На стр. 85 после таблицы 16 даны значения, которые заносятся в сводную таблицу:

СМАХ – максимальное значение концентрации только от выпуска №3 в контрольном створе (гр. 12);

Р – степень перемешивания (гр. 16);

N – кратность разбавления (гр. 20);

Значения СМАХ/СРДК – отношение максимального значения концентрации к ПДК; ССТД – допустимая концентрация; PDS – предельно допустимый сброс в таблицу не заносятся. На эти значения надо обратить внимание при решении обратной задачи. Суммарные значения в графы 13, 17, 21 берутся со стр. 87 после результирующей таблицы 19.

Полученные результаты по программе «Waste» заносятся в сводную таблицу из таблиц *Приложения 6* (прямая задача).

В блоке «обратная задача» в графе 22 задается расчетное значение фоновой концентрации, т.к. в некоторых случаях рассчитать ПДС при фактическом фоне не представляется возможным. В графе 23 задается доля ЛПВ (см. *Приложение 4*).

Значения допустимой концентрации $C_{\text{ст}}^{\text{доп}}$ (графы 24-26) по результатам «Экопрогноза» берутся из *Приложения 5* (обратная задача) (стр. 88-89), выделенные значения), а значения максимальной концентрации (графы 27-30) –

аналогично тем, как это было сделано в прямой задаче. Значения НДС (графы 32-34) рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{ст}i}^{\text{доп}} * q_i = \text{НДС}_i.$$

Результаты по программе «Waste» берутся из *Приложения 6* (обратная задача). Можно рассматривать несколько вариантов допустимых значений сточных вод $C_{\text{ст}}^{\text{доп}}$, но в результате выбрать оптимальный вариант и уже после этого определить НДС.

В случае если по результатам решения прямой задачи максимальная концентрация в контрольном створе для какого-либо вещества (в нашем примере это фенол) не превышает ПДК, то значения $C_{\text{ст}}^{\text{доп.}}$ (графы 24-26) берутся равными фактическим значениям концентрации сточных вод (графы 7-9).

Приложение 8. Значения константы скорости биохимического потребления кислорода и его растворимости в зависимости от температуры.

Таблица 24

Значения констант скорости биохимического потребления кислорода K_1 при разных температурах воды.

t°C	K_1	t°C	K_1	t°C	K_1
0	0,04	15	0,08	24	0,12
5	0,05	18	0,09	26	0,13
9	0,06	20	0,1	28	0,14
12	0,07	22	0,11	29	0,15

Таблица 25

Растворимость кислорода в 1л воды при давлении, равном 760 мм.

t°C	O ₂ мг	t°C	O ₂ мг	t°C	O ₂ мг
0	14,62	11	11,08	22	8,83
1	14,23	12	10,83	23	8,68
2	13,84	13	10,6	24	8,53
3	13,48	14	10,37	25	8,38
4	13,13	15	10,15	26	8,22
5	12,80	16	9,95	27	8,07
6	12,48	17	9,74	28	7,82
7	12,17	18	9,64	29	7,77
8	11,87	19	9,35	30	7,63
9	11,59	20	9,17		
10	11,33	21	8,89		

Приложение 9. Расчет кислородного режима в водотоках

1. Производим моделирование по мономолекулярной модели. Задаем исходные значения и снимаем показания по графику:

Значения БПК		Значения O_2	
T, сут	C, мг/л	T, сут	C, мг/л
0	50	0	6
3,4	25,6	1,7	-5,5
9,8	7,2	5,9	-12,98
12,8	3,7	11,1	-7,16
17,4	1,5	15,7	-0,71
19,1	1	22,98	5,7
23	0,45	28,5	8,1
30,6	0,09	41,7	10

Строим графическую зависимость

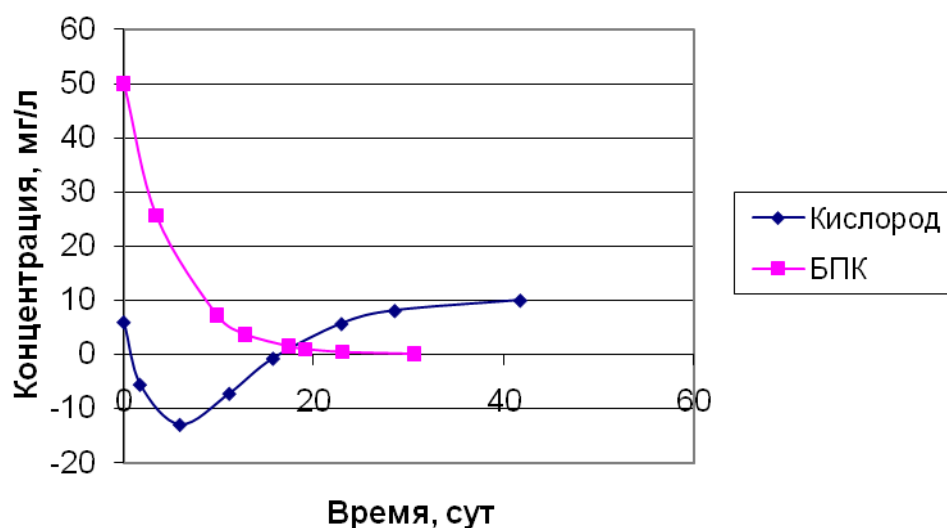


Рис. 13. Графики зависимости концентрации БПК и O_2 от времени, построенные с помощью мономолекулярной модели по исходным данным

2. Подбираем для данной модели такие значения, чтобы график не уходил в отрицательную область: $C^{\circ}_{\text{БПК}}=15$ и $C^{\circ}_{\text{O}_2}=6$. При данных значениях получаем следующие данные:

Значение БПК		Значение O_2	
T, сут	C, мг/л	T, сут	C, мг/л
0	15	0	6
1,3	11,7	2,1	2,8
2,5	9,4	4,6	1,9
3,8	7,1	6,7	2,5
5,1	5,6	8,8	3,4
6,3	4,4	10,9	4,5
7,6	3,3	12,5	5,3
8,8	2,6	15,6	6,7
10,1	1,9	18,9	7,9
13,9	0,912	24	9,1
17,3	0,466	30,7	9,9
19,8	0,292	35,8	10,1
27,4	0,061	42,5	10,3

Строим графическую зависимость

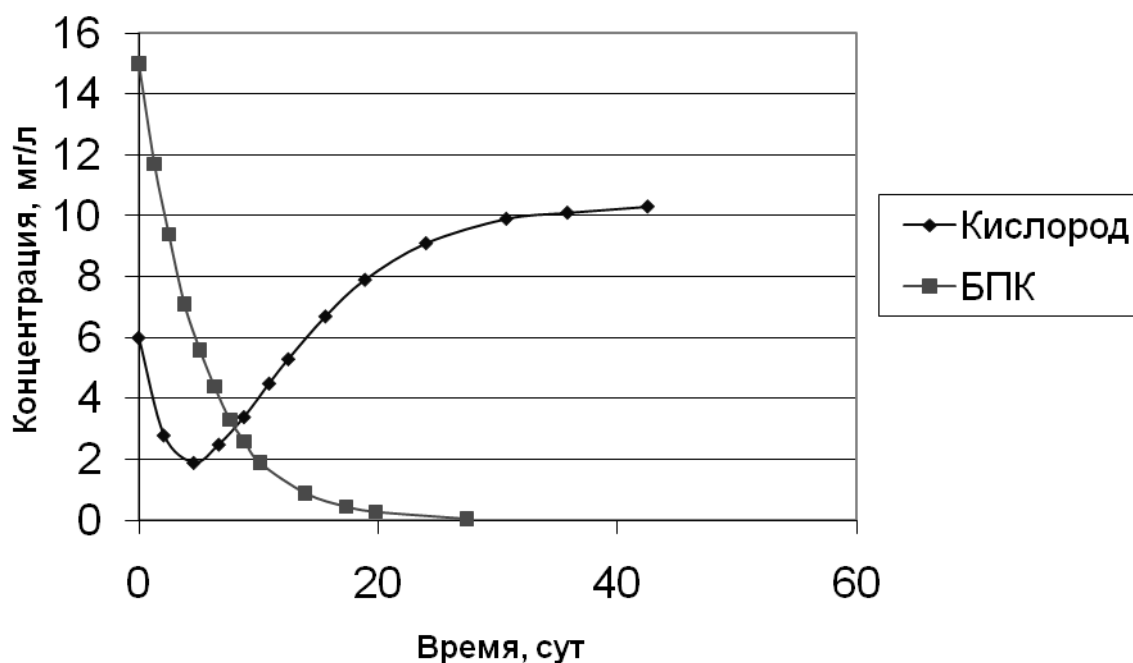


Рис. 14. Графики зависимости концентрации БПК и O_2 от времени, построенные в положительной области координат

3. Переходим к бимолекулярной модели. Задаем исходные значения K_1 и K_2 для данной модели, где $\alpha = K_1 = 0,0000023$ 1/с. Получаем следующие значения.

Значение БПК		Значение O_2	
T, сут	C, мг/л	T, сут	C, мг/л
0	15	0	6
1,7	7,8	0,644	1,7
2,9	6,2	1,7	0,945
5,9	3	3,4	1,1
7,6	1,6	6,3	1,9
10,1	0,345	9,3	3,4
12,8	0,008	11,4	4,8
12,9	0,006	14,7	6,9
13,3	0,004	18,1	8,3
13,5	0,002	23,6	9,4
13,7	0,001	29,1	9,9

Строим графическую зависимость

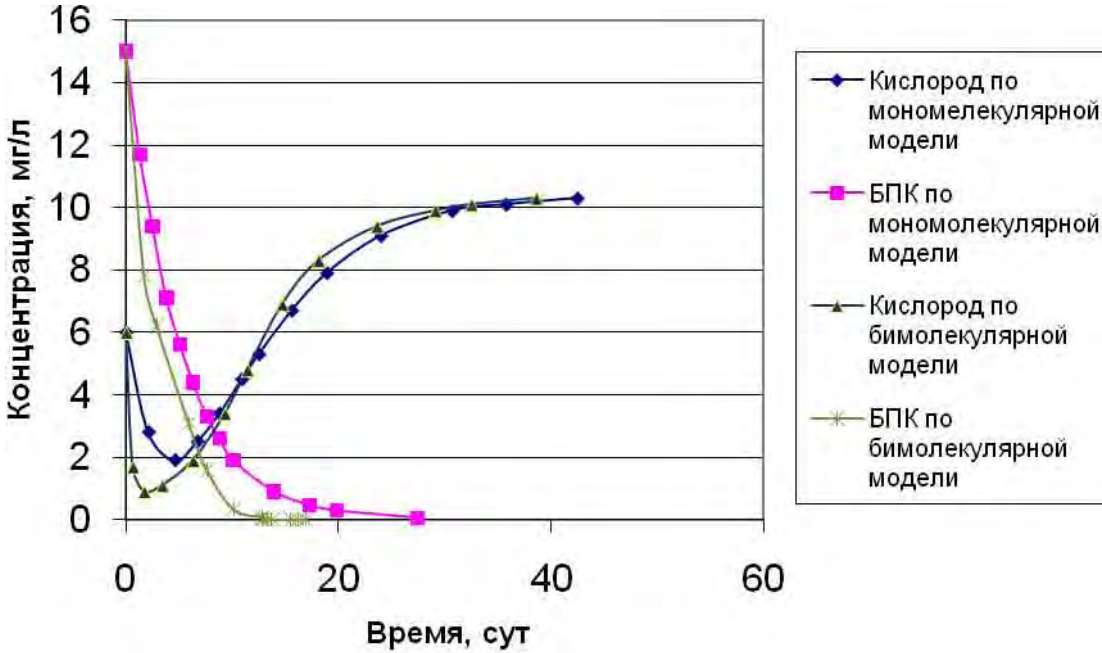


Рис. 15. Зависимость изменения БПК и O_2 от времени при $\alpha=K_1$ с использованием моно- и бимолекулярной моделей

4. При изменении коэффициента биохимического окисления, при $\alpha < K_1$ ($\alpha=0,00000075$) получаем графики максимально схожие. Получаем следующие данные:

Значение БПК		Значение O_2	
T, сут	C, мг/л	T, сут	C, мг/л
0	15	0	6
2,1	9,3	1,7	2,7
3,8	7,4	2,9	2,3
5,5	5,5	6,7	2,9
9,7	2,4	10,1	4
11,4	1,6	12,2	4,9
13,1	0,942	13,9	5,7
14,7	0,5	17,3	7,1
16,8	0,213	21,5	8,6
18,9	0,0054	24,4	9,2
19,5	0,003	29,5	9,8
21,6	0,002	34,5	10,1
25,5	0,001	38,7	10,3

Строим графическую зависимость.

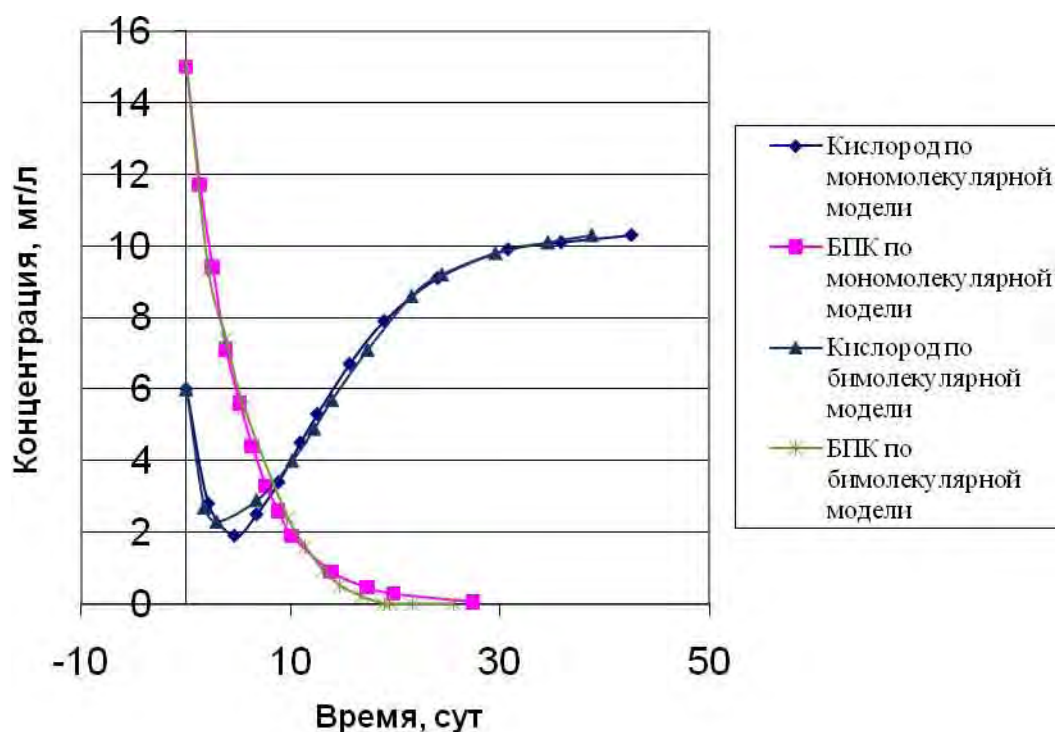


Рис. 16. Зависимость изменения БПК и O_2 от времени, построенные с использованием моно- и бимолекулярной моделей при $\alpha < K_1$

5. При изменении коэффициента биохимического окисления, т.е. при $\alpha > K_1$ $\alpha = 0,000005$. Получаем следующие данные:

Значение БПК		Значение O_2	
T, сут	C, мг/л	T, сут	C, мг/л
0	15	0	6
1,7	7,1	0,318	1,4
3	5,4	0,796	0,51
5,1	2,8	1,7	0,455
7,23	1	4,7	0,924
7,7	0,72	8,1	2,5
9,4	0,18	10,6	4,5
11,1	0,09	13,5	6,6
13,3	0,03	16,6	7,9
15,5	0,008	19,6	8,8
17,8	0,006	26,4	9,8
19,3	0,004	31,1	10,1
20,5	0,001	13,5	10,3

Строим графическую зависимость.

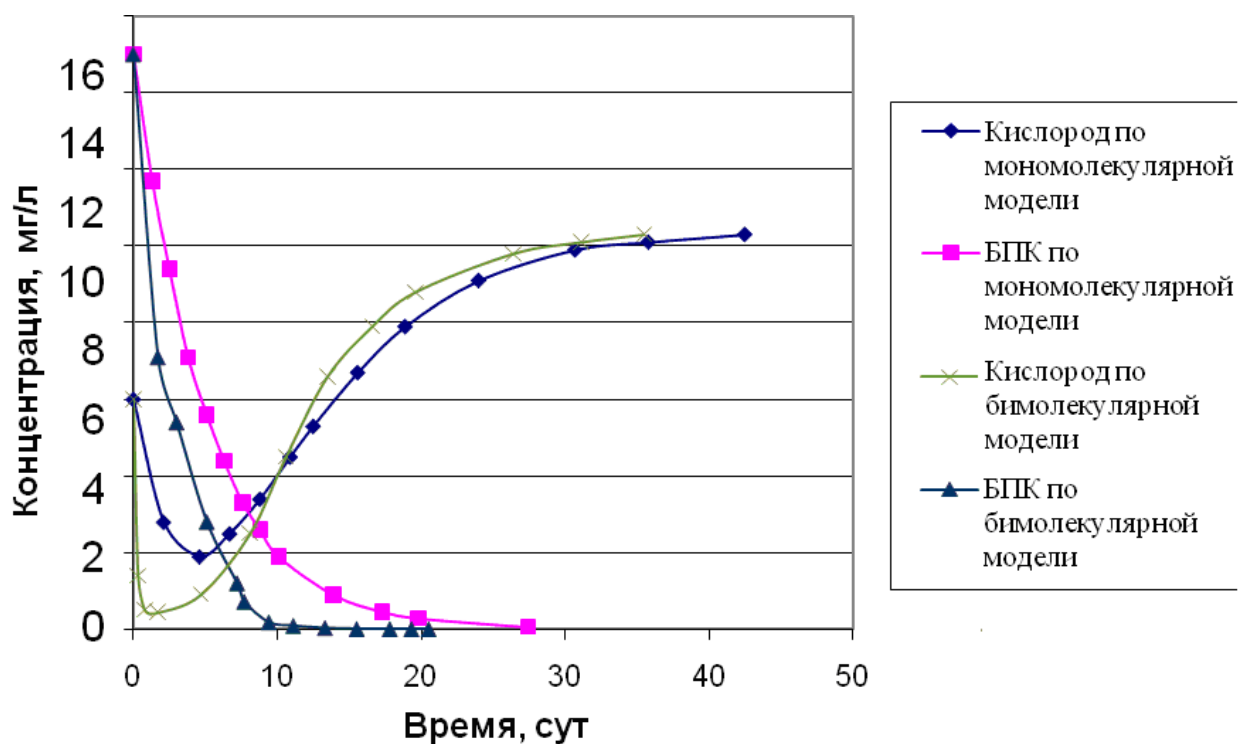


Рис. 17. Зависимость изменения БПК и O_2 от времени, построенные с использованием моно- и бимолекулярной моделей при $\alpha > K_1$

6. По бимолекулярной модели, при подобранном α и начальных значениях $C^{\circ}_{\text{БПК}}$ и $C^{\circ}_{\text{O}_2}$, производим моделирование. Получаем следующие результаты:

Значение БПК		Значение O_2	
T, сут	C, мг/л	T, сут	C, мг/л
0	50	0	6
2,1	42	0,842	0,882
5,1	37,6	2,1	0,537
10,1	30,4	5,5	0,594
14,3	24,6	7,2	0,632
17,3	20,6	11,8	0,765
21,5	15,2	17,3	1
26,5	9,2	21,5	1,3
30,7	5,1	29,5	2,4
33,3	3,1	32,8	3,3
36,2	1,4	36,6	4,8
40	0,362	40	6,2
42,1	0,158	44,2	7,9
45,5	0,09	50,1	9,4
47,3	0,07	59,8	10,1
49,8	0,004	62,3	10,3

Получаем графическую зависимость

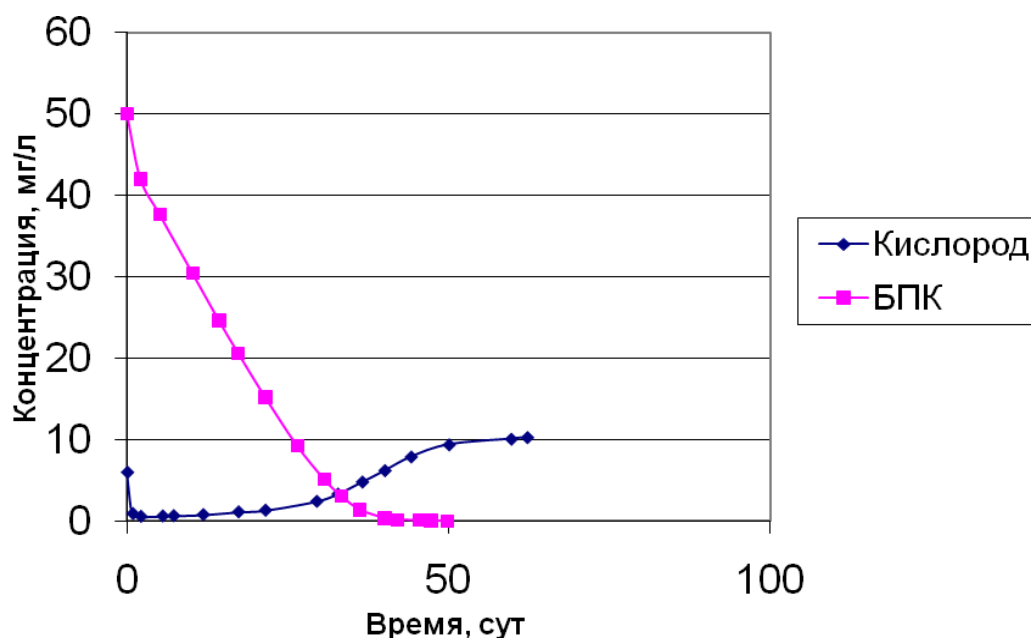


Рис. 18. Графики зависимости концентраций БПК и O_2 от времени, построенные по исходным данным и подобранному коэффициенту α с использованием бимолекулярной модели

Учебное издание

Александр Ильич Шишкин
Андрей Валерьевич Елифанов
Наталия Семеновна Хуршудян
Дмитрий Валерьевич Шаренков
Иван Владимирович Антонов

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор Т.А. Смирнова

Технический редактор Л.Я. Титова

Темплан 2010 г., поз. 7

Подп. к печати 27.01.10

Формат бумаги 60х84/16. Бумага тип. № 1. Печать офсетная. Печ. л. 7,0.

Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 100 экз. Изд. № 7. Цена «С».

Заказ

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного технологического
университета растительных полимеров,
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.



