МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

Р 52.24. 811 – 2014

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА РЕЖИМНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ДЛИНЕ ВОДОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИСХОДЯЩИХ ПРОЦЕССОВ

Ростов - на - Дону
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Федеральным Государственным бюджетным учреждением «Гидрохимический институт» (ФГБУ «ГХИ»)

2 РАЗРАБОТЧИКИ О.А. Клименко, канд. хим. наук; В.Ф. Геков, канд. техн. наук; О.В. Сергеева

3 СОГЛАСОВАНЫ с ФГБУ «НПО «Тайфун» 03.07.2014
и УМЗА Росгидромета 15.08.2014

4 УТВЕРЖДЕНЫ Заместителем Руководителя Росгидромета 18.08.2014

ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ приказом Росгидромета от 12.09.2014 № 514

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАНЫ ФГБУ «НПО «Тайфун» за номером Р 52.24.811–2014 от 22.08.2014

6 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

7 СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ 2020 год

© Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2014

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
4 Общие положения 3
5 Методика проведения математического моделирования трансформации ЗВ по длине водотока при наличии стационарных источников ЗВ 4
5.1 Общие замечания 4
5.2 Моделирования трансформации ЗВ по длине водотока 5
6 Организация наблюдений за трансформацией ЗВ по длине водотока с учетом результатов моделирования происходящих процессов при стационарном поступлении ЗВ в водный объект 26
6.1 Этапы усовершенствования организации наблюдений за трансформацией ЗВ по длине водотока 26
6.2 Обработка результатов моделирования 29
6.3 Проведение специальных (дополнительных) наблюдений для корректировки параметров математической модели трансформации ЗВ по длине водотока 31
7 Учет влияния на качество речной воды нестационарных сбросов ЗВ со склоновым стоком с территории населенных пунктов и сельхозугодий 38
7.1 Методика моделирования изменения содержания ЗВ по длине водотока при нестационарном сбросе сточных вод 38
7.2 Организация наблюдений за трансформацией ЗВ по длине водотока при нестационарном поступлении ЗВ в водный объект 47
7.2.1 Наблюдения за неорганизованным поверхностным склоновым стоком с городской территории и промышленных площадок 47
7.2.2 Наблюдения за поверхностным склоновым стоком с территории неорошаемых сельхозугодий 50
8 Представление результатов моделирования и натурных наблюдений изменения содержания ЗВ по длине реки 52
Приложение А (обязательное) Инструкция к программе «ГХМ–трансформЗВ» – моделирование изменения концентраций ЗВ по длине водотока Программа «ГХМ-трансформЗВ» предназначена для проведения моделирование изменения концентраций ЗВ по длине водотока. 54
Приложение Б (рекомендуемое) Методы определения ориентировочных расходов склоновых вод, поступающих с городской территории и сельхозугодий, а также содержания в них ЗВ 83
Приложение В (справочное) Примеры моделирования изменения концентрации ЗВ по длине реки 100
Библиография 126

РЕКОМЕНДАЦИИ

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА РЕЖИМНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ДЛИНЕ ВОДОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИСХОДЯЩИХ ПРОЦЕССОВ

Дата введения – с 2015–04–02
Срок действия – до 2020–12–02

1 Область применения

Настоящие рекомендации устанавливают этапы усовершенствования системы режимных и специальных наблюдений за трансформацией загрязняющих веществ по длине водотоков с использованием математического моделирования происходящих процессов и предназначены для межрегиональных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и их филиалов, осуществляющих организацию и проведение наблюдений за состоянием поверхностных вод суши, а также оценку изменения качества воды по длине водных объектов.

Настоящие рекомендации могут быть использованы и в других заинтересованных организациях и учреждениях Росгидромета.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

РД 52.24.622–2001 Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков

Р 52.24.627–2007 Усовершенствованные методы прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ

СНиП 2.04.03–85 Канализация. Наружные сети и сооружения

3 Термины и определения

3.1 В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1

водный объект: Сосредоточение природных вод на поверхности суши либо в горных породах, имеющее характерные формы распространения и черты режима.

[ГОСТ 19179–73, пункт 6]

3.1.2

водозабор: Забор воды из водоема, водотока или подземного водоисточника.

[ГОСТ 19185–73, пункт 8]

3.1.3

водоток: Водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности.

[ГОСТ 19179–73, пункт 15]

3.1.4

загрязняющее воду вещество (загрязняющее вещество): Вещество в воде, вызывающее нарушение норм качества воды.

[ГОСТ 17.1.1.01–77, пункт 40]

3.1.5 **ингредиент:** Вещество или показатель, входящие в состав наблюденных характеристик водного объекта.

3.1.6

качество воды: Характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования.

[ГОСТ 17.1.1.01–77, пункт 4]

3.1.7 **Нестационарный сброс сточных вод:** Сброс сточных вод с изменяющимися во времени расходами воды и концентрацией загрязняющих веществ.

3.1.8

нормы качества воды: Установленные значения показателей качества воды для конкретных видов водопользования.

[ГОСТ 27065–86, пункт 3]

3.1.9

река: Водоток значительных размеров, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло.

[ГОСТ 19179–73, пункт 21]

3.1.10 **Стационарный сброс сточных вод**: Сброс сточных в с устойчивыми во времени расходами воды и концентрацией загрязняющих веществ.

3.1.9 **Створ водотока (реки):** Условное поперечное сечение водотока, используемое для оценок и прогноза качества воды.

3.2 В настоящих рекомендациях введены и приняты следующие сокращения:

$БПК_5$ – биохимическое потребление растворенного кислорода содержащимися в воде органическими веществами в течение пяти суток;

ВЗ – высокое загрязнение;

ГСН – государственная сеть наблюдений;

ЗВ – загрязняющее вещество;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ПК – персональный компьютер;
СПАВ – синтетические поверхностно активные вещества;
ХПК – химическое потребление кислорода;
ЭВЗ – экстремально высокое загрязнение.

4 Общие положения

4.1 В настоящих рекомендациях рассмотрены этапы усовершенствования системы режимных и специальных наблюдений за трансформацией ЗВ по длине водотоков с использованием математического моделирования происходящих процессов на основе результатов текущих и многолетних систематических гидрохимических и гидрологических наблюдений, проводимых в рамках ГСН.

4.2 Главная цель рекомендуемого проведения усовершенствования наблюдений – возможность более детально оценивать изменение качества воды по длине водных объектов с оценкой влияния на это качество отдельных источников ЗВ.

4.3 В основу усовершенствования наблюдений положен принцип использования обратной связи между результатами математического моделирования происходящих в водотоках процессов трансформации ЗВ и результатами проводимых (при необходимости корректируемых) режимных и специальных наблюдений.

4.4 С помощью разработанного программного комплекса, рекомендуется выполнение моделирования изменения содержания ЗВ по длине водотока с оценкой вклада отдельных источников ЗВ в изменение качества воды. Источники ЗВ могут быть стационарными и нестационарными. Последние отличаются кратковременностью поступления ЗВ вводный объект. Полученные результаты моделирования используют для корректировки текущих режимных и специальных гидрохимических и гидрологических наблюдений. Результаты режимных и специальных гидрохимических и гидрологических наблюдений привлекают для верификации используемых математических моделей.

4.5 По материалам и алгоритмам, приведенным в разделах 5 - 8, разработан программный комплекс для ПК «ГХМ–трансформЗВ», который является неотъемлемой частью настоящих рекомендаций.

В приложении А представлена инструкция для пользователей данного программного комплекса.

В приложении Б изложены методы определения ориентировочных расходов склоновых вод, поступающих в водоток с городской территории и сельхозугодий, а также содержания в них ЗВ.

В приложении В приведены примеры моделирования изменения концентраций ЗВ по длине реки.

5 Методика проведения математического моделирования трансформации ЗВ по длине водотока при наличии стационарных источников ЗВ

5.1 Общие замечания

5.1.1 Ниже одного или нескольких стационарных источников ЗВ изменение их содержания в водотоке обусловлено главным образом воздействием двух основных факторов:

– смешением и разбавлением загрязненных вод (физический фактор);

– совокупным влиянием преимущественно химических и биохимических процессов превращения, разрушения и деградации ЗВ в толще воды (химико-биологический фактор).

5.1.1.1 Интенсивность воздействия первого фактора на загрязненность вод зависит от гидроморфометрических параметров водного потока (скорости течения воды, глубины и ширины реки, извилистости и шероховатости русла), а также от направленности (угла) сброса сточных вод в русло водотока, соотношения скоростей течения воды в выпуске сточных вод и в реке, наличие в русле островов и т.д. Влияние указанных характеристик на формирование в речной воде химического состава по мере удаления от источника или источников ЗВ уменьшается в связи с уменьшением градиента концентрации ЗВ в сечении водного объекта и на определенном расстоянии становится не значимым.

5.1.1.2 Влияние второго фактора на скорость убыли концентрации ЗВ в речной воде зависит от целого ряда особенностей условий формирования качества воды, имеющих место на отдельных участках водотока:

– состава и строения ЗВ;

– температуры воды;

– степени контакта водных масс с донными отложениями;

– заселенности воды микроорганизмами;

– зарастаемости русла макрофитами;

– скорости движения воды;

– количества взвешенных веществ в толще воды, их минерального состава, крупности и сорбционной способности и т.д.

5.1.2 Помимо указанного, существенное влияние на содержание ЗВ в реке могут оказывать такие обычно неконтролируемые факторы, как диффузное поступление в русло реки ЗВ с подземным стоком, а также со склоновым стоком с территории населенных пунктов и сельхозугодий, с атмосферными осадками, выпадающими непосредственно на водный объект, забор воды из загрязненной или незагрязненной части речного потока. В связи с этим, для описания особенностей второго фактора

воздействия обычно используют суммарный коэффициент скорости самоочищения (трансформации) ЗВ, отражающий влияние всей совокупности перечисленных факторов на формирование концентрации ЗВ на отдельных речных участках.

5.1.3 Из вышеприведенного следует, что для математического моделирования трансформации ЗВ целесообразно ориентироваться на использование обобщенных, желательно полученных на конкретном участке водного объекта коэффициентов, совокупно отражающих указанные процессы и факторы воздействия на содержание в речной воде ЗВ. В частности, для обобщенного описания чисто физических процессов воздействия на содержание ЗВ в водотоке можно использовать коэффициент дисперсии вещества в речном потоке; для совокупного учета воздействия физико-биохимических процессов и неучтенных диффузных поступлений ЗВ – суммарный коэффициент скорости самоочищения (трансформации) ЗВ. На первом этапе моделирования трансформации ЗВ по длине водного объекта эти коэффициенты рассчитывают эмпирически по имеющимся осредненным данным за отдельные характерные периоды годового цикла, в дальнейшем – с учетом результатов проведенных усовершенствованных режимных и специально организованных наблюдений. По верифицированным математическим моделям повторяют и уточняют расчеты распространения по длине водного объекта ЗВ в максимально загрязненной струе и при необходимости продолжают корректировку системы специальных и режимных наблюдений. Сравнивая рассчитанные в результате моделирования и фактически полученные значения концентраций ЗВ по длине водотока в максимально загрязненной струе определяют величину и характер изменения невязок (большие, малые, устойчивые, неустойчивые, зависящие или независящие от расхода воды и т.д.). Интервал варьирования значений невязок фактически является погрешностью математического моделирования содержания ЗВ для створов, где отсутствуют регулярные наблюдения. Если моделирование позволяет достаточно точно оценивать трансформацию ЗВ по длине речной сети, то становится возможной оптимизация режимных наблюдений в части сокращения их числа во времени и по длине реки.

5.2 Моделирования трансформации ЗВ по длине водотока

5.2.1 Рассматриваемая река или выделенная для моделирования часть реки делится на участки и подучастки (при наличии на реке водохранилищ основные участки берутся между ними). Границами участков являются: фоновый створ, узловые створы, в которых существенно (более чем на 20 %) резко меняется расход речной воды в результате поступления вод конкретного притока или сброса сточных вод, а также замыкающий створ на моделируемой части реки (например, устье реки).

Внутри участка реки по морфометрическим характеристикам могут быть выделены подучастки, для которых условно принимается, что расход реки существенно не меняется, а меняется только ширина, глубина или скорость речного потока (например, после выхода предгорной реки на равнинную часть территории водосбора или на участке ниже сброса сточных вод с небольшим расходом и т.п.).

5.2.2 Для аппроксимации процесса смешения и разбавления поступающих в водоток ЗВ использовано решение уравнения турбулентной дисперсии для одномерной плоской задачи точечного стационарного сброса ЗВ в русло реки с прямоугольным поперечным сечением, приведенное в работах [1] – [3], РД 52.24.622. Для перехода к любому объему поступающих в водоток водных масс их можно рассматривать как условный многоточечный сброс, захватывающий определенную часть ширины реки. С целью получения поперечного профиля концентраций в каждом заданном расчетном или контрольном створе ниже поступления ЗВ рассчитывают проекцию совокупного влияния рассматриваемого условного многоточечного сброса ЗВ на распределение концентраций в этом створе.

5.2.3 Перед моделированием разбавления загрязненных вод притоков и сточных вод в водотоке проводят ряд предварительных вычислений.

5.2.3.1 Напорный или рассеивающий выпуски путем специального расчета превращают в условный сосредоточенный сброс, местоположение которого будет находиться в створе начального смешения. Обозначения для параметров расчетного условного сосредоточенного сброса имеют вид:

– расход сточных вод – $q_{усл}$;

– концентрация вещества в сточных водах – $C_{ст(усл)}$;

– расстояние места условного (преобразованного) выпуска сточных вод от устья реки – $L_{т(усл)}$.

Скорость истечения сточной жидкости из оголовка $\upsilon_{ст}$, м/с, в соответствии с [4] рассчитывают по формуле

$$\upsilon_{ст} = \frac{4q_m}{3{,}14\,N_{ог}d_0^2}, \qquad (1)$$

где q_m – расход сточных вод, м^3/с;

$N_{ог}$ – число оголовков;

d_0 – диаметр оголовка, м.

Рассчитывают параметр m_Δ по формуле

$$m_\Delta = \frac{\upsilon_р}{\upsilon_{ст}}, \qquad (2)$$

где $\upsilon_р$ – средняя скорость течения речной воды непосредственно ниже m-го напорного или рассеивающего сброса сточных вод (используется для расчета начального смешения сточных вод), м/с.

Сброс сточных вод считают напорным при условиях

$$m_\Delta \le 0{,}25 \text{ и } \upsilon_{ст} \ge 2 \text{ м/с.} \quad (3)$$

Если хотя бы одно из условий (3) не выполняется, выпуск считают не напорным и не рассеивающим.

Кратность начального разбавления $n_н$ определяют по формуле

$$n_н = \frac{0{,}248 d_в^{\,2} s_n}{1 - m_\Delta}\left(\sqrt{m_\Delta^{\,2} + 8{,}1(1 - m_\Delta)/d_в^{\,2}} - m_\Delta\right), \quad (4)$$

где

$$d_в = \sqrt{\frac{8{,}1}{\frac{0{,}0001\,(1 - m_\Delta)}{0{,}92} + \frac{0{,}2 m_\Delta}{0{,}96}}}, \quad (5)$$

при $\left(\frac{H_m}{d_3}\right)$ от 0 до 0,42 $\quad s_n = 0{,}035 + 1{,}375\left(\frac{H_m}{d_3}\right)$; (6)

при $\left(\frac{H_m}{d_3}\right)$ свыше 0,42 $\quad s_n = 1{,}571 \exp(-0{,}4052/x)$, (7)

где $x = \left(\frac{H_m}{d_3}\right)$; (8)

H_m – средняя глубина речного потока непосредственно ниже m-го напорного сброса сточных вод (используется для расчета начального смешения сточных вод), м.

Диаметр загрязненной струи в створе начального разбавления сточных вод $d_з$ вычисляют по формуле

$$d_з = d_в d_0 . \quad (9)$$

Расчетные параметры условного сосредоточенного сброса составят:

– расход сточных вод $q_{усл}$, $м^3/с$, –

$$q_{усл} = n_н q_m ; \quad (10)$$

– расстояние от места выпуска сточных вод до створа начального смешения сточных вод $l_н$, м, –

$$l_н = \frac{d_з}{0{,}48\left(1 - 3{,}12 m_\Delta\right)} ; \quad (11)$$

– новое условное местоположение рассеивающего выпуска сточных вод $L_{m(усл)}$ составит (в м от устья) –

$$L_{m(усл)} = L_m - l_н, \quad (12)$$

где L_m – расстояние от устья реки до действительного места выпуска сточных вод, м.

5.2.3.2 На предварительном этапе выполняют также следующие вычисления:

– назначают расстояние (шаг) между расчетными створами по длине всей рассматриваемой части реки (максимальным шагом следует считать расстояние равное 500 м, для графического построения более детального профиля изменения концентрации ЗВ по длине водотока величина шага может быть уменьшена);

– рассчитывают средневзвешенные значения средней υ^*_{Km} и максимальной $\upsilon^*_{Km(max)}$ скоростей течения речной воды на расстоянии между m-м источником ЗВ и К-м расчетным или контрольным створом (m-м источником может быть также выделенная загрязненная струя в фоновом створе) по формулам:

$$\upsilon^*_{Km} = \frac{L_{Km}}{\sum_{z=1}^{N_z} \frac{L_{iz}}{\upsilon_{iz}}}, \quad (13)$$

$$\upsilon^*_{Km(max)} = \frac{L_{Km}}{\sum_{z=1}^{N_z} \frac{L_{iz}}{\upsilon_{iz(max)}}}, \quad (14)$$

где L_{Km} – расстояние от m-го источника ЗВ до К-го контрольного или расчетного створа, м;

N_z – число выделенных подучастков на участке L_{Km}, отличающихся по гидроморфометическим характеристикам;

L_{iz} – длина *z*-го подучастка на i-м речном участке с отличающимися гидроморфометрическими данными в пределах участка L_{Km}. м ;

υ_{iz}, $\upsilon_{iz(max)}$ – соответственно средняя и максимальная скорости течения в сечении реки на подучастке L_{iz}, м.

Расчет максимальной скорости течения речной воды от m-го источника ЗВ до К-го створа $\upsilon^*_{Km(max)}$ при отсутствии в исходных данных этого параметра, выполняют по формуле

$$\upsilon^*_{Km(max)} = \frac{\upsilon^*_{Km}}{K_\upsilon}. \quad (15)$$

Данные о коэффициенте K_υ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные о переходном коэффициенте K_υ [5]

Характеристика русла и условий протекания	Коэффициент K_υ при средней глубине, м		
	менее 1	от 1 до 5	более 5
Равнинные реки (большие и средние) с благоприятными условиями протекания	От 0,78 до 0,86	От 0,87 до 0,88	От 0,89 до 0,90
Реки большие и средние с менее благоприятными условиями протекания (значительно засоренные, частично заросшие, извилистые, каменистые, с неспокойным течением)	От 0,70 до 0,77	От 0,78 до 0,85	От 0,86 до 0,87
Реки с ухудшенными условиями протекания (заросли, кочки, местами сточная вода) горные реки с бурным течением	–	От 0,70 до 0,79	От 0,80 до 0,84
Примечание – При отсутствии данных можно принять $K_\upsilon = 0,7$.			

Расчет коэффициента поперечной дисперсии D_{yiz} на i-м участке реки на каждом выделенном z-м подучастке выполняют по формуле согласно Р 52.24.627

$$D_{yiz} = \frac{g\, H_{iz} \upsilon_{iz} \varphi_{iz}^3}{M_{iz} c_{iz}}, \qquad (16)$$

где g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с^2;

H_{iz} – средняя глубина реки на z-м подучастке;

φ_{iz} – коэффициент извилистости реки, представляющий собой отношение длины участка, измеренной по фарватеру, к длине этого же участка, измеренной по прямой (для определения φ_{iz} можно использовать крупномасштабную карту);

c_{iz} – значение коэффициента Шези на z-м подучастке;

M_{iz} – коэффициент, зависящий от c_{iz} (при $10 < c_{iz} < 60$ $M_{iz} = 0,7 c_{iz} + 6$; при $c_{iz} \geq 60$ $M_{iz} = 48$).

Значения коэффициента Шези на z-м подучастке реки определяют с использованием формулы Шези [6]

$$c_{iz} = \frac{\upsilon_{iz}}{\sqrt{H_{iz} I_{iz}}}, \qquad (17)$$

где I_{iz} – гидравлический уклон на z-м подучастке реки (если исходные данные были выражены в промилле, то для расчета по формуле (17) это значение следует разделить на 1000).

Если сведения о гидравлическом уклоне отсутствуют, коэффициент Шези вычисляют по формуле Н.Н. Павловского [6]

$$c_{iz} = \frac{1}{n_ш} R^{\delta}, \quad (18)$$

где R – гидравлический радиус потока на z-м подучастке реки (для летних условий $R \approx H_{iz}$), м;

$n_ш$ – коэффициент шероховатости ложа реки, определяемый для z-х подучастков реки по таблицам 2 и 3;

δ – показатель степени числа R вычисляют по формуле

$$\delta = 2{,}5\sqrt{n_ш} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\left(\sqrt{n_ш} - 0{,}1\right). \quad (19)$$

Таблица 2 – Значения коэффициента шероховатости для открытых русел (по М.Ф. Срибному)

Характер ложа реки	$n_ш$
Реки в весьма благоприятных условиях (чистое прямое ложе со свободным течением, без обвалов и глубоких промоин)	0,025
Реки в благоприятных условиях течения	0,030
Реки в сравнительно благоприятных условиях, но с некоторым количеством камней и водорослей	0,035
Реки, имеющие сравнительно чистые русла, извилистые, с некоторыми неправильностями в направлении струй или же прямые, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камни); некоторое увеличение количества водорослей	0,040
Русла (больших и средних рек) значительно засоренные, извилистые и частично заросшие, каменистые с неспокойным течением. Поймы больших и средних рек сравнительно разработанные, покрытые нормальным количеством растительности (травы, кустарники)	0,050
Порожистые участки равнинных рек. Галечно-валунные русла горного типа с неправильной поверхностью водного зеркала. Сравнительно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек (промоины, кустарники, деревья с наличием заводей)	0,067
Реки и поймы, весьма заросшие (со слабым течением), с большими глубокими промоинами. Валунные, горного типа, русла с бурливым пенистым течением, с изрытой поверхностью водного зеркала (с летящими вверх брызгами воды). Поймы такие же, как предыдущей категории, но с сильно неправильным течением, заводями и пр.	0,080
Горно-водопадного типа русла с крупновалунным строением ложа, перекаты ярко выражены, пенистость настолько сильна, что вода, потеряв прозрачность, имеет белый цвет; шум потока доминирует над всеми остальными звуками, делает разговор затруднительным.	0,100
Характеристика горных рек примерно та же, что и предыдущей категории. Реки болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и пр.). Поймы с очень большими мертвыми пространствами, с местными углублениями, озерами и пр.	1,133

Таблица 3 - Значения коэффициента шероховатости для открытых русел (по Б.В. Полякову)

Категория	Характеристика рек	$n_ш$
I	Реки с песчаным руслом, ровным, без растительности, с незначительным перемещением донных наносов	От 0,02 до 0,023
II	Реки с песчаным извилистым руслом, с большими перемещениями донных наносов, пойма, заросшая травой	От 0,024 до 0,033
III	Пойма, заросшая кустарником или редким лесом	От 0,034 до 0,045
IV	Пойма, заросшая лесом	От 0,046 до 0,060

Для рек в зимний период гидравлический радиус потока $R_{зим}$ составит

$$R_{зим} = 0,5\ H_{iz}. \quad (22)$$

Показатель степени δ вычисляют по формулам:

$$\delta = 1,5\sqrt{n_л} \quad \text{при } R_{зим} \le 1, \quad (23)$$

$$\delta = 1,3\sqrt{n_л} \quad \text{при } R_{зим} > 1, \quad (24)$$

где $n_л$ – коэффициент шероховатости нижней поверхности льда на z-м подучастке реки, определяемый по таблице 4.

Если по длине реки имеются участки с различными морфометрическими характеристиками, то следует использовать для расчета на всех участках, либо только гидравлический уклон, либо коэффициент шероховатости. Это связано с необходимостью при моделировании изменения по длине реки концентраций ЗВ выполнять вычисления средневзвешенных морфометрических характеристик.

Таблица 4 - Значения коэффициента шероховатости нижней поверхности льда [6]

№	Число дней после ледостава	$n_л$
1	10 дней	От 0,150 до 0,050
2	Св. 10 до 20 включ.	От 0,100 до 0,040
3	Св. 20 до 60 включ.	От 0,050 до 0,030
4	Св. 60 до 80 включ.	От 0,040 до 0,015
5	Св. 80 до 110 включ.	От 0,025 до 0,010
Примечание – Для подпертых речных бьефов данные I-й и 2-й строк таблицы, отвечающие рекам в бытовых условиях, следует уменьшить на 15 %, 3-й и 4-й строк - на 35 %. Меньшие значения $n_л$ характерны для гладкого покрова, большие - для ледяного покрова с торосами и шугой.		

Расчет средневзвешенных значений всех приведенных в исходных данных морфометрических характеристик русла реки H_{Km}^{*}, B_{Km}^{*}, $n_{шKm}^{*}$, $n_{лKm}^{*}$, I_{Km}^{*}, $D_{уKm}^{*}$ на участке L_{Km} (участок L_{Km} может включать один или несколько z-ых подучастков) осуществляют по формуле

$$R_{Km}^{*} = \sum_{z=1}^{N_z} \frac{L_{iz} R_{iz}}{L_{Km}}, \qquad (25)$$

где R_{Km}^{*} – средневзвешенное значение искомой характеристики;

N_z – количество использованных для расчета R_{Km}^{*} z-х выделенных характерных подучастков реки;

R_{iz} – значение параметра на z-м выделенном характерном подучастке реки.

5.2.3.3 Далее дополнительно выполняют следующие предварительные вычисления.

Назначают постоянное число вертикалей в расчетных и контрольных створах $N_в$ на первом i-м участке реки. Указанное определение выполняют с учетом следующих условий

$$N_в = 300 \quad \text{при} \quad \frac{Q_з}{q_{m\ (min)}} \le 300, \qquad (26)$$

$$N_в = \frac{Q_з}{q_{m\ (min)}} \quad \text{при} \quad \frac{Q_з}{q_{m\ (min)}} > 300, \qquad (27)$$

где $Q_з$ – расход речной воды в створе на последнем (замыкающем или устьевом) расчетном подучастке реки, м^3/с;

$q_{m\ (min)}$ – наименьший расход воды среди всех учитываемых источников ЗВ на всех рассматриваемых подучастках реки, м^3/с (отсчет местоположения всех учитываемых вертикалей и источников сброса ЗВ в сечении водотока на всем рассматриваемом участке ведут от левого берега).

Время перемещения загрязненных масс воды между источником ЗВ и контрольным или расчетным створом τ_{Km}, сут, рассчитывают по формуле

$$\tau_{Km} = \frac{L_{Km}}{86400\, U_{Km\ (max)}^{*}}. \qquad (28)$$

В фоновом створе сечение условного прямоугольного русла реки разделяют на $N_в$ сегментов с одинаковым расходом воды. Расход воды в сегменте фонового створа $Q_{сф}$ определяют по формуле

$$Q_{сф} = \frac{Q_ф}{N_в}, \quad (29)$$

где $Q_ф$ – расход речной воды в фоновом створе.

Если в фоновом створе выделена загрязненная струя с известной концентрацией ЗВ $C_{фm}$ и расходом речной воды $q_{фm}$, то часть сегментов у соответствующего берега относят к этой струе. Число таких сегментов в фоновом створе $N_{сф}$ с одинаковой концентрацией ЗВ $C_{фm}$ составит

$$N_{сф} = \frac{q_{фm}}{Q_{сф}}. \quad (30)$$

5.2.4 Моделирование изменения концентраций ЗВ вдоль водотока ниже поступления вод источника ЗВ со значительным расходом (расход более 20 % от расхода реки) выполняют по следующему алгоритму.

Количество сегментов в узловом створе принимают равным числу сегментов на предыдущем участке реки плюс сегменты образуемые источником ЗВ в этом узловом створе. Сегменты, образуемые источником ЗВ, с одной и той же концентрацией C_m, будут иметь тот же расход, что и сегменты перенесенные с предыдущего участка (концентрация ЗВ в каждом перенесенном в узловой створ сегменте будет той, которая получилась при расчетах в замыкающем створе на предыдущем участке реки).

Для расчета смешения вод источника ЗВ, поступивших в узловой створ, с речными (этим источником может быть загрязненная струя в фоновом створе, сточные воды, воды притока, воды в каждом загрязненном сегменте, перенесенные в узловой створ из замыкающего створа вышележащего речного участка) предусматривается, что каждый m-й источник разбит на определенное число условно точечных выпусков в виде сегментов в створе реки.

Расход воды в реке перед узловым створом реки Q_{i-1} рассчитывают по формуле

$$Q_{i-1} = B_з H_з \upsilon_з, \quad (31)$$

где параметры $B_з$, $H_з$, $\upsilon_з$ являются характеристиками речного потока в замыкающем створе вышележащего подучастка реки (если таковой выделен) или значениями, установленными в узловом створе вышележащего участка;

Q_{i-1} – расход речной воды на предыдущем участке реки, м^3/с.

Ниже впадения источника ЗВ примерный расчетный расход воды в каждом узловом створе Q_i на i-м участке реки определяют по формуле

$$Q_i = Q_{i-1} + q_m, \quad (32)$$

где q_m – расход воды в m-м существенном источнике ЗВ на рассматриваемом i-м участке реки, м^3/с.

Расход воды в одном сегменте в замыкающем створе предыдущего участка реки перед узловым створом $Q_{c(i-1)}$, м^3/с, определяют по формуле

$$Q_{c(i-1)} = Q_{ci} = \frac{Q_{i-1}}{N_{в(i-1)}}, \quad (33)$$

где Q_{ci} – расход воды в сегменте узлового створа, м^3/с;

$N_{в(i-1)}$ – количество выделенных сегментов в сечении реки на предыдущем речном участке перед узловым створам.

Количество сегментов N_m, занятых в узловом створе источником ЗВ с одинаковой концентрацией ЗВ в сточной воде C_m составит

$$N_m = \frac{q_m}{Q_{c(i-1)}}. \quad (34)$$

Общее число сегментов в узловом створе $N_{вi}$ составит

$$N_{вi} = N_{в(i-1)} + N_m. \quad (35)$$

Ширина одного сегмента B_c в узловом створе, м, будет равна

$$B_c = \frac{B_i}{N_{вi}}, \quad (36)$$

где B_i – ширина реки в узловом створе, м.

Если в узловом створе известен (измерен) фактический расход речной воды $Q_{i(факт)}$ и он существенно отличается от расчетного Q_i, то для корректировки данных в узловом створе дополнительно выполняют следующие расчеты:

- уточняют расход речной воды без влияния m-го источника ЗВ

$$Q'_{i-1} = Q_{i(факт)} - q_m; \quad (37)$$

- уточняют расход воды в одном сегменте в узловом и замыкающем створах предыдущего участка реки

$$Q_{c(i-1)} = Q_{ci} = Q'_{i-1} / N_{в(i-1)}; \quad (37а)$$

- уточняют количество сегментов N_m, занятых в узловом створе источником ЗВ

$$N_m = \frac{q_m}{Q_{ci}}. \quad (37б)$$

Расстояние в сечении реки от левого берега до середины каждого n-го условно точечного выпуска (сегмента) y_n вычисляют с использованием следующих формул.

Если сброс источника ЗВ осуществляется в часть сечения реки ближней к левому берегу $y_m \le 0{,}5B_i$, то расстояние от левого берега до середины первого условно точечного m-го источника ЗВ y_p, м, рассчитывают по формуле

$$y_p = y_m - 0{,}5\,B_c N_m, \quad (38)$$

если при расчете по формуле (38) получилось, что $y_p < B_c$ (в том числе при отрицательном значении y_p), то принимают

$$y_p = 0{,}5B_c, \quad (38а)$$

где y_m – расстояние от левого берега до точки сброса m-го источника ЗВ, при выпуске непосредственно с левого берега $y_m = 0$; с правого берега – $y_m = B_i$, м (здесь условно принимается, что сброс m-го источника происходит как бы в одну точку сечения реки с последующим расширением загрязненной струи по ширине реки в узловом створе, т.е. загрязненный поток от источника ЗВ как бы разворачивается на 90 градусов и, если $y_m = 0$, то 1-й сегмент потока ЗВ займет 1-й сегмент реки, а последний соответственно N_m, при этом основной поток реки вытесняется в сторону противоположного берега).

Ширина реки, занимаемая источником ЗВ в узловом створе, составляет $B_c \cdot N_m$.

Расстояние в сечении реки от левого берега до середины каждого n-го условно точечного выпуска y_n m-го источника ЗВ, м, вычисляют по формуле

$$y_n = y_p + (N_n - 1)B_c, \quad (39)$$

где N_n – номер очередного условно точечного сброса из их общего количества N_m.

Если сброс источника ЗВ осуществляется в часть сечения реки ближней к правому берегу реки, т.е. соответствует условию

$$y_m > 0{,}5\,B_i, \quad (39а)$$

то расстояние y_p, м, от левого берега до середины первого условно точечного m-го источника, также рассчитывают по формуле (38).

Ограничением использования формулы (38) для расчета величины y_p служит условие попадания крайнего к правому берегу сегмента сброса в последний сегмент реки (или даже на берег), т.е.

$$y_p \geq B_i - B_c (N_m - 0{,}5). \quad (40)$$

При выполнении условия (40) расстояние от левого берега до середины первого условно точечного m-го источника y_p определяют по выражению

$$y_p = B_i - B_c (N_m - 0{,}5). \quad (41)$$

Расстояние от левого берега до середины n-го условно точечного выпуска m-го источника, расположенного ближе к правому берегу y_n, м, определяют по формуле (39).

Для размещения в узловом створе сегментов со своими концентрациями выполняют следующие операции.

Нумеруют все сегменты в створе, замыкающем предыдущий участок реки, начиная от левого берега.

Число незаполненных сегментов $N_{своб}$ источником ЗВ у левого берега составит

$$N_{своб} = \frac{y_p - 0{,}5B_c}{B_c}. \quad (42)$$

Соответственно у левого берега помещаются сегменты из вышележащего створа с номерами не более $N_{своб}$. Оставшимся сегментам, перемещаемым из замыкающего створа, присваиваются другие номера в виде

$$N_{mj} = N'_{mj} + N_{своб} + N_m \quad (42а)$$

(N_{mj} – новый номер сегмента при переводе его в узловой створ; N'_{mj} – номер j-го сегмента в замыкающем створе предыдущего участка реки) и размещают их в соответствующем порядке по направлению к правому берегу вслед за сегментами, занятыми источником ЗВ.

В случае сброса сточных вод в виде рассеивающего выпуска с расходом, существенно влияющим на расход реки ниже сброса, створ сброса также относят к узловому створу. При этом следует учитывать особенности размещения в русле реки сегментов преобразованного рассеивающего выпуска в обычный сброс.

Число таких сегментов N_m, занятых преобразованным сбросом с одинаковой концентрацией $C_{ст(усл)}$, в новом условном узловом створе, расположенном ниже узлового на расстоянии начального смешения рассеивающего сброса сточных вод, составит

$$N_m = \frac{q_{усл}}{Q_{с(i-1)}}, \quad (43)$$

где $Q_{с(i-1)}$ – расход речной воды в одном сегменте предыдущего участка реки, определяемый аналогично указанному для формул (31-33).

При наличии в узловом створе измеренного фактического расхода речной воды $Q_{i(факт)}$ параметры $Q_с$ и N_m уточняют с использованием формул (37), (37а), (37б).

Значение параметра N_m, полученное по формуле (42 а) или (43), округляют до целого числа (при принятых условиях выделения узлового створа в русле реки влияние такого округления на общий расход при сложении расходов воды во всех сегментах узлового створа составит не более десятых процента).

Число сегментов в сечении реки в узловом створе, занятых непреобразованным рассеивающим сбросом N_m', должно было бы составить

$$N_m' = \frac{q_m}{Q_{с(i-1)}}. \quad (44)$$

Число сегментов в замыкающем створе выше расположенного участка, которые следует исключить из расчета при переносе в новый узловой створ $N_{иск}$, будет равно (эта часть сегментов в сечении реки была задействована в начальном разбавлении сточных вод)

$$N_{иск} = N_m - N_m'. \quad (45)$$

Общее число сегментов в новом узловом створе будет равно

$$N_{вi} = (N_{в(i-1)} - N_{иск}) + N_m. \quad (45а)$$

Исключение полученного числа сегментов по формуле (45) в замыкающем створе предыдущего участка реки выполняют по сторонам от вертикали, расположенной в середине местоположения рассеивающего выпуска сточных вод в замыкающем створе. В случае нечетного числа исключаемых сегментов нечетный исключаемый сегмент берется из сегментов, расположенных по направлению к берегу ближе к месту (точке) сброса сточных вод (точке y_m). При напорном выпуске с берега исключение полученного по формуле (45) числа речных сегментов, участвующих в начальном разбавлении сточных вод, проводят от того берега, где расположен напорный выпуск. Оставшиеся после исключения сегменты в замыкающем створе предыдущего речного участка перенумеровывают и переносят в условный узловой створ с соответствующих сторон от сегментов, занятых расчетным условным сбросом (см.

формулы (38)-(41)). Общий расход реки в условном узловом створе будет равен сумме расходов в полученных сегментах в этом створе.

Приведенную (условную) концентрацию ЗВ в сточных водах $C_{ст(усл)}$ в створе начального смешения напорного или рассеивающего выпуска сточных вод (в сегментах, занимаемых преобразованным рассеивающим сбросом сточных вод в условном узловом створе) определяют по формуле

$$C_{ст(усл)} = C_{Kjr} + \frac{C_m - C_{Kjr}}{n_н}, \quad (46);$$

где C_{Kjr} – концентрация ЗВ непосредственно выше места напорного или середины рассеивающего выпуска сточных вод в замыкающем створе предыдущего речного участка, мг/л;

C_m – концентрация ЗВ в напорном или рассеивающем выпуске сточных вод, мг/л;

$n_н$ – кратность начального разбавления сточных вод, полученная по формуле (4).

На заключительном этапе расчета по данным, полученным для узлового или фонового створа реки, определение концентраций ЗВ для каждого выделенного К-го расчетного или контрольного створа в пределах i-го участка реки ведут по формулам:

а) без учета суммарных коэффициентов скорости самоочищения

$$C_{jK} = C_{min} + \sum_{n=1}^{N_{pc}} (C_{pn} - C_{min}) \cdot \psi_{pKjn} + \sum_{n=1}^{N_{mc}} (C_{mn} - C_{min}) \cdot \psi_{mKjn}; \quad (47);$$

б) с учетом самоочищения в формуле (47) заменяют параметры C_{min} на C_{min}^*, C_{mn} на C_{mn}^* и C_{pn} на C_{pn}^*, которые определяют по формулам (47а), (47б), (47в):

$$C_{min}^* = C_{p(nz)} + (C_{min} - C_{p(nz)}) \exp(-\gamma_p K_{sp} \tau_{Km}), \quad (47а)$$

$$C_{p.n}^* = C_{p(nz)} + (C_{pn} - C_{p(nz)}) \exp(-\gamma_p K_{sp} \tau_{Km}), \quad (47б)$$

$$C_{m.n}^* = C_{m(nz)} + (C_{mn} - C_{m(nz)}) \exp[-\gamma_m K_{sm} (\tau_{Km} - \tau_{зм})], \quad (47в)$$

где C_{jK} – концентрация вещества в j-ой вертикали (сегменте) в К-м расчетном створе;

C_{min} – минимальная концентрация ЗВ в узловом створе из всех имеющихся, мг/л;

N_{pc} – число сегментов в узловом створе, занятых речными водами, поступившими с вышерасположенного i-го участка реки;

C_{pn} – концентрация ЗВ, поступившего с вышележащего участка реки в n-й сегмент узлового створа, мг/л;

ψ_{pKjn} – коэффициент смешения в n-м сегменте узлового створа, связанного с речной водой вышерасположенного i-го участка реки, рассчитанный для j-ой вертикали расчетного или контрольного створа;

N_{mc} – число сегментов в узловом створе, занятых m-м источником ЗВ;

C_{mn} – концентрация ЗВ, поступившего от m-го источника ЗВ в n-й сегмент узлового створа (в случае рассеивающего выпуска $C_{mn} = C_{ст(усл)}$), мг/л;

ψ_{mKjn} – коэффициент смешения в n-м сегменте узлового створа, связанного с m-м источником ЗВ, рассчитанный для j-ой вертикали расчетного или контрольного створа;

$C_{p(nz)}$ – концентрация ЗВ, поступившего с вышележащего участка реки в узловой створ, до которой реально может происходить снижение его содержания в воде водотока на речном участке ниже рассматриваемого узлового створа, мг/л;

Примечание – Если на первом i-м участке реки в фоновом створе выделена загрязненная струя, то она рассматривается как сброс сточных вод в узловом створе и соответственно в формуле (47) для нее используются обозначения аналогичные обозначениям в третьем слагаемом этой формулы.

K_{sp} – суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, поступившего с вышележащего участка реки в узловой створ, 1/сут;

$C_{m(nz)}$ – концентрация ЗВ, обнаруженного в m-м источнике, до которой реально может происходить снижение его содержания в воде водотока на речном участке ниже этого источника, мг/л;

K_{sm} – суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, поступившего со сточными водами m-го источника ЗВ, 1/сут;

γ_p, γ_m – соответственно поправочные коэффициенты для параметров K_{sp} и K_{sm} (по умолчанию принимаются равными единице);

$\tau_{зм}$ – время задержки процесса самоочищения ЗВ, поступающего от m-го источника (или с выделенной загрязненной струей в фоновом створе), сут (по умолчанию принимается равной единице).

Назначение численных значений параметров $C_{p(nz)}$, $C_{m(nz)}$ имеет большое значение. Как правило, они должны назначаться в результате анализа качества речных вод на всем рассматриваемом i-м участке и быть ниже или равными концентрации C_{min}.

Параметр ψ_{Kjn} определяют по формуле

$$\psi_{Kjn} = \frac{Q_{ci}}{2H^*_{Km}\sqrt{\pi\gamma^*_{D\,yKm} D^*_{yKm}\upsilon^*_{Km} L_K}}\left[\exp\left(-\frac{(y_{Kj}-y_n)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm} D^*_{yKm}L_K}\right)+\right.$$

$$+\left[\exp\left(-\frac{(y_{Kj}+y_n)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm} D^*_{yKm}L_K}\right)+\exp\left(-\frac{(2B^*_{Km}-y_{Kj}-y_n)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm} D^*_{yKm}L_K}\right)+\right.$$

$$\left.+\exp\left(-\frac{(-2B^*_{Km}-y_{Kj}+y_n)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm} D^*_{yKm}L_K}\right)\right]+$$

$$\left.+\exp\left(-\frac{(2B^*_{Km}-y_{Kj}+y_n)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm} D^*_{yKm}L_K}\right)+\exp\left(-\frac{(-2B^*_{Km}-y_{Kj}-y_n)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm} D^*_{yKm}L_K}\right)\right], \quad (48)$$

где Q_{ci} – расход воды в сегменте узлового створа, м^3/с;

y_{Kj} – расположение j-й вертикали (центра сегмента) в К-м расчетном или контрольном створе на расстоянии от левого берега, м;

y_n – расположение середины n-го сегмента в узловом створе (для напорного или рассеивающего сброса - в смещенном новом узловом створе) от левого берега, м;

$\gamma^*_{D\,yKm}$ – поправочный коэффициент для параметра D^*_{yKm} (по умолчанию принимается, равным единице);

L_K – расстояние между узловым створом и К-м контрольным или расчетным створом, м.

Обязательными условиями использования формул (47), (48) являются следующие:

- если в результате расчета значение C_{jK} оказалось больше максимального из значений C_{mn} или C_{pn}, то C_{jK} приравнивается большему из этих максимальных значений;
- если (без учета суммарных коэффициентов самоочищения)

$$C_{jK(max)} \le \frac{q_m C_m + Q_{c(i-1)} \sum^{N_{pc}} C_{pn}}{q_m + Q_{i-1}}, \quad (49)$$

то во всех j-х вертикалях в рассматриваемом К-м расчетном или контрольном створе и во всех вертикалях последующих расчетных и контрольных створов до очередного узлового створа принимают (здесь имеется ввиду наличие условий практически полного смешения речных и сточных вод)

$$C_{jK} = \frac{q_m C_m + Q_{c(i-1)} \sum^{N_{pc}} C_{pn}}{q_m + Q_{i-1}}, \qquad (49а)$$

где $C_{jK(max)}$ – максимальная концентрация ЗВ К-м расчетном или контрольном створе реки ниже источника ЗВ в узловом створе;

C_m – концентрация ЗВ в источнике m;

N_{pc} – число выделенных сегментов на предыдущем перед рассматриваемым узловым створом речном участке.

При расчетах с учетом суммарных коэффициентов самоочищения в формулах (49), (49а) следует провести соответствующие замены параметра C_{pn} на C_{pn}^*, (см. формулы (47а), (47в)). В случае наличия измеренного (фактического) значения расхода речной воды в узловом створе выполняют уточняющие расчеты параметра $Q_{c(i-1)}$ (см. формулу (37а)), а параметр Q_{i-1} заменяют на параметр Q'_{i-1} (см. формулу (37)).

5.2.5 В случае поступления ЗВ внутри выделенного i-го участка реки с водами небольшого притока или со сбросом сточных вод с небольшим расходом моделирование трансформации ЗВ вниз по течению реки выполняют с учетом следующих условий. Сегменты, образуемые источником ЗВ, условно размещаются в соответствующем месте (створе) русла реки без изменения его параметров. Далее вниз по течению реки для каждого расчетного или контрольного створа рассчитываются средневзвешенные характеристики русла реки с учетом длин выделенных подучастков с разными морфометрическими характеристиками (см. формулы (13)-(25)) (при полном отсутствии выделенных подучастков используются параметры русла реки в верхнем узловом створе рассматриваемого участка).

Примечание – Рассеивающие выпуски сточных вод с небольшим расходом предварительно превращают в условные сосредоточенные сбросы с использованием формул (1)-(12).

Для расчета коэффициентов смешения ψ_{Kj} каждый m-й источник ЗВ разбивают на определенное число условно точечных выпусков (в виде сегментов в русле реки в створе впадения этого источника), общее число которых определяют по формуле

$$N_m = \frac{N_в \cdot q_m}{B_з^* \cdot H_з^* \cdot \upsilon_з^*}, \qquad (50)$$

где параметры $B_з^*$, $H_з^*$, $\upsilon_з^*$ являются средневзвешенными значениями в замыкающем створе вышележащего подучастка реки (если таковой выделен) перед сбросом сточных вод (или впадением притока) или значениями, установленными в узловом створе рассматриваемого i-го участка реки;

$N_в$ – число сегментов в узловом створе рассматриваемого i-го участка реки (для первого участка - число сегментов в фоновом створе, для других участков – число сегментов в соответствующем узловом створе).

Примечание – Все значения N_m, определяемые по формуле (50), следует округлять до целого числа.

Расстояние в сечении реки от левого берега до середины каждого n-го условно точечного выпуска y_n вычисляют с использованием следующих формул.

Расстояние от левого берега до середины первого условно точечного выпуска m-го источника ЗВ y_p, м, будет равно

$$y_p = y_m - 0{,}5B_c N_m, \quad \text{при} \quad y_m \le 0{,}5B_з, \qquad (51)$$

где y_m – расстояние от левого берега до m-го источника ЗВ; при выпуске непосредственно с левого берега $y_m = 0$, с правого берега – $y_m = B_з^*$, м (здесь условно принимается, что сброс m-го источника происходит как бы в одну точку сечения реки с последующим расширением загрязненной струи по ширине реки, т.е. загрязненный поток от источника ЗВ как бы разворачивается на 90 градусов и, если $y_m = 0$, то 1-й сегмент потока сточных вод условно будет находиться в 1-м сегменте реки у левого берега, а последний, соответственно, в N_m-м);

B_c – ширина одного сегмента в узловом створе, м,

$$B_c = \frac{B_з^*}{N_{вi}}; \qquad (51а)$$

$B_з^*$ – средневзвешенное значение ширины реки в замыкающем створе вышележащего подучастка реки (если таковой выделен) или ширина реки в верхнем узловом створе этого участка, м;

Если оказалось, что $y_p < B_c$, то принимают

$$y_p = 0{,}5B_c \quad . \qquad (52)$$

Расстояние в сечении реки от левого берега до середины каждого n-го условно точечного выпуска y_n m-го источника ЗВ составит

$$y_n = y_p + (N_i - 1)B_c, \quad (53)$$

где N_i – номер очередного условно точечного сброса из их общего количества N_m.

Если сброс источника ЗВ осуществляется в часть сечения реки ближе к правому берегу реки, т.е. в соответствии с условием

$$y_m > 0{,}5B_з^*,$$

то расстояние y_p, м, от левого берега до середины первого условно точечного источника, также рассчитывают по формуле (51). Однако, если соблюдается условие

$$y_p + N_m B_c \geq B_з^* - B_c, \text{ или иначе } y_p \geq B_з^* - B_c - N_m B_c, \quad (54)$$

то расстояние от левого берега до середины первого условно точечного источника определяют по выражению

$$y_p = B_з^* - N_m B_c + 0{,}5B_c = B_з^* - B_c(N_m - 0{,}5). \quad (55)$$

Расстояние от левого берега до середины n-го условно точечного выпуска m-го источника, расположенного ближе к правому берегу $y_{0,n}$, м, определяют по формуле (53).

Расход воды в одном условно точечном выпуске q_{mn} m-го источника вычисляют по формуле

$$q_{mn} = \frac{q_m}{N_m}. \quad (56)$$

Примечание - Концентрация ЗВ в каждом условно точечном выпуске m-го источника считается одинаковой, равной C_m.

Расчет коэффициента смешения ψ_{Kj} вод m-го источника в К-м расчетном или контрольном створе в j-ой вертикали на рассматриваемом i-м участке выполняют по формуле

$$\psi_{Kj} = \sum_{n=1}^{N_{Kj}} \psi_{n\,Kj}, \quad (57)$$

где N_{Kj} – число j-х вертикалей в К–м расчетном или контрольном створе.

$$\psi_{n_{Kj}} = \frac{q_{mn}}{2H^*_{Km}\sqrt{\pi\gamma^*_{D\,yKm}\,D^*_{yKm}\,\upsilon^*_{Km}\,L_{Km}}}\left[\exp\left(-\frac{\left(y_{Kj}-y_n\right)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm}\,D^*_{yKm}L_{Km}}\right)+\right.$$

$$+\exp\left(-\frac{\left(y_{Kj}+y_n\right)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm}\,D^*_{yKm}L_{Km}}\right)+\exp\left(-\frac{\left(2B^*_{Km}-y_{Ki}-y_n\right)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm}\,D^*_{yKm}L_{Km}}\right)+$$

$$+\exp\left(-\frac{\left(-2B^*_{Km}-y_{Kj}+y_n\right)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm}\,D^*_{yKm}L_{Km}}\right)+\exp\left(-\frac{\left(2B^*_{Km}-y_{Kj}+y_n\right)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm}\,D^*_{yKm}L_{Km}}\right)+$$

$$\left.+\exp\left(-\frac{\left(-2B^*_{Km}-y_{Kj}-y_n\right)^2\upsilon^*_{Km}}{4\gamma^*_{D\,yKm}\,D^*_{yKm}L_{Km}}\right)\right]. \qquad (58)$$

Примечание – Звездочка у параметров, характеризующих русло реки, обозначает, что они берутся как средневзвешенные с учетом выделенных по морфометрическим характеристикам подучастков реки.

Обязательными условиями использования формулы (58) являются следующие: если $\psi_{Kj} > 1$, то следует принимать $\psi_{Kj} = 1$; если в результате расчета в заданном створе максимальное из всех значений ψ_{Kj} соответствует неравенству

$$\psi_{Kj(max)} \le \frac{q_m}{B^*_{Km}H^*_{Km}\upsilon^*_{Km}}, \qquad (59)$$

то принимается, что для всех значений ψ_{Kj} в этом створе и других нижележащих до очередного узлового створа

$$\psi_{Kj} = \frac{q_m}{B^*_{Km}H^*_{Km}\upsilon^*_{Km}}. \qquad (60)$$

Используя полученные значения ψ_{Kj}, рассчитывают концентрации ЗВ в каждой j-й вертикали в К-ом расчетном или контрольном створе ниже рассматриваемого m-го источника ЗВ на основе ранее полученных данных для этих вертикалей в связи с влиянием фонового содержания

ЗВ и влияния сбросов ЗВ от других вышележащих источников по формуле

$$C_{Kj} = C^*_{Kj} + [C_{m(nz)} + (C_m - C_{m(nz)})\, e^{-\gamma_m K_{sm}(\tau_{Km} - \tau_{3m})} - C^*_{Kj}]\psi_{Kj}, \qquad (61)$$

где C^*_{Kj} – концентрация ЗВ в j-й вертикали в рассматриваемом К-ом створе ниже m-го источника сформировавшаяся за счет влияния фоновой концентрации и суммарно от каждого предыдущего источника ЗВ на рассматриваемом i-м участке реки.

Примечание - Предполагается, что $C_{m(nz)} \le C_m$ и $C_{m(nz)} \ge C_{ан}$, где $C_{ан}$ нижний предел определения рассматриваемого ЗВ используемым методом химического анализа, мг/л; (при моделировании специальная проверка указанных условий программными средствами не проводится); по умолчанию принимается, что $C_{m(nz)} = 0$.

Для представления продольного профиля изменения максимальных концентраций ЗВ по длине реки используют полученные в К-х расчетных и контрольных створах максимальные значения C^*_{Kj}.

5.2.6 Помимо основных, выполняют следующие дополнительные расчеты.

Уровень смешения речных и сточных вод $P_{см}$, %, сбрасываемых по одному выпуску, по длине реки определяют по формуле

$$P_{см} = \frac{C_{сред}}{C_{макс}} 100, \qquad (62)$$

где

$$C_{сред} = \frac{q_m C_m + Q_p C_p}{q_m + Q_p}; \qquad (63)$$

$C_{макс}$ – максимальная концентрация ЗВ в рассматриваемом створе реки, мг/л;

q_m – расход сточных вод, м^3/с;

C_m – концентрация вещества в m-м рассматриваемом выпуске сточных вод, мг/л;

Q_p – расход речной воды выше сброса сточных вод, м^3/с;

C_p – содержание вещества в реке выше рассматриваемого сброса сточных вод, мг/л.

За створ практически полного смешения загрязненных масс воды с речными в зависимости решаемых задач принимают створ, где $P_{см}$ = 85 %, либо $P_{см}$ = 98 % (по результатам моделирования в каждом заданном контрольном или расчетном створе степень смешения совокупности загрязненных вод с речными определяется автоматически).

Расчетный створ, в сечении которого минимальная концентрация ЗВ впервые превысит фоновую, принимают за створ касания загрязнен-

ной струи, образовавшейся в результате сброса ЗВ с противоположного берега от вышерасположенных источников (источники с небольшими концентрациями ЗВ в результате их высокого разбавления для решения данной задачи могут оказаться непоказательными).

В контрольных створах рассчитывают невязку (разницу) между расчетными и наблюденными концентрациями ЗВ в максимально загрязненной струе. С одной стороны, эти данные являются результатом неточности расчета и использования в математической модели поправочных коэффициентов, характеризующих скорость трансформации ЗВ по длине реки; с другой стороны, невязка может характеризовать погрешность полученных результатов моделирования, обусловленную влиянием на формирование ЗВ неучтенных источников поступления ЗВ в водоток или факторов, способствующих их интенсивному изъятию из водотока (например, в результате неучтенного забора загрязненных масс воды).

В случае относительно небольших значений невязки (в пределах от 10 % до 20 %) можно выполнять корректировку поправочных коэффициентов без анализа входных и выходных данных. При более значительных невязках желательно предварительно попытаться выявить и устранить причины их появления. Во всех случаях целесообразно проводить оценку зависимости численных значений невязки от выделяемых сезонов года, расхода или температуры воды в водотоке.

6 Организация наблюдений за трансформацией ЗВ по длине водотока с учетом результатов моделирования происходящих процессов при стационарном поступлении ЗВ в водный объект

6.1 Этапы усовершенствования организации наблюдений за трансформацией ЗВ по длине водотока

6.1.1 Первый этап заключается в проведении математического моделирования трансформации осредненных значений ЗВ в пределах заданного периода в годовом цикле на водных объектах, начиная с основных рек бассейнов по имеющимся результатам режимных наблюдений с использованием рассчитанных ориентировочных коэффициентов и параметров модели.

Исходными данными для моделирования за конкретный сезон или год являются:

– средние значения морфометрии основного русла реки за рассматриваемый период годового цикла;

– средние расходы воды в имеющихся основных притоках первого порядка в этот период и сбросов сточных вод (по данным из согласованных проектов НДС или паспортов пунктов наблюдения по гидрохимическим показателям);

– медианные концентрации ЗВ в фоновом и контрольных створах на рассматриваемом речном участке в выбранный для моделирования период годового цикла.

Крайне желательно, чтобы пробы речной воды в фоновом и контрольных створах были отобраны в максимально загрязненной струе. Отбор проб воды должен проводиться в периоды устойчивой «сухой» погоды (в периоды выпадения осадков должны проводиться специальные наблюдения с учетом характера нестационарного поступления ЗВ в водный объект). В выбранном расчетном периоде в фоновом и контрольных створах должно быть не менее четырех результатов наблюдений.

В результате первого этапа моделирования получают:

– выделенные основные источники загрязнения воды по длине водотока;

– предварительно выделенные зоны загрязнения воды вдоль водотока с учетом сложившегося совокупного влияния источников загрязнения (участки, где концентрация ЗВ превышает ПДК, ВЗ, ЭВЗ или фоновую концентрацию);

– предварительно выделенные зоны влияния отдельных источников ЗВ при различных сценариях водного режима реки и режима сброса ЗВ от других источников (моделирование с исключением и без исключения влияния отдельных источников ЗВ, в узловых створа - с изменением концентраций в источнике ЗВ и морфометрических характеристик как в источнике ЗВ, так и на речном участке ниже источника);

– предварительно выделенные зоны практически полного смешения загрязненных вод, поступающих от отдельных источников (на уровне их 85 % и 98 % смешения с речной водой), а также мест касания загрязненных масс воды противоположного берега реки.

Примечание – Для действующих выпусков сточных вод целесообразно использовать информацию из согласуемых проектов нормативов допустимых сбросов веществ в водные объекты, где имеются измеренные в течение 1-3 лет концентрации ЗВ в сточных водах и их фактические среднегодовые расходы (это реально доступный в настоящее время объективный источник информации для управлений и центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).

Учитывая результаты первого этапа моделирования, проводят корректировку действующей системы наблюдений: в контрольных створах, помимо имеющихся вертикалей наблюдения, обязательно дополнительно планируют отбор проб воды в максимально загрязненной струе. В случае необходимости моделирования с получением уточненной информации о трансформации ЗВ по длине реки на сравнительно небольших речных участках (например, для оценки влияния сброса сточных вод конкретного предприятия на качество речной воды) планируют и проводят рекогносцировочные наблюдения с отбором проб воды

с учетом времени добегания загрязненных масс воды между контрольными створами с использованием максимальных скоростей течения речной воды.

6.1.2 Второй этап – подтверждение (проверка объективности) выделения путем моделирования основных источников ЗВ и возможных зон загрязнения водотоков (оценка выполняется с учетом медианных концентраций ЗВ, полученных за рассматриваемый период в максимально загрязненной струе речного потока) по результатам откорректированной системы наблюдений. Выявление невязки между расчетными и наблюденными данными. Определение возможных причин появления высоких значений невязки.

6.1.3 Третий этап – планирование и проведение более детальных специальных (дополнительных) наблюдений для оценки или уточнения параметров самоочищающей способности воды водотока (для определения или уточнения на этой основе значений поправочных коэффициентов математической модели трансформации ЗВ), а также выполнение дополнительных рекогносцировочных наблюдений для установления причин появления высоких значений невязки между расчетными и наблюденными данными.

6.1.4 Четвертый этап – основная корректировка коэффициентов и параметров модели по полученным данным в результате специальных и режимных наблюдений. Проведение математического моделирования с использованием уточненных характеристик математических моделей. Определение значимости (в том числе путем моделирования) оставшихся неучтенных источников ЗВ в том числе возможных нестационарных сбросов ЗВ.

На этом предварительные этапы наблюдений заканчиваются.

6.1.5 Пятый этап – основная (официальная) с соответствующим обоснованием корректировка организации режимных наблюдений на основании полученных результатов наблюдений и математического моделирования. Корректировка (при необходимости) наблюдений за режимом ЗВ в основных источниках загрязнения (прежде всего в основных притоках первого порядка) и расширение числа наблюдений во времени и по длине реки на проблемных участках водотока, в том числе организация специальных наблюдений на участках возможного значительного влияния на качество речной воды нестационарных сбросов ЗВ. На данном этапе результаты натурных наблюдений с использованием математического моделирования изменения качества воды по длине реки можно представлять заинтересованным потребителям информации.

6.1.6 На последующих этапах, после основной корректировки режимных наблюдений, указанная процедура организации наблюдений и математического моделирования может повторяться, начиная с проблемного этапа в создавшихся новых условиях формирования качества воды в реке.

В конечном счете, в результате рассмотренного подхода становится возможной обоснованная оптимизация действующей системы наблюдений на рассмотренном водном объекте с повышением ее представительности и разрешающей способности.

Далее, используя результаты проведенных откорректированных наблюдений и математического моделирования на основной реке, можно планировать организацию аналогичных процедур моделирования и усовершенствования наблюдений на наиболее важных по степени влияния на качество воды в основной реке притоках.

6.2 Обработка результатов моделирования

Выделение основных источников загрязнения речной воды и зон их влияния выполняют на основании результатов моделирования изменения содержания ЗВ в максимально загрязненной струе по длине водотока. Для осуществления данной цели выполняют построение и анализ графиков изменения минимальных, средних и максимальных концентраций ЗВ по длине водотока по результатам моделирования. Изменение качества воды по длине реки оценивается по концентрации ЗВ в максимально загрязненной струе (по максимальным концентрациям ЗВ в контрольных и расчетных створах реки).

Расчетным путем по полученным поперечным профилям концентрации ЗВ в расчетных и контрольных К-х створах реки выделяют зоны возможного практически полного смешения речных и загрязненных вод, поступающих от отдельных источников (на уровне 85 % и 98 % или другом заданном уровне смешения вод), а также мест касания загрязненной струи, образуемой отдельными источниками с противоположного берега реки.

Для построения графиков продольного профиля изменения максимальных концентраций ЗВ по длине реки используют полученные в К-х створах максимальные значения параметра C_{Kj}.

При наличии в контрольных створах фактических результатов наблюдения в максимально загрязненной струе проводят сравнение этих данных с результатами расчета концентрации ЗВ в этой струе. Полученную невязку анализируют и используют, либо для получения поправочных коэффициентов $\gamma_{D_{yKm}}$ для одного или нескольких участков реки ниже сброса сточных вод, либо для получения поправочных коэффициентов γ_m и γ_p, корректирующих суммарную скорость самоочищения речных вод от ЗВ, поступающего от каждого конкретного источника ЗВ или от ЗВ, поступившего на рассматриваемый речной участок с вышерасположенного участка, либо используют ее в качестве погрешности результатов моделирования изменения концентрации ЗВ по длине реки.

Если рассчитанные данные существенно не совпадают с данными натурных наблюдений, то выясняют причины такого несовпадения. Если фактические (наблюденные) данные выше расчетных, то проверяют две версии:

а) возможное наличие на рассматриваемом участке реки неучтенных источников ЗВ;

б) в модели преувеличено значение суммарного коэффициента скорости самоочищения K_{sm} или K_{sp} или коэффициента поперечной дисперсии D_{yKm}, обуславливающего интенсивность разбавления сточных вод на участке реки ниже источника ЗВ.

Если фактические данные ниже расчетных, то причиной могут быть:

– не включена в расчет дополнительная разбавляющая способность вод неучтенных притоков;

– использованы заниженные значения суммарных коэффициентов самоочищения ЗВ, поступивших от отдельных источников;

– занижены значения коэффициентов поперечной дисперсии на участке смешения сточных и речных вод;

– имеется забор из водотока загрязненных масс воды.

Для выбора способа учета или уточнения получаемых результатов моделирования путем введения поправочных коэффициентов следует проанализировать также все результаты наблюдений и моделирования, полученные в различные годы и сезоны годового цикла.

Если имеется ряд результатов натурных наблюдений в контрольном створе и результатов моделирования при различных гидрологических условиях, то может быть получена достоверная статистическая связь между значениями поправочных коэффициентов (или значениями самой невязки) и расходом или температурой речной воды. При отсутствии такой связи из полученного ряда поправочных коэффициентов можно выбрать их гарантированные значения и вновь провести расчеты трансформации ЗВ по длине реки. Оставшиеся после этого невязки можно считать погрешностью результатов моделирования соответствующих среднесезонных или среднегодовых концентраций ЗВ в максимально загрязненной струе в соответствующем контрольном створе. Ошибка среднего значения таких поправочных коэффициентов или непосредственно самой невязки S_K за рассмотренный многолетний период при вероятности Р=95 % может быть рассчитана для каждого интересуемого контрольного створа по формуле.

$$S_K = \pm \frac{\sigma_K t_{St}}{\sqrt{n_K}}, \qquad (64)$$

где σ_K – стандартное отклонение для значений рассматриваемого поправочного коэффициента или невязки за расчетный период;

t_{St} – значение коэффициента Стьюдента при Р= 95 %;

n_K – количество имеющихся значений рассматриваемого поправочного коэффициента или невязки за расчетный период.

6.3 Проведение специальных (дополнительных) наблюдений для корректировки параметров математической модели трансформации ЗВ по длине водотока

6.3.1 Для больших и средних рек на участке смешения загрязненных масс воды в большинстве случаев главным фактором снижения содержания значительных количеств ЗВ, поступивших от их источников, является разбавление.

Для проведения специальных наблюдений с целью получения фактических коэффициентов поперечной дисперсии вначале расчетным путем по математической модели определяют участки реки, где происходит 85 %-е смешение вод и где загрязненные массы воды достигают противоположного берега от места поступления ЗВ. В качестве трассера, характеризующего процесс смешения вод, используют относительно консервативное вещество (или специального сбрасываемый трассер в источник ЗВ, согласно Р 52.24.627), содержание которого в источнике значительно превышает его фоновое содержание в водотоке (предполагается, что в фоновом створе вещества либо нет, либо оно содержится в небольшой концентрации и распределено относительно равномерно по сечению реки) и другие наиболее характерные для рассматриваемого сброса неконсервативные ЗВ.

Для малых и средних рек, имеющих неширокое русло, наиболее подходящим для рассматриваемого исследования является бесприточный участок реки, расположенный ниже створа касания загрязненных масс воды противоположного берега водотока, на больших реках – бесприточный участок от места сброса до створа указанного касания. На выбранном участке в качестве места отбора проб воды берут фоновый створ, расположенный вне зоны влияния рассматриваемого источника ЗВ, створ, расположенный непосредственно в источнике сброса ЗВ, и несколько створов ниже источника на участке, где отсутствует существенная приточность. Число створов ниже источника ЗВ должно быть не менее пяти.

На больших реках первый контрольный створ устанавливают ниже участка, где происходит практически полное вертикальное перемешивание загрязненных вод с речными. Расстояние до створа, где гарантировано вертикальное перемешивание загрязненных водных масс с речными $L_в$, м, определяют по формуле

$$L_в = 0{,}510\,\frac{H^2\upsilon}{D_z}, \qquad (65)$$

где H – наибольшая глубина речного потока ниже источника ЗВ, м;

υ – средняя скорость течения речной воды, м/с;

D_z – коэффициент вертикальной дисперсии для рассматриваемых гидрологических условий, $м^2/с$ (для расчетов можно принять, что $D_z = D_y$, где D_y – коэффициент поперечной дисперсии).

Особенности отбора проб воды в створах ниже рассматриваемого источника ЗВ заключаются в следующем.

В связи с возможной нестабильностью («пульсацией») концентраций ЗВ в сточной и речной воде (особенно в створах близко расположенных к источнику ЗВ) отбор проб желательно проводить батометром медленного наполнения.

Примерное время продолжительности отбора пробы воды таким батометром $\tau_{отб}$ можно определить по формуле

$$\tau_{отб} = \frac{60\ H_{ср}}{\upsilon_{ср}}, \qquad (66)$$

где $H_{ср}$ – средняя глубина реки в рассматриваемой части ее продольного профиля, м;

$\upsilon_{ср}$ – средняя по вертикали скорость течения речной воды ниже источника ЗВ, м/с.

В качестве достаточно гарантированных значений параметра $\tau_{отб}$ можно брать для малых рек (при $H_{ср} < 1$ м) 2-3 мин, средних – 10 мин, больших – 15 мин. Отбор проб можно также проводить обычным батометрами путем отбора равных порций воды (10-15) в течение указанных промежутков времени для сливной пробы в одной емкости.

Примечание – Организацию сливной пробы не проводят для определения растворенного кислорода, сульфидов и летучих соединений. Для этих веществ анализ должен проводиться в отдельных порциях воды с последующим осреднением полученных результатов.

Число вертикалей для отбора проб воды по ширине реки должно соответствовать числу промерных скоростных вертикалей, используемых обычно для измерения расхода воды. В каждой вертикали обязательно измеряется глубина реки и средняя по вертикали скорость течения.

В створах и вертикалях ниже рассматриваемого источника ЗВ наиболее важной задачей является установление и отбор пробы воды в максимально загрязненной струе (с учетом данных о содержании ЗВ по глубине водотока). Для выделения местоположения такой струи в сечении реки следует использовать переносные приборы с датчиками быстрого определения физико–химических показателей воды непосредственно на водном объекте, отражающих влияние рассматриваемого источника ЗВ (хлориды, pH, электропроводность, растворенный кислород, Eh, аммонийный и нитритный азот, сульфаты и ряд других веществ в зависимости от конкретной ситуации, для которых существуют как количественные, так и полуколичественные (тестовые) методы).

Если наблюдения поводились на участке реки ниже створа касания загрязненной струи противоположного берега, то по результатам специ-

альных наблюдений за консервативным веществом в каждом К-м рассматриваемом контрольном створе фактический коэффициент поперечной дисперсии D_{yKmf}, м^2/с для m-го стационарного источника ЗВ рассчитывают по формуле

$$D_{yKmf} = \frac{B^{*2}\upsilon^*}{L_x\left(1+\frac{6\,y_{0b}}{B^*}\right)}\left[k_p - \frac{0{,}376\,y_{0b}}{B^*} - 0{,}18\left(\frac{q_m}{H^*\upsilon^*}\right)^2\right], \qquad (67)$$

где B^*, H^*, υ^* – соответственно средневзвешенные значения ширины, глубины и скорости течения воды на участке L_x;

L_x – расстояние от места сброса сточных вод до рассматриваемого створа;

y_{0b} – расстояние от ближайшего берега реки до места рассматриваемого m-го сброса сточных вод, м (при сбросе сточных вод с берега y_{0b} = 0);

k_p – безразмерный коэффициент, определяемый по таблице 5.

Таблица 5 –Зависимость коэффициента k_p от уровня смешения речных и сточных вод $P_{см}$

$P_{см}$, %	k_p	$P_{см}$, %	k_p	$P_{см}$, %	k_p	$P_{см}$, %	k_p
28	0,025	74	0,175	90	0,292	97	0,425
40	0,05	78	0,2	91	0,3	98	0,45
49	0,075	80	0,213	93	0,325	98,2	0,475
56	0,1	82	0,225	94	0,35	98,6	0,5
63	0,125	85	0,25	95	0,375		
68	0,15	88	0,275	96	0,4		
Примечание – Параметр $P_{см}$ определяется по формуле (62).							

Фактический коэффициент D_{yKmf} получают как средний по данным, полученным в контрольных створах (при отдалении контрольных створов от источника ЗВ коэффициент D_{yKmf} стремится к const). Его сравнивают с расчетным коэффициентом, полученным при моделировании. При существенном их различии рассчитывается поправка для коэффициента, получаемого при расчетах для рассмотренного речного участка (или участков). Следует иметь ввиду, что получаемые расчетным путем по эмпирическим формулам коэффициенты поперечной дисперсии обычно имеют заниженные значения.

Формулы расчета поправки $\gamma_{D_{yKm}}$ по полученным фактическим частным значениям коэффициента поперечной дисперсии D_{yKmf} и расчетным D^*_{yKm} по формулам (16), (25) имеют вид:

$$D^*_{yKmf} = \frac{\Sigma D_{yKmf}}{n}, \quad (68)$$

$$\gamma_{D_{yKm}} = \frac{D^*_{yKm}}{D^*_{yKmf}}, \quad (69)$$

где n – число контрольных створов, использованных для наблюдения за дисперсией ЗВ.

Если наблюдения проводились на большой реке до створа касания сточных вод противоположного берега реки или наблюденных данных для определения средней концентрации ЗВ по сечению небольшой реки недостаточно, то определение поправочного коэффициента $\gamma_{D_{yKm}}$ выполняют методом прогонки расчета максимальной концентрации ЗВ в створах наблюдения по формулам (48), (47), изменяя соответственно значения $\gamma_{D_{yKm}}$ с определенным «шагом» до получения приемлемого результата, близкого к наблюденной максимальной концентрации ЗВ в соответствующих контрольных створах наблюдения.

6.3.2 На малых и нешироких средних реках в большинстве случаев определяющим фактором изменения (снижения или увеличения) содержания ЗВ по длине водотока являются процессы химико-биологической трансформации рассматриваемого ЗВ и другие, чаще всего неучтенные процессы и факторы, влияющие на его содержание по длине водотока.

Для проведения специальных наблюдений с целью получения фактических суммарных коэффициентов скорости самоочищения речной воды от ЗВ выбирают участок реки ниже интересуемого источника ЗВ в пределах не менее двух - трех суток времени перемещения загрязненных масс речной воды от места сброса до конечного контрольного створа наблюдения. В качестве контролируемых веществ выбирают два типа веществ: одно или несколько неконсервативных веществ и одно или несколько консервативных веществ - все с достаточно высокими концентрациями в воде (в створе смешения содержание этих веществ должно превышать их фоновое содержание выше источника ЗВ). Количество створов на участке должно быть не менее пяти. Желательно, чтобы расстояние между установленными створами наблюдения увеличивалось в логарифмической последовательности. При наличии высоких концентраций ЗВ в реке для наблюдения за самоочищающей способностью речных вод может быть выбран участок реки независимо от

конкретного одного или нескольких сбросов сточных вод, расположенных выше этого участка. В каждом створе отбор проб воды обязательно должен осуществляться в поверхностном и придонном горизонтах в основной вертикали, расположенной в максимально загрязненной струе. Кроме основной, в сечении реки проводят отбор проб воды в двух–трех дополнительных вертикалях. Отбор проб в створах осуществляют с учетом времени перемещения контролируемой загрязненной массы воды по длине реки. Для этой цели используют максимальную скорость течения воды в реке. Как было указано выше, в точке контроля в сечении реки пробу отбирают в течении 2-15 мин, при этом обязательно измеряют температуру речной воды.

По результатам наблюдения расчет суммарного коэффициента скорости самоочищения речной воды выполняют с учетом отсутствия или наличия существенных притоков на рассматриваемом участке следующим образом.

Для речного участка без существенной приточности и без учета конкретного выпуска сточных вод расчет коэффициентов скорости самоочищения ЗВ K_{sp} выполняют по формуле

$$K_{sp} = \frac{2,3}{\tau} \lg\left(\frac{C_н}{C_x}\right), \qquad (70)$$

где τ – время перемещения водных масс между створами наблюдения, сут;

$C_н$ – максимальная концентрация ЗВ в начальном створе наблюдения (предполагается, что в этом створе концентрация ЗВ распределена практически равномерно), мг/л;

C_x – максимальная концентрация ЗВ в нижележащем створе X, мг/л.

В том случае, если проводились наблюдения с учетом сброса ЗВ, то в зависимости от содержания ЗВ в фоновом створе возможны следующие варианты расчета:

а) при отсутствии ЗВ в фоновом створе ($C_ф \approx 0$)

$$K_{sm} = \frac{2,3}{\tau_{mx}} \lg \frac{C_m}{h_{mxj} C_{xj}} \quad ; \qquad (71)$$

б) при $C_ф \approx const$

$$K_{sm} = \frac{2,3}{\tau_{mx}} \lg \frac{C_m - C_ф}{h_{mxj}(C_{xj} - C_ф)} \quad ; \qquad (72)$$

в) если фоновое содержание ЗВ не равно нулю и по длине реки претерпевает существенные изменения, то

$$K_{sm} = \frac{2,3}{\tau_{mx}} \lg \frac{C_m - C_{nz} - (C_ф - C_{nz})\, e^{-K_{sф}\tau_ф}}{h_{mxj}[C_{xj} - C_{nz} - (C_ф - C_{nz})\, e^{-K_{sф}\tau_ф}]}; \quad (73)$$

г) при наличии на участке реки одного существенного притока и сохранении условий относительной консервативности ЗВ в этом притоке и на фоновом участке реки ($C_{пр} \approx const$, $C_ф \approx const$) –

$$K_{sm} = \frac{2,3}{\tau_{mx}} \lg \frac{C_m - C_ф}{h_{xj}(C_{xj} - C_ф) + C_ф - C_{пр})} \frac{h_{xj}}{h_{mxj}}. \quad (74)$$

В формулах (71) - (74) использованы обозначения:

C_m – концентрация ЗВ в сточной воде, мг/л ;

$C_ф$ – концентрация ЗВ в фоновом створе реки по отношению к рассматриваемому сбросу сточных вод, мг/л ;

$C_{пр}$ – концентрация ЗВ в притоке, мг/л ;

C_{xj} – концентрации ЗВ в речной воде на j-ой вертикали в максимально загрязненной струе в створе X, мг/л;

τ_{mx} – время перемещения загрязненных масс воды от створа выпуска сточных вод до створа X, сут;

h_{mxj} – кратность разбавления сточных вод в j-ой вертикали в максимально загрязненной струе в створе X;

h_{xj}– кратность разбавления воды притока или сточных вод в j-ой вертикали в максимально загрязненной струе в створе X (приток рассматривается как самостоятельных сброс ЗВ со своим присущем только ему выбранным в качестве трассера консервативным веществом).

Кратность разбавления сточных вод (или воды притока) определяют по результатам наблюдения за относительно консервативным веществом, выбранным в качестве трассера и содержащимся в значительных концентрациях только в рассматриваемом сбросе сточных вод (или притоке). Кроме указанного, наличие такого консервативного трассера допускается только в фоновом створе рассматриваемого речного участка (в других притоках данный трассер должен практически отсутствовать). Расчет выполняют по формуле

$$h_{mxj} = 1/\psi_{xj} = (C'_m - C'_ф)/(C'_{xj} - C'_ф), \quad (75)$$

где ψ_{xj} – коэффициент разбавления в j-ой вертикали в максимально загрязненной струе в створе X на исследуемом участке реки;

C'_m – исходное содержание выбранного в качестве трассера относительно консервативного вещества в рассматриваемом источнике его поступления (сточные воды, приток) в принятых для этого вещества единицах измерения;

$C'_{ф}$ – содержание выбранного в качестве трассера относительно консервативного вещества в фоновом створе реки по отношению к рассматриваемому сбросу сточных вод в принятых для этого вещества единицах измерения;

C'_{xj} – концентрация выбранного в качестве трассера относительно консервативного вещества в максимально загрязненной струе в створе X в j-ой вертикали в принятых для этого вещества единицах измерения.

Если вещество, взятое в качестве индикатора смешения речных и сточных вод, отсутствует в фоновом створе или если в сточные воды специально добавляли трассер, то параметр h_{mxj} определяют по формуле

$$h_{mxj} = 1/\psi_{xj} = C'_m / C'_{xj}. \quad (76)$$

В том случае, если для конкретного источника ЗВ предварительно был уточнен расчет коэффициентов поперечной дисперсии, то в контрольных створах ниже рассматриваемого источника ЗВ оптимальное значение поправочного коэффициента для суммарных коэффициентов скорости самоочищения ЗВ вод водотока от этого источника можно определить методом прогонки расчета по формулам (47), (47а), (47б), (61), учитывая условия их использования, с определенным «шагом» изменения значений поправочного коэффициента до получения значений максимальных концентраций ЗВ близких к фактически полученным максимальным концентрациям ЗВ.

По результатам наблюдения по длине рассматриваемого речного участка можно выделить два возможных результата получения значений коэффициентов самоочищения:

а) значения коэффициентов самоочищения, полученные для отдельных последовательно расположенных створов, практически равны:

$$K_{sm1} \approx K_{sm2} \approx K_{sm3}; \quad (77);$$

б) все или часть значений коэффициентов, полученных для отдельных створов, существенно отличаются.

В первом случае результаты обработки указывают на то, что процессы превращения рассматриваемого ЗВ независимо от местоположения створа наблюдения ниже источника ЗВ хорошо описываются уравнением реакции первого порядка. Поэтому при моделировании изменения концентраций ЗВ по длине водотока можно использовать один и тот же коэффициент K_{sm}. Во втором случае результаты обработки показывают, что процессы превращения ЗВ по длине реки более сложны, чем в первом случае, поэтому при моделировании для каждого створа следует применять соответствующее только этому створу значения K_{sm}. В последнем случае для моделирования возможно установление и использование статистических связей типа $K_{sm} = f(\tau_{mx})$ или из всех полученных значений K_{sm} используют только его минимальное (гарантирован-

ное) значение или, при наличии достаточно длинного ряда наблюдений, значение с обеспеченностью 95 %.

Наблюдения за самоочищающей способностью тяжелых металлов имеют свои особенности. Поскольку эти вещества мигрируют, главным образом, в сорбированном на взвесях состоянии (до 50 % - 90 %), в отбираемых пробах воды в реке и притоке (сбросе сточных вод) следует раздельно определять концентрации этих веществ в растворенном виде и на взвешенных веществах (содержание ЗВ на взвеси можно найти по разнице их концентраций в валовой форме и в растворенном виде). Дополнительно во всех пробах воды определяют концентрацию взвешенных веществ. Весьма желательно определение в пробах минералогического состава взвешенных веществ и доли в них пелитовой фракции взвесей (крупность частиц ≤ 0,01 мм). Коэффициенты самоочищения тяжелых металлов и пестицидов сорбированных на взвесях определяют и моделируют по вышеприведенной методике отдельно (вероятность получения отрицательных значений коэффициентов K_{sm}. для данной формы миграции веществ в отдельных створах наблюдения будет весьма высокой). Для рассматриваемых веществ целесообразно дополнительно определять коэффициенты распределения ЗВ на взвеси в виде доли вещества сорбированного на взвеси от его валового количества, а также их зависимость от концентрации взвешенных веществ в речной воде (или, что более важно, от концентрации взвешенных веществ пелитовой фракции).

7 Учет влияния на качество речной воды нестационарных сбросов ЗВ со склоновым стоком с территории населенных пунктов и сельхозугодий

7.1 Методика моделирования изменения содержания ЗВ по длине водотока при нестационарном сбросе сточных вод

Рассматриваемый вид моделирования целесообразен в том случае, если известна или каким-либо образом рассчитана возможная концентрация ЗВ в склоновых водах с интересуемой территории населенного пункта, промышленной площадки или сельхозугодий и примерные объемы этих вод, поступающие в водный объект за определенный период времени. В связи с этим крайне желательно проведение хотя бы оценочных рекогносцировочных наблюдений за сбросом ливневых сточных вод в период выпадения дождя, а также поступления в водный объект талых вод с застроенной территории населенного пункта или загрязненных сельхозугодий.

Для моделирования возможного влияния нестационарных сбросов ЗВ на загрязненность воды по длине водного объекта приняты следующие условия и допущения:

– поступление в водоток растворенных ЗВ со склоновым стоком всегда происходит с берега реки;

– концентрация ЗВ в нестационарном сбросе сточных вод должна быть выше, чем его максимальная концентрация в реке выше сброса;

– расход воды в отдельно выделяемом нестационарном сосредоточенном источнике ЗВ должен составлять не более 20 % от расхода речной воды, в нестационарном относительно равномерно распределенном вдоль берега реки источнике – не более 30 %;

- при распределенном вдоль берега реки нестационарном сбросе сточных вод эпюра изменения концентраций ЗВ во времени во всех условно точечных сбросах одинакова;

- нестационарный сброс ЗВ с территории населенного пункта или сельхозугодий может происходить через несколько отдельных выпусков, имеющих индивидуальные эпюры сброса, и расположенных вдоль берега протяженностью не более 10 км; при этом принимается, что начало сброса через все эти выпуски происходит в один и тот же момент (выполняется отсчет времени начала сброса через все выпуски с нуля);

– расчеты выполняют для максимально загрязненной струи в сечении реки (образуемая при нестационарном сбросе максимальная концентрация ЗВ в речной воде повышает загрязнение в максимально загрязненной струе, имеющей место в речном потоке до нестационарного сброса независимо от теоретически рассчитанного ее местоположения в сечении реки);

- для расчета разбавления вод нестационарного сброса в поперечном сечении используют то же количество вертикалей (сегментов), что и для стационарных источников ЗВ на всем рассматриваемом речном участке;

– условно принимается, что время начала нестационарного сброса начинается с нуля;

– по результатам моделирования строится продольный профиль изменения ЗВ по длине реки в виде максимальных концентраций в максимально загрязненной струе.

Рассматриваемый вид моделирования как минимум должен позволить ориентировочно оценить значимость влияния интересуемого нестационарного источника сброса ЗВ на качество речной воды и необходимость проведения более детальных наблюдений за этим источником.

Для проведения моделирования требуются следующие дополнительные данные по нестационарному сбросу ЗВ в водный объект*:*

- расстояние каждого выделяемого выпуска нестационарного источника ЗВ $L_{нт}$, км, от устья реки; в случае распределенного вдоль берега реки нестационарного источника – расстояние начала и окончания зоны поступления ЗВ $L_{нач}$ и $L_{кон}$, км, от устья реки;

– суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, поступившего со сточными водами m-го нестационарного источника ЗВ K_{sm}, 1/сут (по умолчанию принимается равным нулю);

– для параметров K_{sm} и $K_{sф}$ могут использоваться поправочные коэффициенты γ_m и $\gamma_ф$ (по умолчанию принимаются равными единице);

– время задержки процесса самоочищения ЗВ, поступающего от m-го источника $\tau_{зm}$, с (по умолчанию принимается равным нулю);

– входные параметры, характеризующие режим нестационарного сброса ЗВ (значения параметров целесообразно представлять в виде таблицы 6).

Учитывая относительную непродолжительность нестационарных поступлений ЗВ с территории населенных пунктов или со склоновым стоком с сельхозугодий с высоким содержанием ЗВ, в качестве общего числа основных сегментов $N_{вр}$, используемых для описания продольного профиля распределения во времени высоких концентраций вещества можно принять

$$N_{вр} = 50. \quad (78)$$

Таблица 6 – Форма представления сведений о режиме нестационарного сброса ЗВ по одному выпуску (в т.ч. распределенному)

Порядковый номер проведенного измерения (или назначенного значения) в период нестационарного сброса N	$\tau_{C_{mN}}$, мин	q_{mN}, $м^3/с$	C_{mN}, мг/л

Примечание – В таблицу включены следующие параметры:

– C_{mN} - N-я предлагаемая или измеренная для целей моделирования концентрация ЗВ в m-м нестационарном сбросе ЗВ;

– q_{mN} - N-й предложенный или измеренный для целей моделирования расход воды в m-ом нестационарном сбросе ЗВ;

– $\tau_{C_{mN}}$ - относительное время продолжительности нестационарного сброса, для которого в сточных водах, начиная с момента фиксации начала этого сброса, были назначены (измерены) значения C_{mN} и q_{mN};

для выполнения расчетов время начала нестационарного сброса источника ЗВ принимается равным нулю.

Каждому из основных сегментов $N_{вр}$ в зоне высоких концентраций ЗВ в исходном створе (в месте поступления ЗВ) присваивают порядковый номер и время, прошедшее от начала регистрации в этом источни-

ке ЗВ концентраций на уровне выше максимальных фоновых концентраций в водном объекте. Временные характеристики сегментов распределения концентраций вещества в исходном створе будут иметь вид $N\Delta\tau_o$, в заданном контрольном створе через время $\tau_{ст}$ – ($\tau_{ст}+N\Delta\tau_o$), где N – порядковый номер сегмента.

Временной «шаг» выделенных основных сегментов $\Delta\tau_o$, с, вычисляют по формуле

$$\Delta\tau_o = \frac{60\tau_{C_{m\,N}}}{N_{вр}}. \quad (79)$$

Исходный профиль распределения концентраций вещества во времени обычно имеет малое число сегментов (по числу условно заданных или действительно проведенных наблюдений за нестационарным поступлением ЗВ), поэтому пересчет профиля распределения концентраций вещества по сегментам общим числом 50 выполняют методом интерполяции сплайнами второго порядка (описание использования такой интерполяции и библиографию по этому вопросу можно найти в работе [7]).

В случае распределенного нестационарного сброса выполняют превращение его в условно точечные выпуски вдоль берега реки с небольшим «шагом» продольно расположенных сегментов. Общее их число N_L составляет

$$N_L = (L_{кон} - L_{нач})/0{,}010. \quad (79а)$$

Расчет коэффициента поперечной дисперсии D_{yiz} на i-м участке реки на каждом выделенном z-м подучастке выполняют по формуле (16).

Расчет средневзвешенных значений всех приведенных в исходных данных морфометрических характеристик русла реки H_{Km}^*, B_{Km}^*, $n_{шKm}^*$, $n_{лKm}^*$, I_{Km}^*, D_{yKm}^* на участке L_{Km} осуществляют по формуле (25), средневзвешенное значение скорости течения - по формулам (13) - (15).

Расчет времени $\tau_{СТ}$, с, перемещения рассматриваемой зоны водных масс между створом, где расположен рассчитанный условно точечный нестационарный сброс ЗВ, и заданным контрольным створом выполняют по формулам:

$$\tau_{СТ}' = \frac{L_{Km}+L_{mN}}{\upsilon_{Km}^*}, \quad (80)$$

$$\tau_{СТ}'' = \frac{L_{Km}+L_{mN}}{\upsilon_{Km(max)}^*}, \quad (81)$$

где $\tau_{СТ}'$, $\tau_{СТ}''$ – соответственно максимальное и минимальное значения $\tau_{ст}$ в пределах расстояния ($L_{Km}+L_{mN}$);

L_{Km} – расстояние от места нестационарного выпуска сточных вод до контрольного или расчетного створа;

L_{mN} - дополнительное расстояние для определения расчетного местоположения расчетного N-го условного точечного нестационарного выпуска сточных вод с расходом q_{mN},

$$L_{mN}=\frac{0,2}{\gamma^{*}_{D_{yKm}}\, D^{*}_{yKm}\, \upsilon^{*}_{Km}}\left(\frac{q_{mN}}{H^{*}_{Km}}\right)^{2}; \qquad (82)$$

υ^{*}_{Km}, $\upsilon^{*}_{Km(max)}$- соответственно средневзвешенные значения средней и максимальной скоростей течения речной воды, м/с, в пределах расстояния (L_{Km}+L_{mN}).

Ориентировочное расстояние до створа практически полного смешения речных и рассматриваемых загрязненных масс воды в поперечном сечении реки $L_{см}$ (степень смешения 98 %) определяют по формуле

$$L_{см}=\frac{B^{2}_{iz}\upsilon_{iz}}{D_{yiz}}\left[0,45-0,18\left(\frac{q_{mN}}{H_{iz}\ \upsilon_{iz}B_{iz}}\right)^{2}\right], \qquad (83)$$

где $\bar{q}_{mN}$ – среднее значение расхода воды в нестационарном сбросе сточных вод, м^3/с.

Параметры H_{iz}, υ_{iz}, B_{iz}, D_{yiz} в формуле (83) берутся для i-го участка и z-го подучастка реки, в пределах которого произошел нестационарный сброс ЗВ.

Коэффициенты продольной дисперсии D_{xiz} на каждом выделенном i-м участке и z-м подучастке реки вычисляют в соответствии с [8] по формулам:

при B_{iz} > 10м $\quad D_{xiz(max)} = 43000\, H_{iz}\, \upsilon_{iz(max)}\, c_{iz}^{-2,63}$, (84)

$$D_{xiz(min)} = 43000\, H_{iz}\, \upsilon_{iz}\, c_{iz}^{-2,63}; \qquad (85)$$

в противном случае

$$D_{xiz(max)} = 1,81\, H_{iz}\, \upsilon_{iz(max)}\, c_{iz}^{-0,63}\left(\frac{B_{iz}}{H_{iz}}\right)^{1,49}, \qquad (86)$$

$$D_{xiz(min)} = 1,81\, H_{iz}\, \upsilon_{iz}\, c_{iz}^{-0,63}\left(\frac{B_{iz}}{H_{iz}}\right)^{1,49}, \qquad (87)$$

где $D_{xiz(max)}$, $D_{xiz(min)}$ – соответственно максимальное и минимальное значения коэффициента продольной дисперсии, $м^2/с$;

$\upsilon_{iz(max)}$ – максимальная скорость течения речной воды, м/с;

c_{iz} – коэффициент Шези.

Расчет средневзвешенных значении коэффициента продольной дисперсии на расстоянии L_{Km} рассчитывают по формуле (25).

Если продолжительность нестационарного сброса невелика, т.е.

$$L_{см} > 60\,\tau_{C_{mN}}\upsilon_{iz}, \tag{88}$$

то в целях ограничения ширины реки, учитываемой при расчетах смешения речных и сточных вод используют коэффициент $k_{вК}$, который для соответствующих контрольных и расчетных створов вычисляют по формулам:

$$L_3 = 60\tau_{c_{mN}}\upsilon_{iz} + 10\sqrt{D_{x(max)}\frac{L_{Km}}{\upsilon^*_{Km(max)}}}, \tag{89}$$

$$k_{нК} = 0{,}7 + \frac{18\,\tau_{c_{mN}}\upsilon_{iz}}{L_{см}}, \tag{90}$$

$$k_{вК} = k_{нК} + (1 - k_{нК})\frac{L_3}{L_{см}}, \tag{91}$$

где L_3 – примерная длина перемещающейся в русле реки зоны высокозагрязненных вод, м.

Если условие (88) не выполняется, то принимают $k_{вК} = 1$.

Для каждого контрольного и расчетного створа вычисляют параметры τ'_{Nn} и τ''_{Nn} по формулам:

$$\tau'_{Nn} = \tau_{CT}' - (N_n\Delta\tau_o - N_{гл}\Delta\tau_o); \tag{92}$$

$$\tau''_{Nn} = \tau_{CT}'' - (N_n\Delta\tau_o - N_{гл}\Delta\tau_o), \tag{93}$$

где τ'_{Nn} и τ''_{Nn} – значения времени для вычисления изменения концентрации вещества в n–х сегментах, «участвующих» в формировании значений C_{NK}, определяемых по формулам (99), (100) (соответственно в параллельных расчетах учитывают среднюю и максимальную скорости возможного перемещения загрязненных вод);

N_n – порядковый номер n-го дополнительного сегмента (считая от очередного главного) в эпюре нестационарного сброса, используемого для расчета значений C_{NnK} (нумерацию сегментов ведут от сегмента, «поступившего» первым в водный объект);

$N_{гл}$ – порядковый номер очередного, принятого за главный сегмент в эпюре нестационарного сброса, используемого для расчета значений C_{NnK} (см. формулы (97), (98)).

Для формул (92), (93) используют условие: при получившихся в начальный момент расчета отрицательных значениях τ'_{Nn} и τ''_{Nn} их значения принимают равными нулю.

Расчет коэффициента ψ_{NK}, учитывающего степень смешения речных и сточных вод в поперечном сечении заданного контрольного или расчетного створа осуществляют по формулам:

$$\psi_{NK}=\frac{q_{mN}}{H^{*}(\pi\gamma^{*}_{D}\underset{yKm}{D^{*}_{yKm}}\upsilon^{*}_{Km}X_{KmN})^{0,5}}\left[1+2\exp\left(-\frac{(B^{*}_{Km}k_{вK})^{2}\upsilon^{*}_{Km}}{\gamma^{*}_{D}\underset{yKm}{D^{*}_{yKm}}X_{KmN}}\right)\right], \quad (94)$$

$$\psi_{NK(min)}=\frac{q_{mN}}{B^{*}_{Km}H^{*}_{Km}\upsilon^{*}_{Km}}, \quad (94\ а)$$

где

$$X_{KmN}=L_{Km}+L_{mN}. \quad (95)$$

Обязательными условиями использования формулы (94) являются следующие: если рассчитанное по формуле (94) соответствующее значение $\psi_{NK}>1$, то следует принимать $\psi_{NK}=1$; если $\psi_{NK}\le\psi_{NK(min)}$, то принимают $\psi_{NK}=\psi_{NK(min)}$.

Для каждого К-го контрольного или расчетного створа рассчитывают параметр A_{pK} по формуле

$$A_{pK}=(C_{mN}-0{,}8C_{Kj(max)})\ \psi_{NK}, \quad (96)$$

где $C_{Kj(max)}$ – максимальная концентрация ЗВ в поперечном сечении К-го контрольного или расчетного створа, полученная для условий стационарного поступления в русло реки ЗВ, мг/л;

C_{mN} – концентрация ЗВ в N-м сегменте нестационарного выпуска сточных вод, мг/л.

В случае $C_{mN}\le C_{Kj(max)}$ принимается, что $A_{pK}=0$.

Определяют параметры $C_{NnK}{}'$ и $C_{NnK}{}''$ по формулам:

$$C_{NnK}{}'=\frac{A_{pK}\upsilon^{*}_{Km}\Delta\tau_{o}}{2(\pi D^{*}_{x(min)Km}\tau'_{ст})^{0,5}}\times$$

$$\times\exp\left[-\frac{(X_{KmN}-\upsilon^{*}_{Km}\tau'_{Nn})^{2}}{4D^{*}_{x(min)Km}\tau'_{ст}}-\gamma_{m}K_{sm}\frac{(\tau'_{ст}-\tau_{зм})}{86400}\right]; \quad (97)$$

$$C''_{NnK} = \frac{A_{pK}\upsilon^{*}_{Km(max)}\Delta\tau_{o}}{2(\pi D^{*}_{x(max)Km}\tau''_{ст})^{0,5}} \times$$

$$\times \exp\left[-\frac{(X_{KmN}-\upsilon^{*}_{Km(max)}\tau''_{Nn})^{2}}{4D^{*}_{x(max)Km}\tau''_{ст}} - \gamma_{m}K_{sm}\frac{(\tau''_{ст}-\tau_{зт})}{86400}\right], \quad (98)$$

где γ_{m} – поправочный коэффициент для суммарного коэффициента скорости самоочищения речной воды от ЗВ, обнаруженного в m-м нестационарном источнике (по умолчанию равен единице);

$\tau_{зт}$ – время задержки процесса самоочищения речной воды от ЗВ, обнаруженного в m-м источнике (по умолчанию равно нулю), с.

$D^{*}_{x(min)Km}$, $D^{*}_{x(max)Km}$ – соответственно минимальное и максимальное средневзвешенные значения коэффициентов продольной дисперсии на участке от m-го источника ЗВ до К-го контрольного или расчетного створе, м^2/с.

Сформировавшуюся в результате нестационарного сброса добавочную концентрацию ЗВ в контрольном или расчетном створе в каждом выделенном N-м сегменте временного ряда C_{NK} с учетом влияния на нее концентраций других выделенных в выпуске сточных вод сегментов для условий средней и максимальной скоростей перемещения загрязненных вод рассчитывают по формулам:

$$C'_{NK} = \sum^{N_c} C'_{NnK}; \quad (99)$$

$$C''_{NK} = \sum^{N_c} C''_{NnK}, \quad (100)$$

где N_c – общее количество сегментов с соответствующими значениями C_{NnK}, использованных для расчета параметра C_{NK}

Расчет возможных максимальных концентраций ЗВ в контрольных и расчетных створах реки с учетом воздействия нестационарного сброса C'_K и C''_K выполняют по формулам:

$$C'_K = 0,8\,C_{Kj(max)} + C'_{NK(max)}, \quad (101)$$

$$C''_K = 0,8\,C_{Kj(max)} + C''_{NK(max)}, \quad (102)$$

где $C'_{NK(max)}$ и $C''_{NK(max)}$ – выбранные из получившихся при расчетах по формулам (99) и (100) рядов данных максимальные концентрации ЗВ в

N-х сегментах в К–м контрольном или расчетном створе соответственно при максимальной и средней скоростях течения воды в реке, мг/дм^3.

Далее проверяют условие: если в расчетном створе конечная концентрация в расчетном створе C_K получилась в виде $C_K \le C_{Kj(max)}$, где $C_{Kj(max)}$ начальная концентрация в расчетном створе до воздействия нестационарного сброса сточных вод, то принимают, что $C_K = C_{Kj(max)}$.

За искомый результат расчета максимальной концентрации ЗВ в контрольном или расчетном створах, сформировавшейся с учетом стационарного и нестационарного поступления ЗВ принимают максимальную из рассчитанных концентраций при средней и максимальной скоростях течения воды в реке.

В случае проведения аналогичных расчетов для распределенного нестационарного сброса сточных вод вычисления по формулам (80)-(102) проводят в цикле для каждого условно точечного сброса располагаемого вдоль берега реки, при этом в каждом цикле в качестве значения $C_{Kj(max)}$ используют данные, полученные на предыдущем цикле расчета.

Для построения графика продольного профиля изменения концентрации ЗВ по длине рассматриваемого речного участка в максимально загрязненной струе с учетом стационарного и нестационарного сбросов ЗВ используют максимальную из полученных концентраций в соответствующих контрольных или расчетных створах.

В связи с принятыми допущениями максимальная концентрация ЗВ в контрольных створах реки под влиянием нестационарных сбросов может быть несколько завышена. Чем больше расстояние от сброса до контрольного створа, тем меньше будет выражено это завышение за счет влияния процессов продольной и поперечной дисперсии на распределение концентраций ЗВ в перемещающихся по руслу реки зонах загрязненных вод.

При больших расстояниях между нестационарными сбросами ЗВ (более 10 км) влияние каждого из них на качество воды в реке целесообразно рассматривать отдельно.

Следует иметь ввиду, что зона загрязненных вод, образуемая нестационарным сбросом ЗВ, в результате продольной дисперсии удлиняется, приобретая определенную стационарность во времени. В связи с этим влияние нестационарного сброса в виде относительно невысокого повышения концентраций ЗВ в реке может происходить на значительном расстоянии ниже места этого сброса. Оценка времени продолжительности повышенного содержания ЗВ в реке в интересуемых створах можно оценить, используя методы расчета, приведенные в Р 52.24.627.

7.2 Организация наблюдений за трансформацией ЗВ по длине водотока при нестационарном поступлении ЗВ в водный объект

7.2.1 Наблюдения за неорганизованным поверхностным склоновым стоком с городской территории и промышленных площадок

В целях объективного решения вопроса о степени воздействия на качество воды водного объекта склонового стока и обоснования необходимости организации систематических наблюдений за этим видом поступления в реку ЗВ рекомендуется предварительно провести в течение не менее одного годового цикла специальные рекогносцировочные наблюдения за сбросом ЗВ с территории интересуемого населенного пункта, расположенного на водосборе водного объекта.

Поверхностные воды с городской территории отличаются эпизодичностью образования, кратковременностью воздействия, значительной неоднородностью состава, изменчивостью гидрометрических параметров стока, наличием ряда разрозненных ливневых выпусков. По этой причине для наблюдения за этим источником ЗВ требуется специализированная программа.

В задачу рекогносцировочных наблюдений должно входить:

- составление схематической карты реки или ее участка, на которой показаны площади застроенной территории населенного пункта (с указанием их размеров), основные балки, по которым стекают склоновые воды в данный водный объект;
- выделение типизированных участков (водосборов) на городской территории (центральная часть города, промышленный район и т.п.);
- исследование химического состава, количественных и временных характеристик склонового стока (дождевых и талых вод) с выделенных типизированных участков городской территории и установление основных факторов, влияющих на его формирование;
- определение ориентировочных величин выноса ЗВ со стоком дождевых и талых вод по основным ливневым выпускам с территории населенного пункта.

Назначение пунктов отбора проб воды следует провести в соответствии со схемой магистральных или естественно образовавшихся сетей ливневого стока в замыкающих точках этой сети, ограничивающих отдельно жилые районы города и районы, включающие промышленные площадки, а также в замыкающем створе (створах) всей ливневой сети.

Непосредственно на водном объекте для наблюдения намечается не менее двух основных створов. Один выше населенного пункта (фоновый створ) вне зоны возможного влияния рассматриваемого вида склоновых вод. Второй (замыкающий створ) – в 500 м ниже последнего ливневого выпуска. Весьма желательно ниже сброса исследуемых склоновых вод дополнительно к основному створу наметить для наблюде-

ния еще два–три створа. Отбор проб в замыкающем створе и дополнительных створах должен проводиться в нескольких вертикалях с учетом времени перемещения загрязненных масс воды от основного или среднего по местоположению вдоль береговой линии ливневыпуска, начиная отсчет времени добегания от него не ранее, чем через полчаса от начала образования стока ливневых вод по этому водовыпуску. Для расчета времени добегания используют максимальную в сечении реки скорость течения воды. В створах одна из вертикалей обязательно располагается в стрежне речного потока, другие один–два в зависимости от ширины реки в пределах 1/3 расстояния от берега реки до стрежня потока с обеих сторон от него.

Пробы поверхностных (склоновых) вод с городской территории следует отбирать в период интенсивного таяния снега и в периоды отдельных интенсивных дождевых паводков.

В период стокообразующего дождя отбор проб воды в выбранных пунктах (точках отбора) должен проводиться через каждые 20–30 мин в течение первых 2 час от начала появления стока, а в период интенсивного таяния снега через каждые 2-3 час в течение первых 8 час от начала интенсивного стока талых вод. Последующие пробы воды при продолжении склонового стока можно отбирать более редко (дождевые воды через 1-10 час в зависимости от интенсивности и ожидаемой продолжительности осадков, талые воды – через 4-12 час). При “мгновенных” способах отбора ливневых вод время взятия 10-15 порций воды для сливной пробы должно происходить в течение не менее двух минут.

Химический анализ определения тяжелых металлов следует проводить как в фильтрованных, так и нефильтрованных пробах воды.

Каждый отбор проб воды на химический анализ крайне желательно сопровождать определением примерного расхода воды и примерной скорости течения контролируемого потока склоновых вод.

Для наблюдаемого дождя дополнительно должны фиксироваться (желательно по данным ближайшей метеостанции) следующие параметры:

- время начала дождя:
- средняя интенсивность наблюдаемого дождя в миллиметрах в минуту;
- продолжительность наблюдаемого дождя в минутах;
- продолжительность предшествующего периода сухой погоды в сутках;
- средняя величина слоя предшествующего дождя в миллиметрах;
- средняя интенсивность предшествующего дождя в миллиметрах в минуту.

Для рекогносцировочных обследований в перечень определяемых ЗВ и показателей загрязнения воды рекомендуется включить:

- pH, взвешенные вещества;

– главные ионы, сумма ионов ($\sum_и$);

– N_{NH_4}; N_{NO_2}; N_{NO_3};

– нефтепродукты (суммарно), полициклические ароматические углеводороды (3-7 ядерные);

– токсичные металлы (Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As, Cr, Co, Ni, V и др.), а также $Fe_{общ}$, Al, Mn;

– интегральные показатели органического загрязнения ($БПК_5$, ХПК, СПАВ, фенолы);

– токсичные органические загрязняющие вещества (полихлорированные бифенилы и диоксины);

– фториды;

– сульфиды, H_2S.

Результаты рекогносцировочных наблюдений должны позволить:

– выделить в пределах городской территории наиболее загрязненные водосборы;

– определить перечень характерных загрязняющих веществ, ориентировочные пределы варьирования их концентраций в зависимости от местоположения водосбора и условий выпадения осадков (прежде всего от интенсивности и продолжительности дождя, а также от продолжительности предшествующего периода сухой погоды);

– обосновать необходимость систематического контроля за сбросом загрязняющих веществ с ливневыми водами по отдельным основным выпускам (возможно с установлением при высокой загрязненности сточных вод автоматических пробоотборников, позволяющих отбирать пробы воды в период малоинтенсивных дождей);

– обосновать необходимость систематического контроля качества речной воды выше и ниже сброса ЗВ с ливневыми водами с территории населенного пункта в период стока ливневых вод;

– установить зависимость расхода сточных вод и концентраций ЗВ в них от интенсивности и продолжительности дождя.

Если наблюдения были организованы по полной программе: отбор проб воды при различных условиях водности в реке выше сброса сточных вод, непосредственнно в сбросе (сбросах) сточных вод, а также ниже поступления сточных вод с измерением необходимых для моделирования гидрологических характеристик, то результаты этих наблюдений могут быть использованы для верификации математической модели в части подбора поправочных коэффициентов для значений суммарных коэффициентов скорости самоочищения речных вод от ЗВ с учетом их возможной зависимости от водности реки. Верификацию параметров модели проводят методом прогонки расчета с разными значениями указанного поправочного коэффициента до получения приемлемой невязки между результатами расчета максимальных концентраций в контрольном створе в максимально загрязненной струе и фактически получен-

ными. Значения поправочных коэффициентов желательно статистически увязать (получить уравнения регрессии) с расходом речной воды, а также интенсивностью и продолжительностью нестационарного сброса ЗВ. При наличии верифицированной модели появляется возможность проведения оптимизации наблюдений за влиянием на водный объект конкретного нестационарного сброса ливневых сточных вод (т.е. замены части наблюдений расчетами по математической модели).

7.2.2 Наблюдения за поверхностным склоновым стоком с территории неорошаемых сельхозугодий

Для объективной оценки необходимости контроля за поверхностным стоком с интересуемых неорошаемых сельхозугодий, где наиболее интенсивно применяются удобрения или пестициды, также требуется проведение специальных рекогносцировочных наблюдений в течение не менее одного годового цикла.

Предварительно собирается и анализируется следующая информация [9]:

- составляется схематическая карта реки или ее участка, на которой показаны сельхозугодья (с указанием их площади), основные балки, по которым стекают склоновые воды в данный водный объект;
- средняя толщина снега на водосборе перед снеготаянием;
- сведения о внутригодовом распределении водного стока на водном объекте;
- перечень применяемых удобрений и пестицидов, дозы, сроки и способы их внесения.

Поверхностные склоновые воды с территорий неорошаемых сельхозугодий формируются, главным образом, в период интенсивного снеготаяния и ливневых или затяжных дождей.

На этапе рекогносцировочных обследований основная цель наблюдений за данной категорией вод сводится к следующему:

– поиск и выделение мест (в том числе методами математического моделирования) наиболее существенного влияния поверхностного неорганизованного склонового стока с загрязненных прибрежных территорий сельхозугодий на качество речной воды;

– обоснование необходимости систематического контроля за сбросом загрязняющих веществ с ливневыми водами по отдельным основным выпускам (возможно с установлением автоматических пробоотборников, позволяющих отбирать пробы воды в период малоинтенсивных дождей);

– обоснование необходимости систематического контроля качества речной воды выше и ниже сброса ЗВ со склоновыми водами с загрязненной территории неорошаемых сельхозугодий;

– обоснование периодичности контроля (отбора проб) за поступлением ЗВ с данным видом сточных вод в водный объект;

– определение перечня требующих контроля ЗВ.

Для наблюдений выбирают сельхозугодья, с которых поступают наибольшие объемы склонового стока. На выбранных сельхозугодьях должны применяться в сравнительно больших количествах удобрения и пестициды.

На речных участках, где ожидается наиболее интенсивное поступление в реку загрязненного поверхностного склонового стока (преимущественно по системе балок и оврагов) проводят наблюдения в период весеннего половодья и в период первого дождевого паводка, следующего за интенсивной обработкой полей удобрениями или ядохимикатами.

Пробы воды отбирают в замыкающих створах балок и оврагов на выбранном участке прибрежного водосбора, а также в реке - в створах и нескольких вертикалях, расположенных соответственно в 0,5 км выше первой и 0,5 км ниже последней балок на выбранном участке прибрежной территории водосбора. При наличии нескольких балок (оврагов), по которым происходит сток поверхностных склоновых вод в реку и значительном расстоянии между ними (более половины расстояния, на котором происходит практически полное смешение речных и сточных вод) намечают еще один или несколько дополнительных створов - в 0,5 км ниже каждой или самой крупной балки (оврага). В случае относительно равномерного поступления ЗВ в зоне распределенного сброса склоновых вод дополнительный створ намечают примерно в середине этой зоны.

В период весеннего половодья, связанного со снеготаянием, рекомендуется проводить не менее 5 съемок (начало, подъем, пик, спад, окончание половодья). Оптимальное время отбора проб воды с 12 до 14 ч, когда наблюдается максимальное снеготаяние на водосборе.

В период паводков, вызванных продолжительными дождями, происходящими после обработки полей химическими препаратами, отбирают не менее трех проб (начало, середина, окончание паводка). При кратковременных паводках отбирают одну пробу за паводок; время начала отбора пробы после начала паводка должно быть примерно равно времени добегания склоновых вод от середины загрязняемого прибрежного водосбора до берега реки.

В отобранных пробах сточной и речной воды определяют следующие вещества и показатели качества воды: pH, главные ионы (HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+), сумму ионов, соединения азота (нитраты, нитриты, азот аммонийный), фосфор фосфатов, пестициды (в период весеннего половодья определяют только хлорорганические, в период дождевых паводков как хлорорганические, так и фосфорорганические пестициды), соединения металлов, входящих в состав наиболее часто применяемых химических препаратов (Cu, Zn, As, Cd, Hg), а также Mn и железо общее.

Все отборы проб воды должны быть обеспечены измерениями (определениями) примерных расходов как в замыкающих створах балок (оврагов), по которым отводятся сельхозстоки, так и на реке, подверженной их влиянию. При этом фиксируется время отбора проб, температура воздуха, для наблюдаемого дождя – время начала дождя, его средняя интенсивность (мм/мин) и продолжительность (минуты). Привлечение математического моделирования здесь аналогично указанному в 7.2.1.

8 Представление результатов моделирования и натурных наблюдений изменения содержания ЗВ по длине реки

Результаты моделирования изменения средних концентраций ЗВ, рассчитанных за определенный период (за отдельную гидрохимическую съемку с учетом времени перемещения загрязненных масс воды, сезон, годовой цикл) по длине реки или аналогичные данные натурных наблюдений с использованием математического моделирования, представленные в виде графиков и таблиц могут быть использованы для оценок изменения качества воды по длине реки. Сведения о максимальных концентрациях ЗВ в максимально загрязненной струе можно представлять для всех заинтересованных организаций в целях оценки состояния вод по длине реки. Более подробные графики, характеризующие изменение по длине реки максимальных, средних и минимальных концентраций ЗВ, автоматически представляемые в отчетных материалах, рекомендуется использовать в качестве дополнительного материала для внутреннего использования и анализа данных моделирования (для формирования и корректировки поправочных коэффициентов параметров математической модели, корректировки и оптимизации действующей системы гидрохимических и гидрологических наблюдений и т.д.).

Вид графических материалов, получаемых при моделировании различных ситуаций на водном объекте в результате исключения отдельных источников ЗВ или изменения параметров их сброса, показан в инструкции для пользователей программными средствами (см приложение А). Эти данные позволяют оценить зоны влияния на качество речной воды отдельных источников ЗВ, выявить доминирующие и скрытые по воздействию на качество речной воды источники ЗВ.

Представляемую в отчете таблицу сравнения расчетной и фактической концентраций ЗВ в контрольных створах по длине реки рекомендуется использовать для верификации модели путем подбора значений поправочных коэффициентов, позволяющих исключить или снизить расхождение фактических и расчетных данных в контрольных створах наблюдения. Для значений поправочных коэффициентов (или самой невязки) устанавливают зависимость их от водности реки, температурных характеристик или в целом от характерных сезонов в годовом цикле. В случае рассмотрения нестационарных сбросов ЗВ дополнительно уста-

навливаются зависимости поправочных коэффициентов и невязок результатов расчета от продолжительности и интенсивности дождя или от объемов и продолжительности сброса талых вод.

Результаты моделирования влияния на качество речной воды отдельных нестационарных сбросов сточных вод рекомендуется использовать для ориентировочной оценки степени возможного их влияния на качество воды, а также для обоснования необходимости организации специальных систематических или эпизодических наблюдений за этим видом поступления ЗВ в водный объект. Выходные формы рисунков и таблиц, получаемые при моделировании таких ситуаций программными средствами, рассмотрены в инструкции для пользователей программы на ПК в приложении А и продемонстрированы в приложении В.

Приложение А
(обязательное)

Инструкция к программе «ГХМ–трансформЗВ» – моделирование изменения концентраций ЗВ по длине водотока

А.1 Общие сведения о программе

Программа «ГХМ-трансформЗВ» предназначена для проведения моделирование изменения концентраций ЗВ по длине водотока.

Программа разработана в среде Delphi 7 и может работать на ПК под управлением операционной системы Windows.

Установка программы осуществляется простым копированием файлов с прилагаемого диска.

Для нормальной работы программы необходимо проверить (настроить) параметры отображения чисел (см. в ПК разделы «*Панель управления*» - «*Настройка языковых параметров, представления чисел, денежных единиц, времени и дат*»):

- разделитель целой и дробной части числа – десятичная точка;
- разделитель групп разрядов – должен отсутствовать;
- группировка цифр по разрядам – должна отсутствовать.

Рекомендуется создать ярлык на рабочем столе для удобного запуска программы для работы. Создание ярлыка выполняется стандартными действиями работы в Windows.

Запуск программы осуществляется в соответствии с правилами работы с приложениями в среде Windows – запуском файла «*ГХМ-трансформЗВ.exe*».

Основные операции, выполняемые в программном комплексе:

– ввод исходных данных;
– выполнение расчетов с использованием программы;
– подготовка отчетных документов.

А.2 Ввод исходных данных

А.2.1 Главная экранная форма программы

После запуска программы появляется главная экранная форма программы, вид которой показан на рисунке А.1. В верхней части экранной формы имеется основное горизонтальное меню с восьмью пунктами первого уровня, с помощью которых можно выполнять подзадачи, необходимые для последовательного достижения основной цели - определения трансформации ЗВ по длине реки или рассматриваемого ее участка.

Приступая к работе с программой в первую очередь необходимо ввести исходные данные задачи, определяющие параметры водного объекта, источников ЗВ, интенсивность протекающих процессов. Для этой цели служат следующие пункты первого уровня основного меню: «*Участки*», «*Источники загрязнения*», «*Расчетные створы*», «*Эпюра сброса*» (рисунок А.1). Следует отметить, что основной характеристикой задачи является понятие створа реки. Створ реки количественно определяется как расстояние от устья реки и ключом (количественной характеристикой створа) – кодом створа. С учетом практической потребности и допустимой точности проводимых расчетов было принято проводить измерение расстояния по длине реки в десятках метров от устья, т.е. местоположения створа определяется не точнее 10 м. Например, если код створа 25410, то это означает, что данный створ реки расположен на расстоянии 254 километров и 100 метров от устья реки.

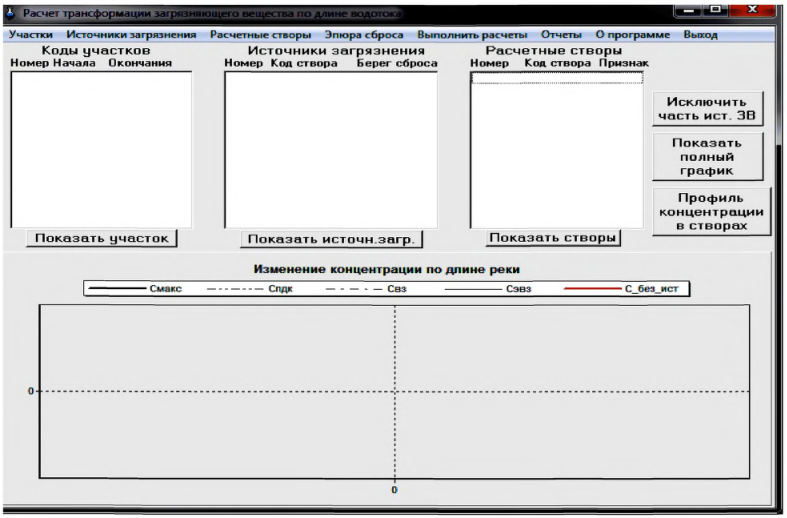


Рисунок А.1 – Главная экранная форма программы

А.2.2 Подготовка данных, характеризующих участки реки

Ввод исходных данных начинается обязательно с данных по участкам реки. Это требование связано с тем, что информация по участкам реки является опорной для всех видов входных данных (при вводе других видов информации автоматически проводится проверка на непротиворечивость вводимых данных параметрам участков реки). Выбор пунк-

та в главном меню выполняется левой кнопкой «мыши», после чего открывается подменю операций с данными по участкам реки, показанных на рисунке А.2.

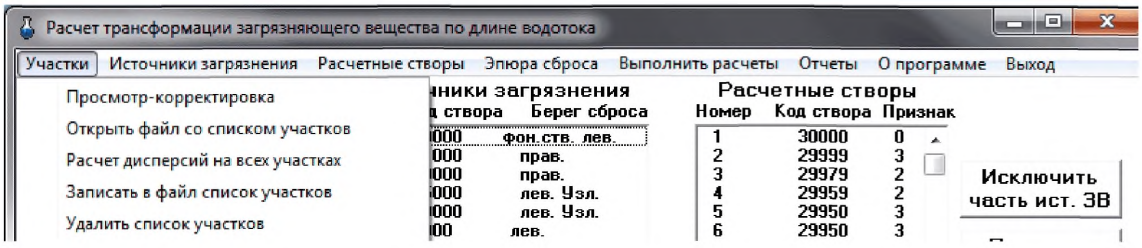


Рисунок А.2 – Операции с данными по участкам реки

Рассмотрим подробнее операции с данными по участкам реки.

Выбор пункта подменю «*Просмотр-корректировка*»» открывает окно «*Просмотр-корректировка параметров участка реки*» (рисунок А.3). Это окно служит как для первоначального ввода параметров участка реки (в случае их отсутствия), отображения-просмотра данных (в случае если они уже занесены в память задачи) и корректировки данных. 2 верхних поля: «*Текущий уча*сток» и «*Всего*» заполняются автоматически и оператором не корректируются.

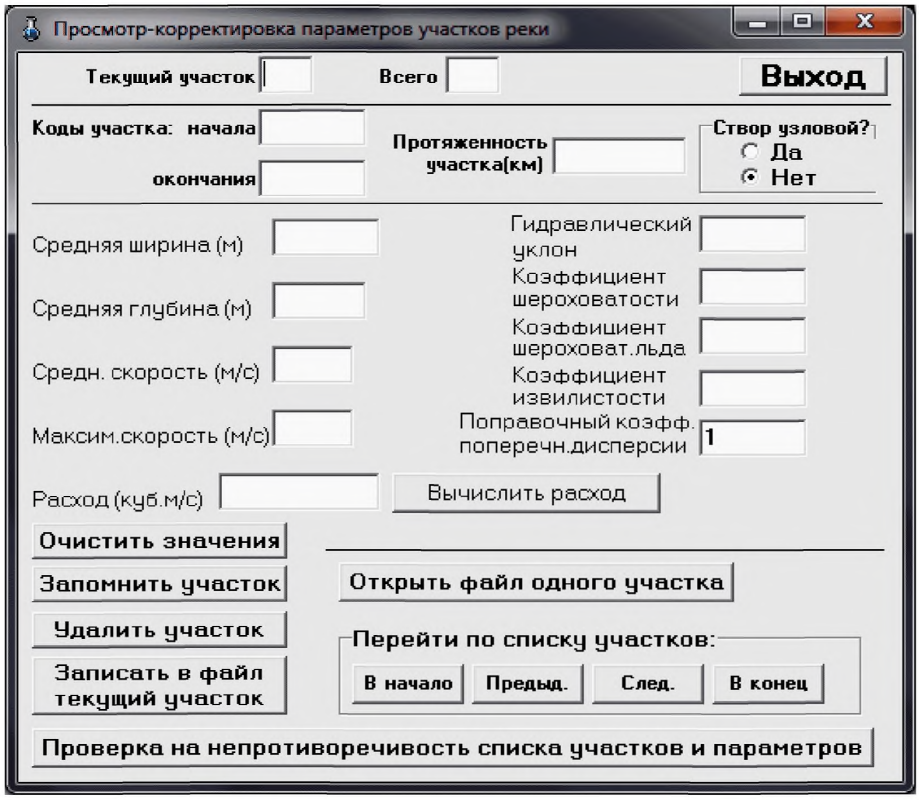


Рисунок А.3 – Экранная форма для просмотра и корректировки параметров участка реки

Участок реки определяется (идентифицируется) кодом створа начала участка и кодом окончания участка. Участок рассматривается сверху вниз по течению реки, поэтому по величине код начала участка больше кода окончания участка. Переход к очередному полю ввода параметров осуществляют клавишей клавиатуры «*Tab*». Расчет значения протяженности участка производится автоматически. Далее вводятся остальные значения параметров участка. При этом, если значение расхода реки на данном участке неизвестно, то его приблизительное значение можно получить щелчком «мыши» на кнопке «*Вычислить расход*», при этом в редакционном окне «*Расход*» появляется результат произведения средней глубины участка, средней ширины и средней скорости течения воды в реке. Следует иметь ввиду, что из двух параметров: «*Гидравлический уклон*» и «*Коэффициент шероховатости*» должно быть внесено хотя бы одно значение, другое может отсутствовать, предпочтительным является наличие значения в редакционном окне «*Гидравлический уклон*». Однако при этом следует помнить, что при расчете средневзвешенных значений параметров участков, для расчета выбирается тот параметр, который присутствует одновременно в данных всех речных участков, используемых для расчета.

Необходимо обязательно обратить внимание на наличие правильной отметки в запросе – «*Створ узловой?*» или нет. Узловой створ является началом очередного речного участка с практически одинаковым расходом речной воды. Начало очередного выделяемого участка характеризуется либо фоновым створом, выбранным для рассмотрения всего участка реки, либо с впадением в узловом створе значительного по расходу источника ЗВ (притока или сброса сточных вод), либо началом подучастка с существенно отличающимися морфометрическими характеристиками.

После ввода значений всех параметров необходимо обязательно запомнить участок в памяти задачи щелчком «мыши» на кнопке «*Запомнить участок*». При этом, если количество введенных участков уже больше одного, участки сортируются по кодам створов начала участков. При необходимости введенный участок можно удалить из памяти кнопкой «*Удалить участок*».

Перед переходом к другим видам ввода информации рекомендуется провести проверку на непротиворечивость значений параметров введенного участка и, если он в памяти задачи не один, то и на непротиворечивость параметров данного участка с другими. Проверка осуществляется нажатием кнопки «*Проверка на непротиворечивость списка участков и параметров*». Результат проверки выводится в открывающимся на экране специальном окне. Сообщения в окне могут быть следующие:

«*Участки отсутствуют. Проверка не требуется.*» – такого рода сообщения самодостаточны и комментарий или разъяснений не требуется;

«*Коды участка равны. Протяженность участка нулевая.*» – комментарий не требуется;

«*Коды участков ошибочны. По кодам участка протяженность участка отрицательная.*» – это означает, что перепутана последовательность введенных кодов створов по течению реки;

«*Не могут одновременно отсутствовать значения гидравлического уклона и коэффициента шероховатости.*» – об этом условии упомянуто выше;

«*Участки <№ z и № z+1 > имеют общую территорию (пересекаются)*» - это означает, что код створа окончания предыдущего участка меньше кода створа начала следующего участка;

«*<Между участками <№ z и № z+1 > имеется пустая территория. Ее протяженность – x км.>*» - комментарий не требуется. И так далее.

После исправления обнаруженных ошибок в окне ввода информации необходимо снова нажать кнопку «*Запомнить участок*».

В случае необходимости просмотра группы участков предусмотрена группа кнопок «*Перейти по списку участков*», которая позволяет перемещаться по сортированному по течению реки списку участков, занесенных в память задачи.

Любой отдельный участок реки можно сохранить в виде файла на диске с помощью кнопки «*Записать в файл текущий участок*». Так может быть подготовлена совокупность участков со своими параметрами. При надобности по этим данным можно сформировать новый список участков, например, при решении задачи для другого сезона или другого рассматриваемого года и т.д. Считывание участков для формирования списка осуществляют кнопкой «*Открыть файл одного участка*». Для добавления в сформированный список участков нового участка необходимо вначале воспользоваться кнопкой «*Очистить значения*».

Выход из данного окна осуществляют кнопкой «*Выход*», при этом заканчивается формирование списка участков для решения задачи. При выходе из данного окна происходит возврат в контекстное меню пункта «*Участки*» горизонтального меню в главной экранной форме.

В разделе «*Участки*», кроме рассмотренной, предусмотрена подзадача «*Открыть файл со списком участков*» (см. рисунок А.2). Этим пунктом меню можно воспользоваться, если ранее уже был подготовлен список участков реки с их параметрами. При выборе этого пункта будут считаны параметры ранее подготовленных участков и представлен список участков, отсортированных по течению реки. После выполнения этого действия осуществляют возврат на главную экранную форму программы. При этом на главной форме появляется уже заполненное окно

«*Коды участков*», в каждой сроке которого будет порядковый номер по списку участков, код створа начала участка и код створа окончания участка. Также в строке этого окна может быть отметка, что створ начала участка узловой.

В задаче «*Участки*» подпункт «*Расчет дисперсий на всех участках*» используется после завершения ввода всех данных по участкам для последующего выполнения задач моделирования (после изменения местоположения какого-либо из участков данный пункт используется повторно).

Пункт подзадачи «*Участки*» «*Записать в файл список участков*» используется для записи всех подготовленных участков с соответствующими параметрами в отдельный файл жесткого диска. Расширение имени файла – «**.are*».

Последний подпункт задачи «*Участки*» «*Удалить список участков*», служит для единовременного удаления всего списка участков реки. Чаще всего этот пункт используется перед загрузкой с диска другого списка участков. После выполнения этого пункта подменю также осуществляют возврат на главную экранную форму программы.

Когда в памяти задачи уже имеется список участков реки с их параметрами, на главной экранной форме в окне кодов участков будет представлен перечень участков в виде списка, в каждой строке которого показан: порядковый номер текущего участка, коды створов начала и окончания участка, а также метка «*Узл.*», если этот участок начинается с узлового створа. Таким образом, на главной форме виден весь список участков реки, введенных для решения задачи.

При необходимости можно вновь быстро войти в окно с параметрами выбранного участка (см. рисунок А3). Для этого следует щелчком «мыши» в окне кодов участков на главной экранной форме активизировать необходимый участок и затем клавишей «*Показать участок*» перейти в окно «*Просмотр-корректировка параметров участка реки*».

А.2.3 Подготовка данных, характеризующих источники ЗВ

А.2.3.1 В качестве источников ЗВ используются:

– выделенная в фоновом створе загрязненная струя;

– притоки первого порядка;

– непосредственно сбросы ЗВ, описываемые совокупностью параметров.

Ключевой характеристикой источника загрязнения является код створа, характеризующий местоположение этого источника на участке реки.

Все источники ЗВ представляют собой список, в котором первым членом обязательно является фоновый створ. Список отсортирован в

порядке уменьшения кодов источников ЗВ, т.е. сверху вниз по течению реки.

Виды работ по подготовке информации по источникам загрязнения появляются при выборе пункта «*Источники загрязнения*» главного экранного меню как пункты подменю, показанные на рисунке А.4.

А.2.2.2 При выборе пункта подменю «*Просмотр-корректировка*» появляется форма «*Просмотр-корректировка параметров фонового створа*» (рисунок А.5). В верхней части по центру формы имеется информационное окно «*Всего ист.загр.*», которое заполняется программой автоматически и недоступно для оператора.

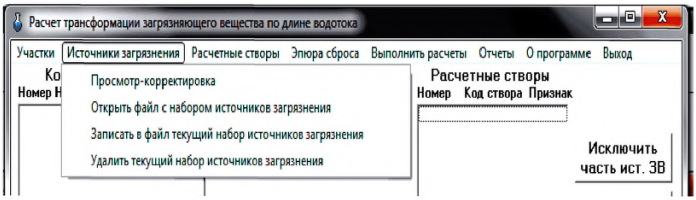


Рисунок А.4 – Перечень операций с данными по источникам ЗВ

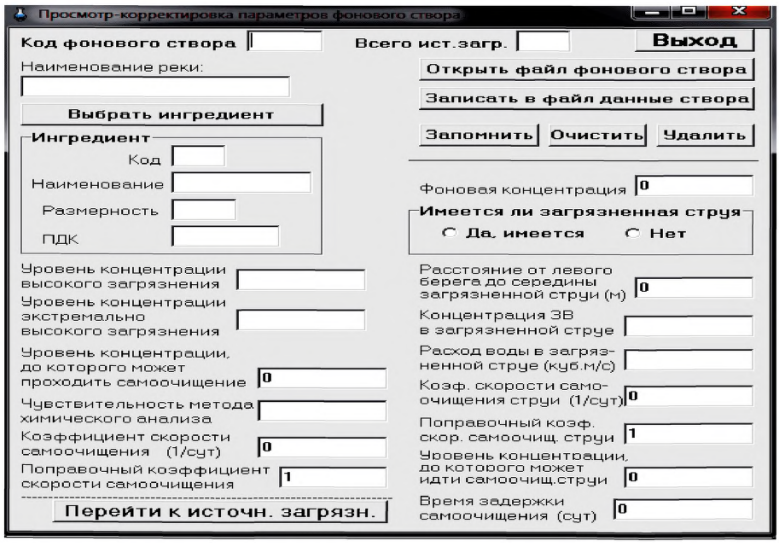


Рисунок А.5 – Экранная форма для ввода, просмотра и корректировки параметров фонового створа

Ввод информации начинается с заполнения поля «*Код фонового створа*», определяющего расположение фонового створа на реке. Важ-

но иметь ввиду, что именно на этой форме вводится описательная информация: на какой именно реке выполняется задача (наименование реки), какой ингредиент рассматривается (осуществляется выбор ингредиента из списка, который считывается автоматически при запуске программы из файла «kod_ingr.win»). Соответственно поля код ингредиента, его наименование, размерность и значение ПДК заполняются автоматически. Данные по ВЗ и ЭВЗ вводят «в ручную». Далее заполняют остальные поля соответствующими значениями. Дают в виде точечной отметки ответ на вопрос радиокнопки «*Имеется ли загрязненная струя?*», и при ее наличии заполняют остальные поля информацией по загрязненной струе.

После ввода всей информации о фоновом створе обязательно необходимо запомнить информацию в памяти задачи – кнопкой «*Запомнить*». Перед запоминанием проводится проверка данных на непротиворечивость и, если найдены ошибки или недопустимые значения, процесс записи прекращается и фокус ввода устанавливается на ошибочном или неправильном параметре для корректировки. В случае неправильного ввода данных в информационном окне выводится сообщение о типе неправильности или уточняющая информация, например, «*Значение уровня концентрации, до которого может происходить самоочищение, должно быть меньше или равно фоновой концентрации*» или «*Значение уровня концентрации, до которого может происходить самоочищение ЗВ в загрязненной струе, должно быть меньше его концентрации в загрязненной струе*». После ввода и запоминания информации по фоновому створу в оперативной памяти задачи создается информационный объект, поэтому, чтобы при дальнейшей работе отказаться от набранной информацией по фоновому створу, необходимо удалить этот объект, что осуществляется кнопкой «*Удалить*». Если же нужно просто очистить поля ввода без запоминания объекта, нажимают кнопку «*Очистить*».

Сформированную информацию по фоновому створу можно сохранить в файле на диске воспользовавшись кнопкой «*Записать в файл данные створа*». И если необходимая информация о фоновом створе была ранее сохранена в файле, ее можно внести в память решаемой задачи кнопкой «*Открыть файл фонового створа*».

Если дальнейшая работа с источниками ЗВ не требуется, нажимают кнопку «*Выход*».

Для продолжения работы по вводу и корректировке информации по другим источникам ЗВ нажимают кнопку «*Перейти к источникам загрязнения*». При этом откроется форма для ввода и корректировки информации непосредственно по источнику сброса ЗВ (рисунок А.6).

Вверху формы находится 2 поля, которые недоступны для оператора и которые программа заполняет автоматически: «*Текущий источн. загрязнения*» (в окне показывается порядковый номер источника в

списке) и «*Всего*» (сведения о том, сколько всего источников загрязнения в списке, включая загрязненную струю в фоновом створе).

В форме в левой колонке расположены поля для заполнения значениями характеристик текущего источника загрязнения.

Правая колонка полей в данной форме начинается с окна для галочки, которая проставляется щелчком «мыши», если расход сброса ЗВ формирует расход речной воды ниже сброса. Ниже следуют поля, характеризующие параметры самоочищения речной воды от ЗВ, поступившего с вышерасположенного участка реки.

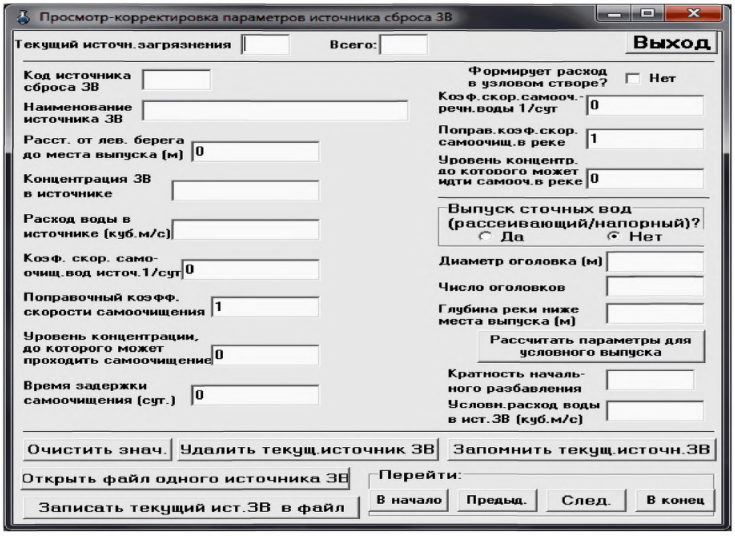


Рисунок А.6 – Экранная форма для просмотра и корректировки параметров источника сброса ЗВ

Если источник сброса ЗВ рассеивающий или напорный, то выбирают радиокнопку «*Да*». И в этом случае заполняют поля: «*Диаметр оголовка*», «*Число оголовков*» и «*Глубина реки ниже места выпуска*» (при выборе радиокнопки «*Нет*» эти поля остаются пустыми). Далее нажимают кнопку «*Рассчитать параметры для условного выпуска*», программа проверяет правильность введенных параметров и условие наличия напорного выпуска. Если последнее условие подтверждается программой, то производится расчет условных параметров напорного выпуска с заполнением соответствующих полей. Если условия напорного выпуска не подтверждаются, то радиокнопка, характеризующая вид выпуска сточных вод, переводится в положение «*Нет*», а поля условных параметров очищаются (если они были ранее заполнены) или остаются пустыми.

После ввода или корректировки параметров источника ЗВ необходимо обязательно нажать кнопку «*Запомнить текущ. источник ЗВ*», при этом в памяти задачи создается объект источника ЗВ и помещается в список источников, отсортированный в порядке убывания кодов створов.

Если объект текущего источника ЗВ не нужен, а он был уже создан ранее, то кнопкой «*Удалить текущ. источник ЗВ*» этот объект удаляют из списка.

Для создания нового источника ЗВ вначале нажимают кнопку «*Очистить знач.*», при этом в данной форме все поля очищаются и процесс ввода данных по новому источнику ЗВ повторяют. Ключевой характеристикой источника ЗВ является код створа, поэтому если сброс сточных вод происходит в одном створе реки, то следует новый источник условно сместить ниже по течению на расстояние не менее 10 м.

Текущий источник загрязнения может быть сохранен на диске кнопкой «*Записать текущий ист. ЗВ в файл*». Если новый источник ЗВ уже есть в файле, то, не вводя его параметры в поля формы, можно просто ввести его в список кнопкой «*Открыть файл одного источника ЗВ*».

Если в память уже был внесен некоторый список источников загрязнения, то с помощью кнопок раздела «*Перейти*» можно вводить в форму, показанную на рисунке А.6, другие источники ЗВ. При этом, при переходе в начало списка с помощью кнопок «*В начало*» или «*Предыд.*», появится форма, показанная на рисунке А.5, для ввода, просмотра и корректировки параметров фонового створа.

Если дальнейшая работа с источниками загрязнения не требуется, то нажимают кнопку «*Выход*».

А.2.2.3 Пунктом «*Открыть файл с набором источников загрязнения*» в подменю «*Источники загрязнения*» можно воспользоваться, если ранее уже был подготовлен список источников загрязнения с их характеристиками и сохранен в файле. При выборе этого пункта будут считаны параметры источников ЗВ и составлен список источников загрязнения, отсортированный по направлению течения реки. После выполнения этого действия осуществляют возврат на главную форму задачи (программы). На главной форме появляется заполненное окно источников загрязнения. В каждой строке записи в окне следует порядковый номер по списку источников загрязнения, код створа, отметка фон – в случае фонового створа, берег сброса и отметка «*узл.*» - в случае, если этот створ узловой.

Отметив нужную строку с источником сброса (левой кнопкой «мыши») и нажав кнопку «*Показать источник загрязнения*», можно открыть экранную форму с занесенными данными фонового створа (см. рисунок А.5) или данными выбранного источника ЗВ (см. рисунок А.6).

А.2.2.4. Пункт «*Записать в файл текущий набор источников загрязнения*» в подменю «*Источники загрязнения*» используется для записи в файл подготовленного списка источников ЗВ для использования при моделировании в другое время. Расширение имени файла - «**.ist*».

А.2.2.5. Пункт «*Удалить текущий набор источников загрязнения*» в подменю «*Источники загрязнения*» служит для единовременного удаления всего списка источников загрязнения. Чаще всего эта операция используется перед загрузкой с диска другого списка источников загрязнения. После выполнения этого пункта подменю осуществляют возврат на главную экранную форму задачи.

А.2.4 Подготовка данных, характеризующих контрольные и расчетные створы

А.2.4.1 Выбор пункта «*Расчетные створы*» главного меню на основной экранной форме задачи, открывает форму «*Створы контроля*» (рисунок А.7), предназначенную для создания и корректировки параметров контрольных и расчетных створов.

Расчетные и контрольные створы создаются и сохраняются в оперативной памяти программы в виде списка, отсортированного в порядке убывания кодов створов, т.е. в направлении течения реки. Каждая строка списка содержит порядковый номер строки списка, код створа, величину измеренной концентрации в реке в этом створе (если она имеется), признак створа содержит код признака (расшифровка кодов признаков показана в верхнем правом углу формы) и наименование створа (текст не более 51 символа).

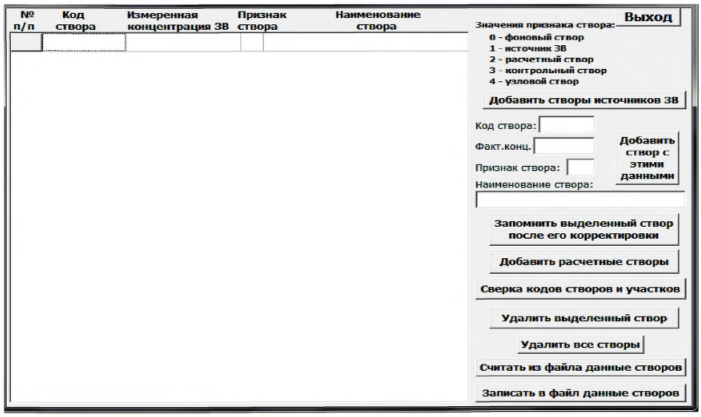


Рисунок А.7- Экранная форма для создания и корректировки контрольных и расчетных створов

А.2.4.2 Ввод новой информации рекомендуется начинать с нажатия кнопки «*Добавить створы источников ЗВ*». В результате назначенной процедуры формируется начальный обязательный список контрольных створов: 10 м и 500 м ниже фонового створа; 500 м выше источника загрязнения; створ, совпадающий с источником загрязнения; 10 м и 500 м ниже источника загрязнения. Далее могут быть добавлены расчетные створы по всей реке или только на интересуемом ее участке.

Для ввода данных по створам заполняют следующие поля: «*Код створа*», «*факт. конц.*» – фактическая концентрация; «*Признак створа*», «*Наименование створа*» (из вводимых данных обязательными являются код створа и признак створа). Для занесения данных очередного створа в список нажимают кнопку «*Добавить створ с этими данными*». Проверка внесенных данных проводится автоматически с выводом сообщений в случае найденной ошибки.

Введенную информацию по створам можно корректировать, для этого «мышью» активируют нужную ячейку списка с корректируемым значением и вводят новое значение. После корректировки всех необходимых данных в ячейках необходимо нажать кнопку «*Запомнить выделенный створ после его корректировки*».

При установлении контрольных створов следует соблюдать условие, чтобы замыкающий контрольный створ на последнем участке реки был выше по течению (хотя бы на 10 м) нижнего пограничного створа этого участка.

Неправильно введенный в список створ можно удалить из списка, для этого щелкают «мышью» на любом поле удаляемой строки и нажимают на кнопку «*Удалить выделенный створ*». Можно удалить сразу все створы (очистить список створов) нажатием на кнопку «*Удалить все створы*». Эта операция обычно нужна перед началом ввода створов или перед вводом списка створов из ранее созданного файла.

А.2.4.2 Для четкого представления изменения концентраций ЗВ по длине реки обычно в дополнение к контрольным створам требуется ввести расчетные створы с небольшим шагом между ними. При этом следует иметь в виду, что, чем меньше по мощности рассматриваемые источники ЗВ (небольшой расход воды, невысокая концентрация ЗВ), тем короче по длине реки должен назначаться шаг между расчетными створами. Число дополнительно вводимых расчетных створов может оказаться довольно большим, поэтому для автоматизированного ввода расчетных створов с небольшим шагом служит кнопка «*Добавить расчетные створы*». При нажатии на эту кнопку появляется окно для ввода величины шага между створами. После ввода этой величины и нажатия клавиши подтверждения автоматически в список створов будут добавлены расчетные створы с заданным шагом.

Подготовив таким образом список створов, его проверяют на принадлежность всех створов участкам реки. Эта операция осуществляется нажатием кнопки «*Сверка кодов створов и участков*». Если ошибок нет,

из данной формы выходят нажатием кнопки «*Выход*». Перед выходом из формы, для последующего использования сформированный список створов можно записать в файл, пользуясь кнопкой «*Записать в файл данные створов*».

При записи в файл появляется стандартное окно операционной системы для выбора папки в иерархии файловой системы ПК. Назначение имени файла выполняют с расширением «**.stv*». Далее появляется окно выбора признака створов (рисунок А.8), в котором необходимо определить, какие типы створов будут запоминаться в файле. Выделение необходимых строк производится по правилам, принятым в операционной системе Windows – при нажатой клавиши клавиатуры Ctrl выделяют нужную строку щелчком левой кнопкой «мыши» или отменяет выделение, если оно было сделано ранее, и т.д. Также можно выделять или снимать выделение диапазона строк. Кроме того, для быстрого выделения-снятия выделения имеются кнопки «*Отметить все*» и «*Снять отметки*». При нажатии клавиши «*Продолжить*» будет произведена запись в назначенный файл сформированного списка створов.

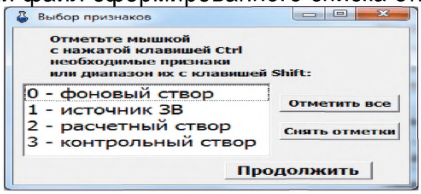
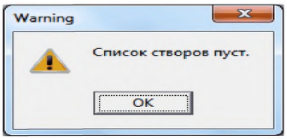


Рисунок А.8 – Окно выбора признаков створов

Попытка записать в файл расчетные или контрольные створы при их отсутствии вызовет появление сообщения:



А.2.4.3 Если имеется ранее записанный файл с данными расчетных и контрольных створов, то можно сразу при открытии этой формы сформировать список створов, считав его из файла. Для этого надо воспользоваться кнопкой «*Считать из файла данные створов*». При этом сначала появляется окно выбора вида добавления или замены створов новыми данными (рисунок А.9), т.е. список створов или предварительно будет очищен, а затем внесен новый из файла в память программы, или считываемые из файла данные по створам будут добавлены к существующему списку. При продолжении ввода информации появляется окно выбора признаков створов (см. рисунок А.8). Сделанные отметки

значений признаков в соответствующих строках определят, какие створы и с какими признаками будут считаны из файла.

А.2.4.4 Для выхода из данной формы и входа в главную экранную форму нажимают кнопку «*Выход*». В главной экранной форме в окне «*Расчетные створы*» в виде краткой информации отображается сформированный список расчетных и контрольных створов. Далее, для того, чтобы быстро попасть в форму створов контроля, достаточно нажать кнопку под эти окном – «*Показать створы*», при этом выделять какой-нибудь створ в окне «*Расчетные створы*» не обязательно.

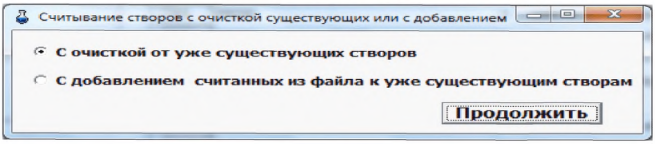


Рисунок А.9 – Окно выбора вида добавления или замены новыми данными

А.2.5 Подготовка данных, характеризующих нестационарный сброс загрязненных вод

А.2.5.1 Выбор пункта «*Эпюра сброса*» на главной экранной форме, открывает форму «*Данные сосредоточенных и рассредоточенных нестационарных сбросов ЗВ и их эпюр*», показанную на рисунке А.10а. Данная форма предназначена для ввода и корректировки данных, характеризующих нестационарные сбросы ЗВ со склоновым стоком с территорий населенных пунктов или сельхозугодий.

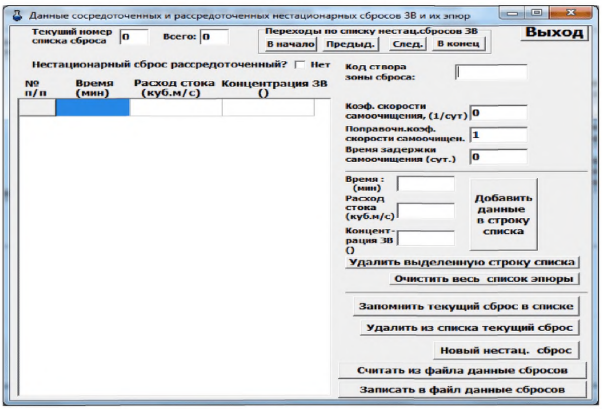


Рисунок А.10а – Экранная форма для ввода данных нестационарных сбросов и их эпюр (для случая сосредоточенного сброса)

А.2.5.2 В задаче рассматриваются два варианта нестационарных сбросов:

– сосредоточенный, когда сброс занимает малую протяженность по берегу реки, которой можно пренебречь;

– рассредоточенный, когда сброс занимает по берегу реки значительное расстояние.

Нестационарный сброс ЗВ любого вида характеризуется эпюрой сброса – распределением во времени расхода воды и концентрации ЗВ в склоновом стоке с территории населенного пункта или сельхозугодий.

В случае сосредоточенного нестационарного сброса пространственно он будет определяться единственным кодом сброса – кодом створа в месте сброса, в случае же рассредоточенного нестационарного сброса двумя кодами створов – кодом створа начала зоны и кодом створа окончания зоны сброса. Идентифицироваться нестационарные сбросы обоих видов будут одной характеристикой – кодом створа в месте сброса в первом случае и кодом створа начала зоны сброса – во втором.

А.2.5.3 В задаче все учитываемые нестационарные сбросы хранятся в виде списка. Список отсортирован в порядке уменьшения кодов створов, т.е. сверху вниз по течению реки.

В верхней части формы имеется два окна, в которых отражаются: текущий номер нестационарного сброса по отсортированному списку кодов створов и сколько всего нестационарных сбросов в списке. Эти окна носят информационный характер и не доступны для редактирования.

В верхней части формы имеется также четыре кнопки для навигации (переходам) по списку нестационарных сбросов на общей панели группирования «*Переходы по списку нестац.сбросов ЗВ*»: «*Начало*», «*Предыд.*», «*След.*» и «*В конец*».

А.2.5.4 Перед вводом информации по очередному нестационарному сбросу, необходимо сначала очистить весь список эпюры, нажав кнопку «*Очистить весь список эпюры*», затем определить, по какому виду сброса будет вводиться информация: по сосредоточенному или рассредоточенному. Для этого в строке «*Нестационарный сброс рассредоточенный?*» необходимо поставить галочку для случая рассредоточенного нестационарного сброса или снять ее в случае сосредоточенного сброса.

Если галочка рассредоточенного сброса не поставлена (сброс сосредоточенный), то сброс идентифицируется одним значением – «Кодом створа зоны сброса».

Если галочка поставлена (т.е. нестационарный сброс является рассредоточенным), то (см. рисунок А.10б) на форме появляется дополнительное поле редактирования «*Код створа оконч. зоны сброса*». Таким образом, заполнение полей – «*Код створа зоны сброса*» и «*Код створа оконч. зоны сброса*» полностью определяет зону рассредото-

ченного сброса, как по идентификатору, так и по длине зоны рассредоточенного сброса вдоль берега.

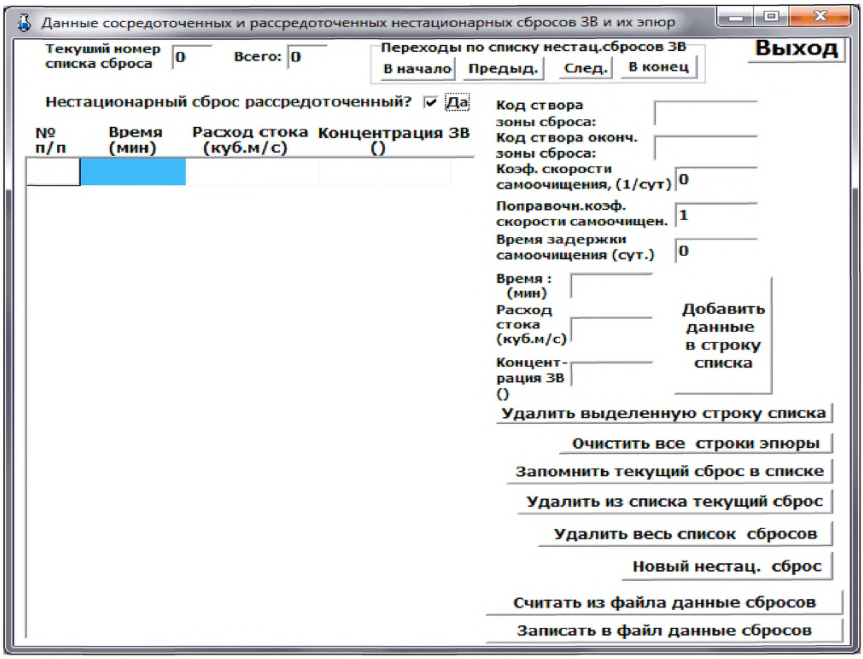


Рисунок А.10б – Экранная форма для ввода данных нестационарных сбросов и их эпюр

А.2.5.5 Данные по сбросу в целом вводят в следующие редакционные окна формы: «*Коэффициент скорости самоочищения*» (по умолчанию равен нулю), «*Поправочный коэффициент скорости самоочищения*» (по умолчанию равен единице) и «*Время задержки самоочищения*» (по умолчанию равно нулю).

Затем вводят данные эпюры распределения величин расхода сброса и концентрации ЗВ во времени. Отсчет времени начала сброса начинается с нуля. При вводе данных эпюры заполняют окна «*Время*», «*Расход стока*» и «*Концентрация ЗВ*». Нажатие кнопки «*Добавить*» позволяет осуществить ввод набранных данных в соответствующую строку данных эпюры. В рассматриваемой экранной форме также как и на формах ввода других видов исходной информации, вводимые данные можно корректировать, удалять, очищать весь список. Чтобы не набирать все данные заново каждый раз, когда необходимо только внести некоторые изменения в уже существующий вариант введенных данных, целесообразно запомнить все введенные или измененные данные

нестационарного сброса в отдельном файле (расширение файла - «*.ери») и при необходимости считывать для дальнейшей работы эти данные из этого файла. При изменении какого-либо значения в эпюре нестационарного сброса ЗВ следует его фиксировать нажатием клавиши «Enter»

А.2.5.6 Выход из данной формы выполняется с помощью кнопки «*Выход*».

А.3 Выполнение расчетов программы

А.3.1 Общие замечания

При выборе пункта главного экранного меню «*Выполнить расчеты*» открывается подменю со следующими пунктами:

– *Расчет стационарной задачи*;

– *Расчет влияния нестационарного сброса ЗВ*.

Следует иметь ввиду, что решение стационарной задачи является основной целью моделирования трансформации ЗВ по длине реки. Все другие расчеты являются дополнительными, расширяющими возможные виды выходной информации в процессе моделирования разных ситуаций на водном объекте.

А.3.2 Расчет стационарной задачи

А.3.2.1 После введения в оперативную память программы всей необходимой для моделирования исходной информация для запуска стационарной задачи в меню главной экранной формы выбирают пункт «*Выполнить расчеты*», а в раскрывающемся подменю - «*Расчет стационарной задачи*».

Вначале расчета программными средствами автоматически проверяется возможность вычисления основных расчетных параметров математической модели.

Если по какой-либо причине (обычно при некорректном введении исходных данных) не удается рассчитать коэффициент поперечной дисперсии, то расчет останавливается с выводом сообщения «*Значение поперечной дисперсии нельзя определить на участках реки. Решение задачи не производится*».

Выполняется также проверка на обязательное наличие фонового створа и в случае его отсутствия выдается сообщение «*В задаче отсутствует фоновый створ. Решение задачи не производится*».

А.3.2.2 Для проведения расчетов требуется, чтобы в узловых створах участков были в наличии источники ЗВ с расходом более 20 % от расхода воды в реке. Если обнаруживается несоответствие, то выдается сообщение о том, что «*Узловому створу реки с кодом* (№xxx) *соответствует источник загрязнения с недостаточным расходом (равен или менее 20 % расхода реки)*». Может появиться и такое сообщение «*В*

исходных данных задачи узловому створу с кодом (№xxx) *не соответствует никакого источника загрязнения с достаточным расходом*».

В процессе счета в необходимых местах реализации алгоритма проводится проверка на соответствие контрольных и расчетных створов указанным в задаче участкам реки. В случаях несоответствия выдается сообщение «*Расчетный створ* (№xxx) *не в пределах участков реки. Решение задачи не производится*» и расчет прекращается.

На этом дополнительная проверка исходной информации заканчивается и продолжается непосредственно расчет трансформации ЗВ вдоль водотока. Для сопровождения процесса расчета открывается специальное окно с движущимся индикатором (рисунок А.11).

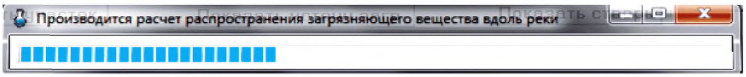


Рисунок А.11 – Окно индикатора расчета

Как только расчет будет закончен, окно индикатора счета закроется, а на графике главной экранной формы программы появится кривая, отражающая изменение максимальной концентрации загрязняющего вещества в расчетных и контрольных створах вдоль реки (рисунок А.12). Следует иметь ввиду, что течение реки на графике отображено справа налево (фоновый створ находится с правой стороны).

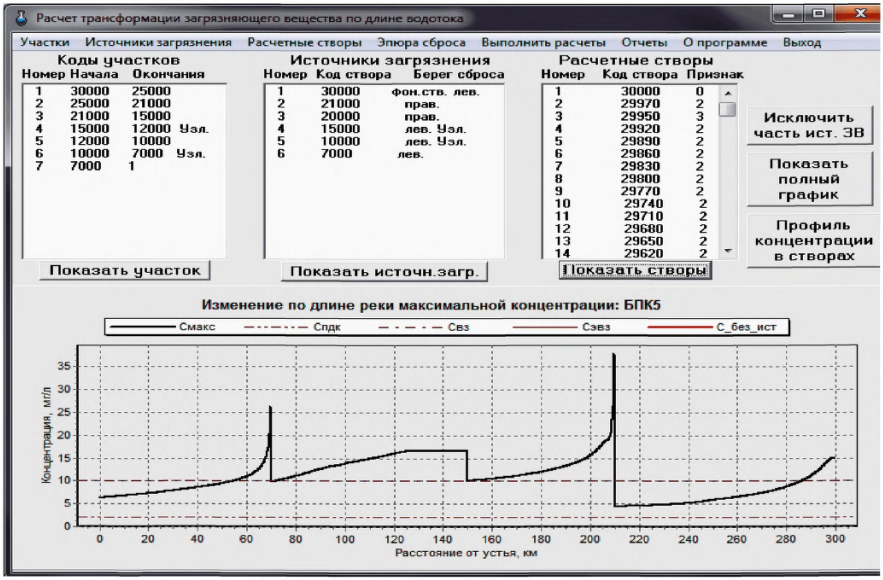


Рисунок А.12 – Главная экранная форма после завершения расчета стационарной задачи

А.3.2.3 Если требуется ориентировочно оценить более полное распределение концентраций ЗВ в русле реки, то на главной экранной форме следует нажать на кнопку «*Показать полный график*». Откроется форма (рисунок А.13), на которой изображены три кривые, приближенно определяющие изменение по длине реки максимальных, средних и минимальных концентраций ЗВ. Следует обратить внимание на следующее положение: если не вызвать на экран (для просмотра) форму рисунка А.13, то эта форма не будет заполнена графиками и не отразится в основном отчете.

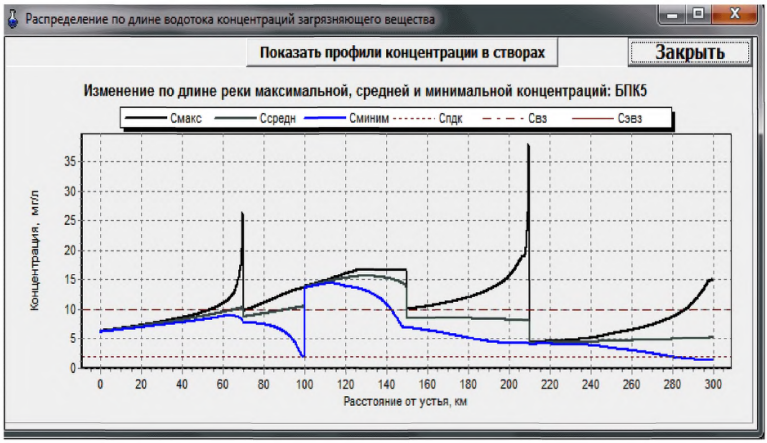


Рисунок А.13 – Иллюстрация на главной экранной форме изменения по длине реки максимальных, средних и минимальных концентраций ЗВ

А.3.2.4 Имеется также возможность просмотра ориентировочного распределения концентрации ЗВ в заданном створе реки (контрольном или расчетном). Для этого есть две точки входа:

а) если задействована и активна главная экранная форма, показанная на рисунке А.12, то на ней используется кнопка «*Профиль концентрации в створах*» (см. рисунок А.12);

б) если задействована и активна форма, показанная на рисунке А.13, то на ней используется кнопка «*Показать профили концентрации в створах*».

При выборе любого варианта из указанных открывается форма «*Изменение по сечению реки концентрации загрязняющего вещества*» (рисунок А.14). В правой стороне формы есть окно для выбора кода створа. После выбора створа и нажатия кнопки «*Продолжить*» на графике показывается изменение концентрации ЗВ по сечению реки в выбранном створе. Выше графика приводятся значения максимальных,

средних и минимальных значений концентраций ЗВ, а также рассчитанный коэффициент смешения речных и загрязненных водных масс.

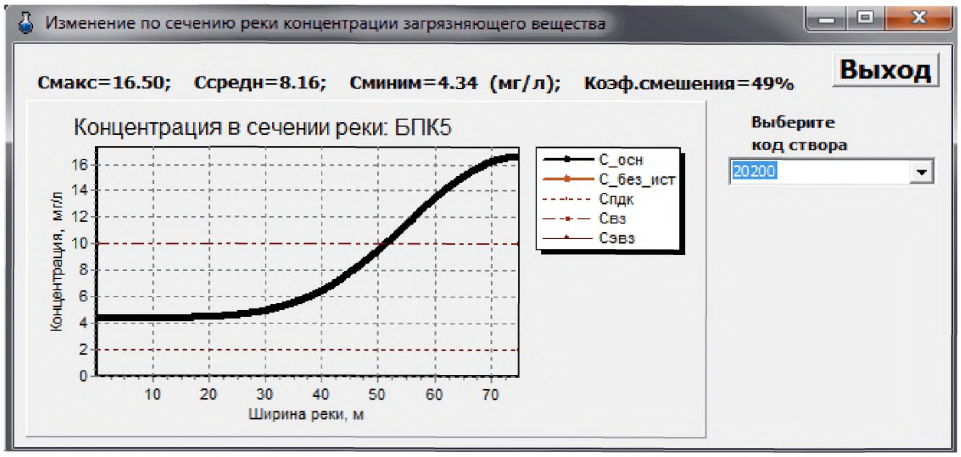


Рисунок А.14 – Экранная форма для иллюстрации изменения по сечению реки концентрации ЗВ.

А.3.3 Решение задачи по исключению части источников ЗВ

А.3.3.1 После получения результатов решения стационарной задачи может возникнуть необходимость в оценке степени влияния некоторых отдельных источников ЗВ на формирование максимальной концентрации ЗВ в условиях исключения из расчета одного или нескольких источников ЗВ. В программе такая постановка задачи решается с помощью подзадачи «*Исключить часть источников ЗВ*». Для запуска этой подзадачи, справа на главной экранной форме есть кнопка с аналогичным названием, после нажатия на нее, появляется возможность решения поставленной задачи. Рассматриваемая подзадача может решаться только при условии, что уже проведено решение стационарной задачи. Если условие не выполнено, то выдается сообщение «*Не выполнен основной расчет трансформации загрязняющих веществ*» и прекращается выполнение подзадачи с возвратом на главную экранную форму. Если данное условие соблюдено, то на экране появляется форма со списком кодов источников ЗВ для исключения части из них (рисунок А.15).

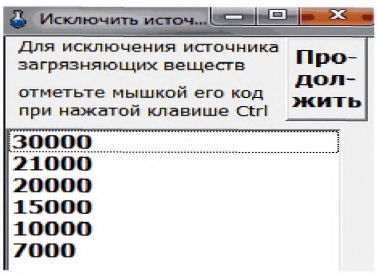


Рисунок А.15 – Окно для назначения кодов источников ЗВ для временного исключения их из расчета.

А.3.3.2 На данной форме по правилам работы с операционной системой Windows отмечают те коды источников ЗВ, без которых нам необходимо выполнить дополнительный расчет стационарной задачи для оценки формирования максимальных концентраций ЗВ в створах реки. При выполнении данной задачи для исключения нельзя брать источники ЗВ в узловых створах. Для этих источников решение такой задачи решается в рамках вариантов моделирования стационарных сбросов ЗВ со снижением концентраций ЗВ в сточных водах, а также изменением расходов сточных вод и корректировкой параметров русла реки ниже узлового створа.

В результате расчета получают график двух кривых, показывающих изменение максимальных концентраций по длине реки по данным ранее проведенного решения стационарной задачи (черный цвет) и по данным расчета с исключением источников ЗВ (красный цвет). Следует иметь ввиду, что, поскольку линия графика стационарного решения воспроизводится первой, а линия с исключенными источниками ЗВ после нее, то в тех точках, где линии совпадают (имеют одинаковые значения), остается только красная линия (рисунок А.16).

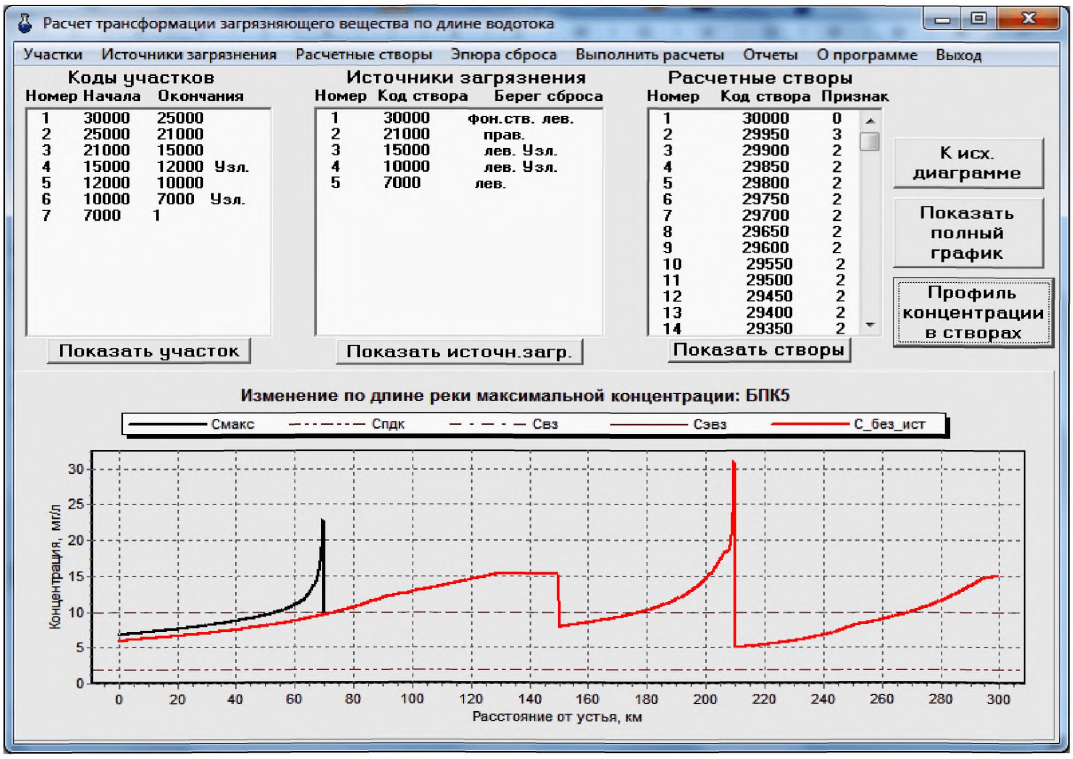


Рисунок А.16 – Пример иллюстрации результата решения подзадачи с исключением части источников ЗВ.

А.3.3.3 После выполнения рассматриваемой подзадачи можно, воспользовавшись кнопкой «*Профиль концентрации в створах*», по-

смотреть распределение двух линий в окне формы «*Изменение по сечению реки концентрации загрязняющего вещества*» (рисунок А.17).

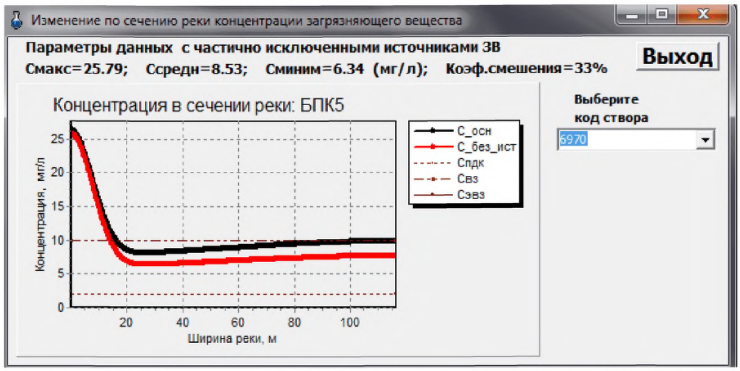


Рисунок А.17 – Пример иллюстрации изменения по сечению реки концентрации ЗВ в случае расчета с удаленными источниками ЗВ

А.3.3.4 После просмотра изменения концентраций ЗВ в сечении реки в заданном створе можно вернуться к результатам стационарной задачи, исключив красную линию. Это выполняют нажатием кнопки «*К исх. диаграмме*», в результате чего график результата расчета по стационарной задаче восстанавливается и восстанавливается прежнее наименование кнопки – «*Исключить часть источников ЗВ*». После возврата на исходную позицию можно (при необходимости) повторить расчет по рассмотренной подзадаче, исключая другие источники ЗВ.

А.3.4 Решение задачи по оценке влияния нестационарного сброса ЗВ

А.3.4.1 С целью решения задачи по определению влияния на качество речной воды нестационарного поступления ЗВ со склоновым стоком с территории населенных пунктов и сельхозугодий, выбирают пункт «*Выполнить расчеты*» основного меню главной экранной формы и в раскрывшемся подменю выбирают пункт «*Расчет влияния нестационарного сброса ЗВ*».

Учитывая, что выполнение рассматриваемой задачи основано на предварительном проведении решения стационарной задачи, перед расчетом проверяется наличие результатов расчета стационарной задачи. Если в пункте подзадачи «*Участки*» была использована кнопка «*Расчет дисперсий на всех участках*», то предварительный расчет стационарной задачи не требуется (в случае изменения при подготовке исходных данных местоположения какого-либо из участков данный пункт используется повторно).

А.3.4.2 Для расчета влияния нестационарного сброса ЗВ используется предварительно подготовленная информация в виде эпюры нестационарного сброса. Если эта информация отсутствует, то выдается сообщение «*Отсутствуют исходные данные по эпюре сброса ЗВ. Решение задачи не производится*» и расчет прекращается. Для распределенного нестационарного сброса при размещении расчетных и контрольных створов по длине реки следует иметь ввиду, что, чем меньше расстояние между расчетными створами на речном участке ниже расположения зоны сброса сточных вод, тем больше времени требуется для расчета рассматриваемой задачи программными средствами. Последней проверкой перед выполнением рассматриваемой задачи является определение допустимости применения использованного в программе метода расчета в части требуемого соотношения расхода реки и расхода сбрасываемых сточных вод. Если проверка дает отрицательный результат, то при рассмотрении сброса ливневых сточных вод с городской территории выдается сообщение «*Расход нестационарного сброса составляет от речного более 20 %. Решение задачи не производится*» и расчет прекращается. В случае рассмотрения распределенного сброса склоновых вод с сельхозугодий при указанном отрицательном результате выдается аналогичное сообщение, но вместо 20 % указывается 30 %.

Если ранее проводились расчеты другой нестационарной задачей, то для сокращения времени расчета новой задачи с нестационарным сбросом целесообразно контрольные створы для рассматриваемого участка реки ввести заново.

А.3.4.3 Для контроля за процессом расчета открывается окно индикатора расчета (см. рисунок А.11). Когда расчет заканчивается, окно индикатора расчета закрывается и на диаграмме появляются две кривые: одна черного цвета – результат ранее выполненного решения стационарной задачи; другая красного цвета – изменение концентрации ЗВ по длине реки в результате влияния нестационарного сброса ЗВ (рисунок А.18).

А.3.4.4 Чем большей протяженности взят для расчета участок реки, тем больше времени требуется на проведение расчета. Для более быстрых расчетов при рассмотрении разных исходных данных желательно брать только участки реки, где заметно влияние на качество воды нестационарного сброса.

А.4. Подготовка отчетных документов

А.4.1 Общие замечания

После выполнения необходимых расчетов и анализа полученных графических материалов формируют выходные отчетные документы.

Для этой цели в главном меню основной экранной формы программы предусмотрен пункт «*Отчеты*», в результате активизации которого можно получить следующие документы:

- «*Сравнение расчета и факта*»;
- «*Основной отчет в Word*»;
- «*Отчет по задаче с исключенными источниками ЗВ*»;
- «*Отчет по задаче с нестационарным сбросом*».

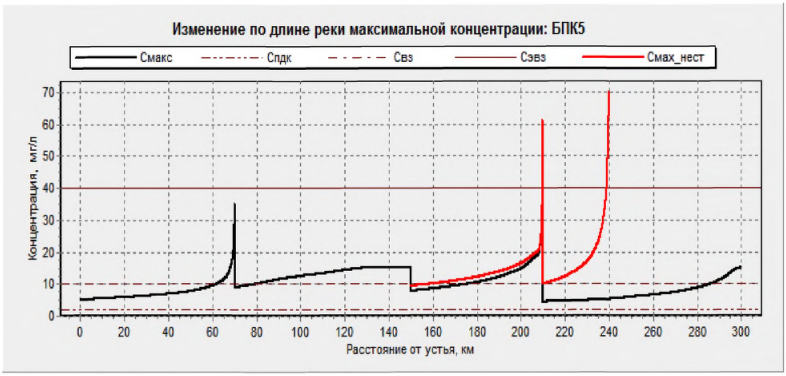


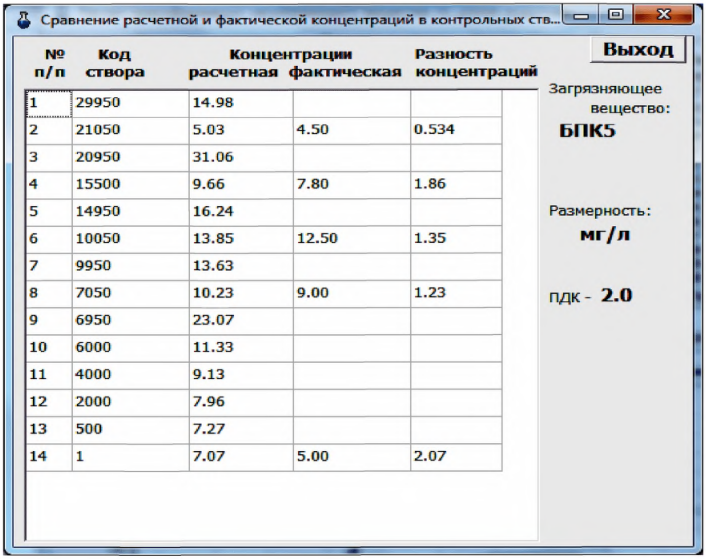
Рисунок А.18 – Иллюстрации результата расчета влияния нестационарного поступления ЗВ со склоновым стоком

А.4.2 Отчет сравнения результатов расчета и фактических данных

Для формирования отчетных материалов выбирают пункт «*Отчеты*» основного меню главной экранной формы, а в раскрывшемся подменю - пункт «*Сравнение расчета и факта*». В результате этих действий открывается экранная форма (рисунок А.19), отражающая результаты сравнения фактических и расчетных данных.

Следует отметить, что данный отчет выводится программными средствами в виде специальной формы программы, в отличие от остальных отчетов, которые подготавливаются, как содержание редактора «Word». Это связано с тем, что результат сравнения, как правило, нужен только для временного просмотра с целью решения задачи по назначению или уточнению поправочных коэффициентов математической модели. Если требуется зафиксировать этот результат во внешнем документе, то следует провести копирование данной формы в документ редактора Word средствами операционной системы Windows следующим образом: во время просмотра формы «*Сравнение расчетной и фактической концентраций ЗВ в контрольных створах*» нажимают клавишу «PrtSc» при нажатой и удерживаемой клавише «Alt» клавиату-

ры. Таким способом копия формы переводится как рисунок в буфер операционной системы. Затем этот рисунок из буфера может быть помещен в текст, содержащийся в редакторе «Word», с помощью клавиши «V» с одновременным удержанием нажатой клавиши «Ctrl». При этом следует также иметь ввиду, что данная информация в несколько другом виде автоматически фиксируется и в отчете «*Основной отчет в Word*».



№ п/п	Код створа	Концентрации расчетная	фактическая	Разность концентраций
1	29950	14.98		
2	21050	5.03	4.50	0.534
3	20950	31.06		
4	15500	9.66	7.80	1.86
5	14950	16.24		
6	10050	13.85	12.50	1.35
7	9950	13.63		
8	7050	10.23	9.00	1.23
9	6950	23.07		
10	6000	11.33		
11	4000	9.13		
12	2000	7.96		
13	500	7.27		
14	1	7.07	5.00	2.07

Рисунок А.19 – Пример отчетных материалов сравнения расчетной и фактической концентраций ЗВ в контрольных створах

А.4.3 Получение основного отчета

А.4.3.1 Для получения основного отчета по результатам приведенных расчетов в рамках стационарной задачи выбирают пункт «*Отчеты*» основного меню главной экранной формы, а в раскрывшемся подменю – пункт «*Основной отчет в Word*». Учитывая, что содержание данного отчета построено на результатах решения стационарной задачи, перед его формированием программными средствами проверяется наличие решения стационарной задачи. Если это решение отсутствует, то выдается сообщение «*Не выполнен основной расчет трансформации загрязняющих веществ*» и формирование отчета прекращается. Если решение имеется, то проводится формирование отчета в среде редактора Word.

Когда формирование отчета в среде Word заканчивается, появляется сообщение «*Перейдите в полученный документ, откорректируйте, сохраните и вернитесь в программу*». Для продолжения формирования отчета необходимо перейти в полученный документ, просмотреть и при необходимости откорректировать и дополнить его необходимой информацией (например, подписями исполнителя документа) и обязательно запомнить в виде файла, т.к. при возвращении в программу она закроет данный документ без запоминания. Возврат в главную экранную форму программы выполняют нажатием кнопки «*ОК*».

А.4.3.2 Представляемая форма отчета состоит из трех частей:

– описания контрольных створов на реке;

– результатов моделирования изменения максимальной концентрации ЗВ;

– результатов моделирования изменения максимальной, средней и минимальной концентраций ЗВ;

– таблицы сравнения расчетной и фактической концентраций ЗВ в контрольных створах по длине реки.

В первой части отчета «*Результаты моделирования изменения максимальной концентрации загрязняющего вещества по длине водотока*» указывается наименование рассматриваемого ЗВ, наименование реки и выбранный для расчета ее участок от фонового до последнего контрольного створа (в километрах с сотыми долями). Далее приводится рисунок - копия диаграммы с главной экранной формы программы, отражающий график изменения максимальной концентрации ЗВ по длине реки. Затем идет таблица «*Контрольные створы на водотоке*», в которой приводятся в строках:

– код створа;

– расстояние от устья реки в километрах;

– значение максимальной концентрации ЗВ в контрольном створе;

– наименование створа.

Ниже таблицы оставлено место для заполнения оператором «*принятых условий для расчета*» и место для подписи ответственного за проведение расчетов.

Вторая часть отчета начинается с названия этой части отчета «*Результаты моделирования изменения максимальной, средней и минимальной концентраций загрязняющего вещества*», наименования реки и данных о протяженности выбранного для расчетов ее участка от фонового до последнего контрольного створа (в км с сотыми долями). Далее приводится рисунок-копия диаграммы с главной экранной формы, показывающей графики изменения по длине реки максимальной, средней и минимальной концентраций ЗВ. Далее следует таблица «*Расчетные концентрации в створах*», в которой в строках приводятся:

– код створа, расстояние от устья реки в километрах;

– наименование створа;

– значения минимальной, средней и максимальной концентраций ЗВ в створе.

Ниже таблицы оставлено место для подписи оператора, проводившего расчеты.

Третья часть отчета начинается с названия этой части отчета «*Сравнение расчетной и фактической концентраций загрязняющего вещества в контрольных створах по длине реки*», наименования реки и данных о протяженности выбранного для расчетов ее участка от фонового до последнего контрольного створа (в километрах с сотыми долями). Затем идет таблица, в которой приводятся в строках:

– порядковый номер,

– код створа,

– расстояние от устья реки в км,

– наименование створа,

– расчетная максимальная концентрация,

– фактическая максимальная концентрация и

– погрешность расчета в абсолютных значениях и процентах.

Ниже таблицы оставлено место для подписи оператора, проводившего расчеты.

А.4.3.3 Примеры общего вида сформированного программными средствами основного отчета и других отчетных материалов показаны в приложении В.

А.4.5 Отчет по результатам расчета стационарной задачи с исключением части источников ЗВ

А.4.5.1 Для получения данного отчета выбирается пункт «*Отчеты*» основного меню главной экранной формы и из раскрывшегося подменю – пункт «*Отчет по задаче с исключенными источниками ЗВ*».

Учитывая, что содержание данного отчета построено на результатах решения как задачи со статическими источниками ЗВ, так и подзадачи исключения части источников ЗВ, то перед формированием отчета проверяется наличие решения указанных задачи и подзадачи. Если решение отсутствует, то последовательно выдаются сообщения: «*Не выполнен расчет трансформации загрязняющих веществ с исключенными источниками ЗВ*» или «*Не выполнен основной расчет трансформации загрязняющих веществ*» и формирование отчета прекращается с выходом на главную экранную форму программы для принятия мер по проведению необходимых расчетов. Если решения имеются, то начинается формирование отчета в среде редактора Word.

А.4.5.2 После окончания формирование отчета в среде Word, появляется сообщение «*Перейдите в полученный документ, откорректируйте, сохраните и вернитесь в программу*». Для продолжения работы переходят (активируют) в полученный документ, просматривают его, при необходимости корректируют и дополняют необходимой ин-

формацией (например, подписями) и обязательно запоминают в виде файла на жестком диске, иначе при возврате в программу подготовленный документ будет утрачен. С целью возврата в главную форму программы для дальнейшей работы нажимают кнопку «*ОК*».

А.4.5.3 Рассматриваемый отчет имеет название «*Результаты моделирования изменения концентрации загрязняющего вещества по длине водотока*». Далее идет подзаголовок «*Продольные профили изменения максимальной концентрации* (наименование ингредиента) *с исключением и без исключения отдельных сбросов сточных вод*»; наименования реки и протяженность рассмотренного участка реки от фонового створа до последнего контрольного створа (в километрах с сотыми долями). Ниже приводится рисунок-копия диаграммы с главной экранной формы программы, отражающий график изменения максимальной концентрации ЗВ вдоль реки (черного цвета) и изменения максимальной концентрации ЗВ вдоль реки при исключенных некоторых сбросов ЗВ (линия красного цвета). После рисунка приводится список кодов исключенных источников загрязнения. Затем идет таблица «*Расчетные концентрации в створе* (размерность концентраций)», в которой в строках приводятся:

– код створа,

– расстояние от устья реки в километрах,

– наименование створа,

– максимальная концентрация ЗВ до исключения сбросов сточных вод,

– максимальная концентрация после исключения сбросов сточных вод.

Ниже таблицы оставлено место для подписи оператора, проводившего расчеты.

А.4.5 Отчет по результатам расчета влияния на качество речной воды нестационарного сброса ЗВ

А.4.5.1 Для получения данного отчета выбирают пункт «*Отчеты*» основного меню главной экранной формы и в раскрывшемся подменю - «*Отчет по задаче с нестационарным сбросом*».

Учитывая, что содержание данного отчета построено на результатах решения стационарной задачи, перед формированием отчета проверяется наличие решения такой задачи. Если эти решение отсутствует, то последовательно выдается сообщение «*Не выполнен основной расчет трансформации загрязняющих веществ*» и формирование отчета прекращается, с выходом на главную форму программы с целью принятия мер для корректного проведения необходимых расчетов. Если решение имеется, то начинается формирование отчета в среде редактора Word.

Когда формирование отчета в среде Word заканчивается, появляется сообщение «*Перейдите в полученный документ, откорректируйте, сохраните и вернитесь в программу*». Необходимо перейти в полученный документ, просмотреть и при необходимости откорректировать, дополнить необходимой информацией (например, подписями опе-

ратора) и обязательно запомнить в файле на жестком диске, иначе при возвращении в программу она закроет данный документ без запоминания. Далее для дальнейшей работы следует вернуться в программу, нажать кнопку «*ОК*».

А.4.5.2 Рассматриваемый отчет начинается с его названия «*Результаты моделирования изменения максимальных концентраций загрязняющего вещества по длине водотока с учетом нестационарного сброса сточных вод*». Затем приводятся: наименование ЗВ и его размерности; наименования реки и протяженность рассматриваемого участка реки от фонового до последнего контрольного створа (в км с сотыми долями). Ниже приводится рисунок-копия диаграммы с главной экранной формы программы, отражающий график изменения максимальной концентрации ЗВ по длине реки (черного цвета) и изменения максимальной концентрации ЗВ вдоль реки с учетом нестационарного сброса ЗВ (линия красного цвета). После рисунка приводятся сведения о нестационарном сбросе ЗВ:

– местоположение начала зоны сброса в километрах от устья,
– местоположение окончания зоны сброса в километрах от устья,
– суммарный коэффициент скорости самоочищения в 1/сут,
– поправочный коэффициент скорости самоочищения,
– время задержки самоочищения в сутках.

Затем приводится таблица эпюры сброса, в которой представлены (построчно):

– номер по порядку,
– время в минутах,
– расход в кубических метрах,
– концентрация ЗВ.

Далее представляется таблица «*Расчетные концентрации в створе* (в т.ч. размерность концентраций)», в строках которой приводятся:

– код створа,
– расстояние от устья реки,
– наименование контрольного створа,
– максимальная концентрация ЗВ без учета нестационарного сброса,
– максимальная концентрация ЗВ с учетом нестационарного сброса.

Ниже таблицы оставлено место для подписи оператора, проводившего расчеты.

А.4.6 Выход из программы

Окончание работы с программой и закрытие главной экранной формы программы осуществляют, выбрав пункт главного меню «*Выход*».

Приложение Б
(рекомендуемое)

Методы определения ориентировочных расходов склоновых вод, поступающих с городской территории и сельхозугодий, а также содержания в них ЗВ

Б.1 Методы определения ориентировочных расходов склоновых вод, поступающих с городской территории, а также содержания в них ЗВ

Б.1.1 Сток дождевых вод

Для ориентировочного расчета стока дождевых вод требуется следующая исходная информация:

– вид выпуска сточных вод: сосредоточенный (по одной балке или одному выпуску ливневых вод), распределенный (в виде ручейковой сети по небольшим оврагам, балочкам, ливнестокам);

– сведения о средних концентрациях ЗВ в сточных водах, поступающих в водный объект с городской территории – C_{mN}, мг/л (при отсутствии данных для ориентировочных расчетов средние концентрации ЗВ можно брать по таблице Б.1);

– примерная продолжительность интенсивного сброса дождевых вод $\tau_{C_{mN}}$, мин, использованная для моделирования (при отсутствии специальной информации для моделирования можно брать значения $\tau_{C_{mN}}$, равные от 30 до 60 мин);

– примерная эпюра изменения во времени содержания ЗВ в сточных водах и расхода этих вод (эпюра изменения расходов воды обычно имеет вид прямоугольного треугольника – вначале быстрое во времени нарастание расходов дождевых сточных вод, а затем постепенное их снижение до значений близких к нулю), (изменение концентрации ЗВ в сточных водах во времени может иметь свои особенности в зависимости от местоположения наиболее загрязненных городских территорий от места выпуска сточных вод в водный объект; чаще всего максимумы концентраций обнаруживаются в месте сброса через 20-30 мин после начала поступления сточных вод в водный объект);

– среднее значение коэффициента стока Z_{mid}, характеризующего поверхность бассейна стока (берется по таблицам Б.2, Б.3);

– минимальная расчетная продолжительность дождя t_r, равная продолжительности протекания склоновых вод по поверхности и трубам от наиболее удаленного участка водосбора до выпуска сточных вод, мин (при отсутствии данных для ориентировочных расчетов можно принять t_r = 60 мин).

– расчетная площадь городского водосбора, относимая к рассматриваемому ливневыпуску F, га, (если рассчитанная водосборная площадь стока составляет более 500 га, то вводят поправочный коэффициент K_r, учитывающий неравномерность выпадения дождя по площади и принимаемый по таблице Б.4).

При отсутствии наблюденных данных о расходах дождевых вод с рассматриваемой территории населенного пункта рекомендуется использовать следующие расчетные методы.

Для конкретной площади городского водосбора в соответствии со СНиП 2.04.03 определяют ориентировочные расходы дождевых вод q_r, л/с, по формуле

$$q_r = \frac{Z_{mid} A_d^{1,2} F K_r}{t_r^{1,2\omega-0,1}}, \quad (Б.1)$$

где значение коэффициента Z_{mid} следует определять как средневзвешенную величину в зависимости от коэффициентов Z_c, характеризующих поверхность и принимаемых по таблицам Б.2 и Б.3;

ω – показатель степени, определяемый по таблице Б.5;

t_r – расчетное время добегания дождевых вод от наиболее удаленной точки водосбора (при отсутствии данных можно принять t_r = 60 мин).

K_r – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения дождя по площади, принимаемый по таблице Б.4.

Таблица Б.1 – Средняя концентрация и возможный интервал варьирования концентраций ЗВ в неочищенных водах поверхностного стока с городской территории (обобщенные данные [10], [11], [12], [13], [14])

Показатели	Средняя концентрация вещества в водах поверхностного стока, C_{mN}, мг/л		Возможный интервал варьирования концентраций вещества в водах поверхностного стока, мг/л	
	талого	дождевого	талого	дождевого
Взвешенные вещества	2200	1100	От 1010 до 9640	От 56 до 8580
ХПК	60	100	От 434 до 3358	О 44 до 3168
$БПК_5$	100	50	От 21 до 500	От 8 до 56
Азот аммонийный	5,0	2,0	От 1,0 до 14,0	От 0,3 до 7,3
Азот нитритный	0,4	0,3	От 0,05 до 5,6	От 0,06 до 12,5
Азот нитратный	0,6	1,6	От 0,12 до 38,0	От 0,6 до 40
Фосфор общий	1,0	3,5	От 0,7 до 4,3	От 0,03 до 8,0
Фосфор минеральный	0,5	0,3	От 0,16 до 0,57	От 0,01 до 0,35
Нефтепродукты	80	25	От 0,3 до 220	От 0,3 до 148
Хлориды	230	30	От 26 до 360	От 5 до 75
Свинец	0,08	0,1	От 0,015 до 0,085	От 0,000 до 0,74

Параметр A_d вычисляют по формуле

$$A_d = q_{20}\left(1+\frac{\lg P_p}{\lg m_r}\right)^{\gamma} \quad (Б.2)$$

где q_{20} – интенсивность дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при обеспеченности один раз в год, л/с на 1 га (определяется по карте на рисунке Б.1);

m_r – среднее количество дождей за год, принимаемое по таблице Б.5;

P_p – период однократного превышения расчетной интенсивности дождя (при отсутствии информации для ориентировочных расчетов можно принимать P_p=1);

γ – показатель степени, принимаемый по таблице Б.5.

Таблица Б.2 – значения коэффициента стока Z_c в зависимости от вида поверхности

Поверхность	Коэффициент Z_c
Кровля зданий и сооружений, асфальтобетонные покрытия дорог	Принимается по таблице Б.3
Брусчатые мостовые и черные щебеночные покрытия дорог	0,224
Булыжные мостовые	0,145
Щебеночные покрытия, не обработанные вяжущими материалами	0,125
Гравийные садово-парковые дорожки	0,090
Грунтовые поверхности (спланированные)	0,064
Газоны	0,038
Примечание - Указанные значения коэффициента Z_c допускается уточнять по местным условиям на основании результатов соответствующих исследований.	

Таблица Б.3 – Значения коэффициента стока Z_c в зависимости от параметра A_d

Параметр A_d	Коэффициент Z_c для водонепроницаемых поверхностей
300	0,32
400	0,30
500	0,29
600	0,28
700	0,27
800	0,26
1000	0,25
1200	0,24
1500	0,23

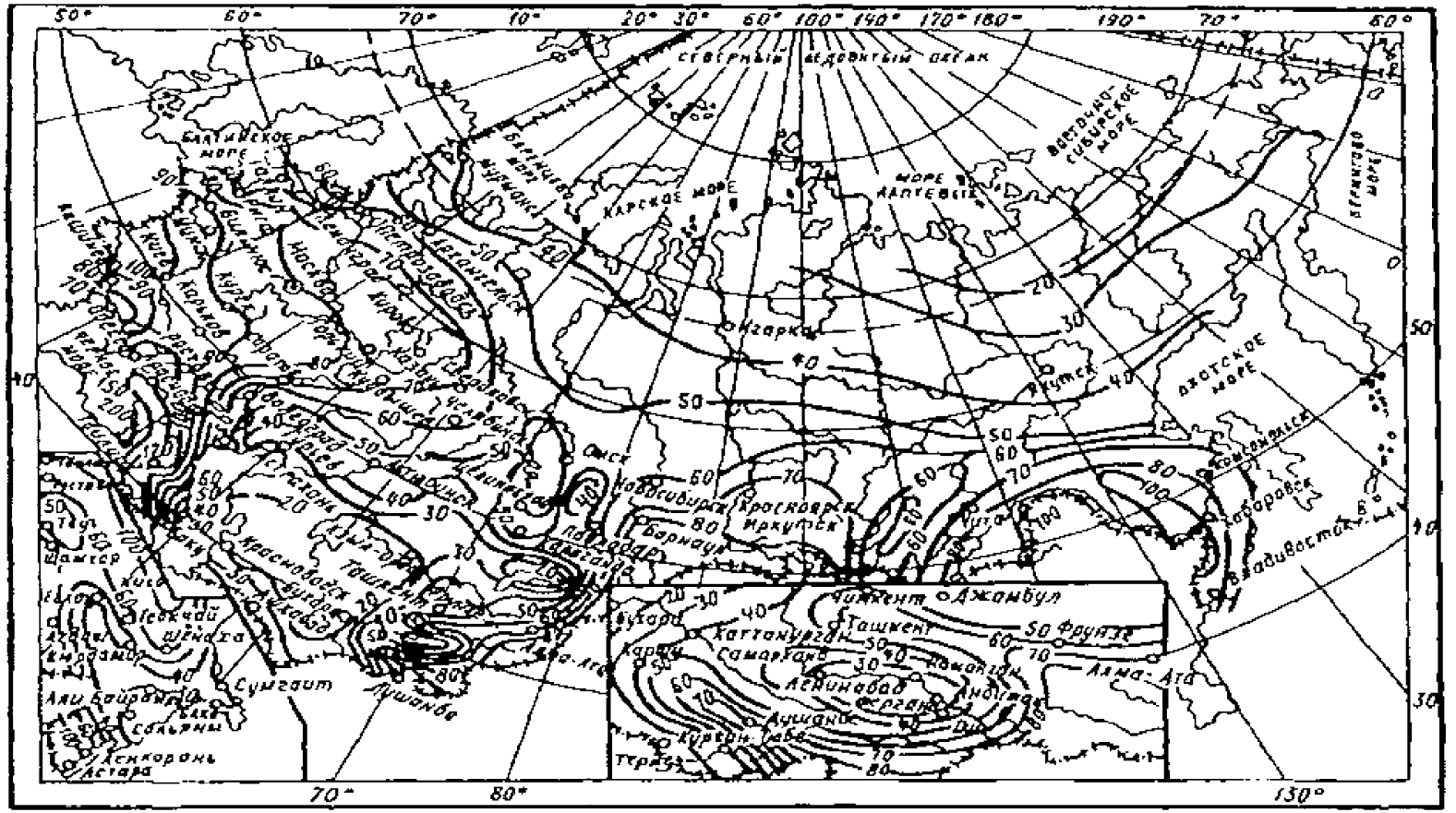


Рисунок Б.1 - Значения величин интенсивности дождя q_{20}, л/с на 1 га

Таблица Б.4 – Значения коэффициента $K_г$

Площадь формирования стока, га	800	1000	2000	4000	6000	8000	10 000
Значение коэффициента $K_г$	0,95	0,90	0,85	0,8	0,7	0,6	0,55

Таблица Б.5 – Значения параметров ω, m_r, γ по районам

Район	Значение параметра ω при:		m_r	γ
	$P_р \geq 1$	$P_р < 1$		
Побережья Белого и Баренцева морей	0,4	0,35	130	1,33
Север европейской части СССР и Западной Сибири	0,62	0,48	120	1,33
Равнинные области запада и центра европейской части СССР	0,71	0,59	150	1,54
Равнинные области Украины	0,71	0,64	110	1,54
Возвышенности европейской части СССР, западный склон Урала	0,71	0,59	150	1,54
Восток Украины, низовье Волги и Дона, Южный Крым	0,67	0,57	60	1,82
Нижнее Поволжье	0,66	0,66	50	2,00
Наветренные склоны возвышенностей европейской части СССР и Северное Предкавказье	0,7	0,66	70	1,54
Ставропольская возвышенность, северные предгорья Большого Кавказа, северный склон Большого Кавказа	0,63	0,56	100	1,82
Южная часть Западной Сибири, среднее течение р. Или, район оз. Але-Куль	0,72	0,58	80	1,54
Центральный и Северо-Восточный Казахстан, предгорья Алтая	0,74	0,66	80	1,82
Северные склоны Западных Саян, Заилийского Алатау	0,57	0,57	80	1,33
Джунгарский Алатау, Кузнецкий Алатау, Алтай	0,61	0,48	140	1,33
Северный склон Западных Саян	0,49	0,33	100	1,54
Средняя Сибирь	0,69	0,47	130	1,54
Хребет Хамар-Дабан	0,48	0,35	130	1,82
Восточная Сибирь	0,6	0,52	90	1,54
Бассейны Шилки и Аргуни, долина Среднего Амура	0,65	0,54	100	1,54
Бассейны Колымы и рек Охотского моря, северная часть Нижнеамурской низменности	0,36	0,48	100	1,54
Побережье Охотского моря, бассейны рек Берингова моря, центр и запад Камчатки	0,35	0,31	80	1,54
Восточное побережье Камчатки южнее 56° с. ш.	0,28	0,26	110	1,54

Окончание таблицы Б.5

Район	Значение параметра ω при		m_r	γ
	$P_p \geq 1$	$P_p < 1$		
Район оз. Ханка	0,65	0,57	90	1,54
Бассейны рек Японского моря, о. Сахалин, Курильские острова	0,45	0,44	110	1,54
Юг Казахстана, равнина Средней Азии и склоны гор до 1500 м, бассейн оз. Иссык-Куль до 2500 м	0,44	0,4	40	1,82
Склоны гор Средней Азии на высоте 1500-3000 м	0,41	0,37	40	1,54
Юго-Западная Туркмения	0,49	0,32	20	1,54
Черноморское побережье и западный склон Большого Кавказа до Сухуми	0,62	0,58	90	1,54
Побережье Каспийского моря и равнина от Махачкалы до Баку	0,51	0,43	60	1,82
Восточный склон Большого Кавказа, Кура-Араксинская низменность до 500 м	0,58	0,47	70	1,82
Южный склон Большого Кавказа выше 1500 м, южный склон выше 500 м, ДагАССР	0,57	0,52	100	1,54
Побережье Черного моря ниже Сухуми, Колхидская низменность, склоны Кавказа до 2000 м	0,54	0,5	90	1,33
Бассейн Куры, восточная часть Малого Кавказа, Талышский хребет	0,63	0,52	90	1,33
Северо-западная и центральная части Армении	0,67	0,53	100	1,33
Ленкорань	0,44	0,38	171	2,2

Для интерпретации полученных данных об интенсивности расчетного дождя можно пользоваться следующими градациями:

– сильный дождь от 0,1 до 0,7 мм/мин;

– ливень от 0,5 до 1 мм/мин.

Б.1.2 Сток талых вод

Б.1.2.1 Расходы талых вод в большинстве случаев значительно меньше расходов дождевых вод. Они соизмеримы с расходами стока дождей частой повторяемости. Снеготаяние обычно протекает неравномерно, нередко прерываясь в ночное время или в морозные дни. В городах и на площадках промышленных предприятий таяние снега происходит быстрее, чем на незастроенных территориях.

Талый поверхностный сток обусловлен возможной интенсивностью снеготаяния или слоем стока за часы снеготаяния в течение суток (обычно в течении 10 часов с максимумом в 14 часов). Коэффициент стока из-за замерзшей в это время почвы обычно близок к единице. Для малых площадей с величиной t_r, до 1-1,5 ч расход стока может быть принят пропорциональным величине площади водосбора.

Б.1.2.2 Для ориентировочного расчета расхода талого стока $q_т$, $м^3/с$, можно использовать один из следующих методов:

а) метод первый – по интенсивности снеготаяния. По данному методу расчет талого стока $q_т$, $м^3/с$, вычисляют по формуле

$$q_т = 0{,}0028aFk, \quad (Б.3)$$

где а - максимальная интенсивность снеготаяния средней обеспеченности, мм/ч, определяемая по карте-схеме на рисунке Б.2;

F – площадь бассейна стока, га;

k – коэффициент, учитывающий частичный вывоз и окучивание снега (значения коэффициента варьируют в пределах 0,5-0,8),

$$k = 1 - F_у/F; \quad (Б.4)$$

$F_у$ – площадь, очищаемая от снега (включая площадь кровель, оборудованных внутренними водостоками), га;

б) метод второй – по слою стока за часы снеготаяния в течение суток. Расчет талого стока $q_т$, $м^3/с$, вычисляют по формуле, предложенной для застроенных территорий Союздорнии [11]

$$q_т = \frac{0{,}0055}{10 + t_r/60} h_c k F, \quad (Б.5)$$

где h_c – слой стока за 10 дневных часов, мм (для определенных территорий определяют по таблице Б.6 [11]);

k – коэффициент, учитывающий частичный вывоз и окучивание снега;

t_r – расчетное время добегания талых вод от наиболее удаленной точки водосбора (при отсутствии данных можно принять t_r = 60 мин).

Для моделирования в качестве примерной продолжительности интенсивного нестационарного сброса талых вод $\tau_{C_{mN}}$ с высокими концентрациями ЗВ целесообразно брать в пределах от 180 до 360 мин.

Таблица Б.6 - Слой талого стока h_c, мм, за 10 дневных часов

Районы	Слой талого стока h_c, мм, при вероятности превышения, годы	
	2	5
1	25	31
2	20	25
3	15	19
4	7	16
Район 1 – южная граница – Полтава, Луганск, южная часть Урала, Алтай, Хамар-Дабан; северная граница – Каунас, Великие Луки, Москва, Нижний Новгород, Екатеренбург, Новосибирск, южная часть Байкала, Яблоновый и Становый хребты, побережье Охотского моря, Камчатка. Район 2 – к северу от района 1 до линии устье р.Мезень и далее на восток, примерно по Северному полярному кругу. Район 3 – севернее района 2. Район 4 – Сальские и Астраханские степи, Южная Сибирь.		
Примечание – В районах, близких к указанным границам, следует принимать средние значения h_c.		

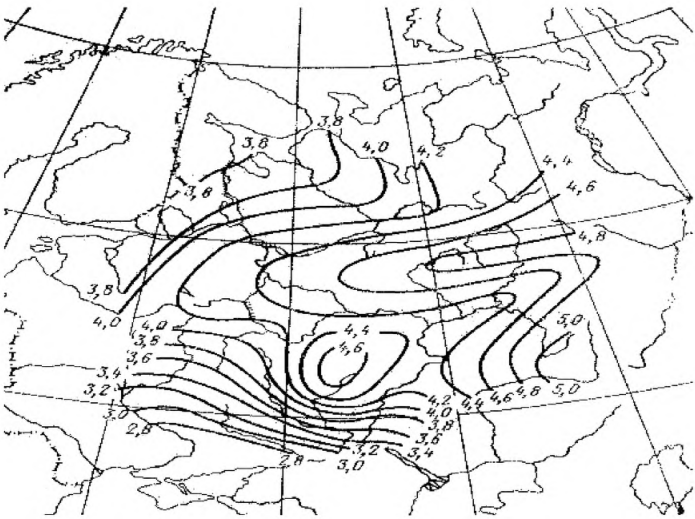


Рисунок Б.2 – Максимальная интенсивность снеготаяния средней обеспеченности а, мм/ч

Б.2 Методы определения ориентировочных расходов склонового стока с сельхозугодий и других прибрежных территорий, а также содержания в них ЗВ

Б.2.1 Для решения данной задачи необходимо определение ориентировочной концентрации ЗВ в склоновых водах с загрязненной территории водосбора и расхода склоновых вод с этой территории. Для хвостохранилищ, свалок и других территорий со специфическим загрязнением концентрация ЗВ может быть определена только в результате рекогносцировочных обследований.

Ориентировочную концентрацию ЗВ в склоновом стоке с сельхозугодий $C_{сх}$ можно рассчитать и по полученной величине концентрации оценить важность решения данной задачи для моделирования по формуле

$$C_{сх} = \frac{D\,\gamma_в}{1000\,H_T\alpha} + D_п\gamma_в\beta K_а, \qquad (Б.6)$$

где D – суммарная доза внесения удобрений или пестицидов на рассматриваемые сельхозугодья (по действующему веществу) за теплый расчетный период, г/км^2 (данную информацию можно получить по запросу в администрации муниципальных образований соответствующих территориальных районов);

$\gamma_в$ – коэффициент выноса вещества в долях от внесенного количества (при отсутствии информации берется по таблице Б.7);

$D_п$ – исходное содержание подвижной формы вещества в поверхностном слое почвы, мг на 1 кг почвы (при отсутствии информации берется по таблице Б.8);

$H_Т$ – среднее суммарное количество осадков за теплый период года, мм (при отсутствии данных для ориентировочных расчетов можно принять $H_Т$ = 340 мм);

α – коэффициент склонового паводочного стока (при отсутствии информации для ориентировочных расчетов можно принять α = 0,35);

β – параметр, характеризующий растворимость вещества в поверхностном стоке, кг/л (для приближенных расчетов можно принять для форм минерального азота β = 0,144 кг/дм^3; фосфора - β = 0,022 кг/ дм^3);

$К_а$ – коэффициент, характеризующий относительное влияние агротехнического фона на концентрацию вещества в стоке (при отсутствии данных для ориентировочных расчетов можно принять $К_а$= 1);

Для пестицидов параметры $D_п$, β, $К_а$ в формуле (Б.6) не учитываются. Для степной зоны верхний предел варьирования коэффициента $\gamma_в$ для различных пестицидов составляет от 0,0004 до 0,03 (например, гексахлорциклогесан – 0,0004, метафос – 0,02 [14]; для рисовых систем: пропанид – 0,003, ялан – 0,01. Длительность сохранения в почве фосфорорганических пестицидов очень коротка (недели или даже сутки), поэтому расчеты сброса в водоток фосфорорганических пестицидов имеют смысл только для того месяца, в котором они вносятся.

При определении ориентировочного расхода склоновых вод с загрязненной территории водосбора следует принять, что глубина учитываемого водосбора находится в пределах 0.5 – 5 км от береговой линии и выбирается с учетом размещения загрязняемых сельхозугодий, расположения линии водораздела и средней высоты водосбора. Чем выше средняя высота водосбора, тем больше может быть выбираемая глубина водосбора.

Таблица Б.7 – Коэффициент выноса фосфора и минеральных форм азота $\gamma_в$ (в долях от внесенного количества общего азота и фосфора с удобрениями) [15]

Культура	Почвы	Коэффициент выноса $\gamma_в$			
		N_{NH_4}	N_{NO_2}	N_{NO_3}	P
Озимые	Суглинки	0,0020	0,00006	0,058	0,01
	Супеси	0,0020	0,00006	0,058	0,01
Яровые зерновые, сахарная свекла, картофель, корнеплоды	Суглинки	0,0020	0,00006	0,060	0,01
	Супеси	0,0030	0,00010	0,095	0,01
Многолетние травы	Суглинки	0,0001	-	0,003	0,01
	Супеси	0,0001	-	0,003	0,01

Таблица Б.8 - Ориентировочные значения параметра $D_п$ в зависимости от вида почвы [15]

Почвы	Параметр $D_п$, мг/кг			
	N_{NH_4}	N_{NO_2}	N_{NO_3}	P
Серая лесная суглинистая и тяжелосуглинистая	0,46	0,014	13,5	32
Дерново-луговая суглинистая	0,73	0,022	21	15
Пойменная дерново-луговая средне и тяжелосуглинистая	0,53	0,016	15,5	52
Чернозем типичный выщелоченный	0,92	0,028	27	30
Чернозем оподзоленный суглинистый и тяжелосуглинистый	0,92	0,028	27	30
Чернозем выщелоченный суглинистый и тяжело суглинистый	1,12	0,034	33	20
Чернозем обыкновенный суглинистый и тяжелосуглинистый	0,92	0,028	27	39
Чернозем южный суглинистый и тяжелосуглинистый	0,69	0,021	20	36
Темнокаштановая	0,56	0,017	16	12
Каштановая	0,43	0,013	12,5	6
Светлокаштановая	0,33	0,010	9,5	9
Бурые пустынные и степные	0,26	0,008	8	7
Сероземы типичные	0,13	0,004	4	24

Примерную площадь загрязняемого водосбора $F_{сх}$, км^2, определяют по формуле

$$F_{сх} = L_в B_в \ , \qquad (Б.7)$$

где $L_в$ – протяженность границы учитываемого водосбора вдоль береговой линии реки, км;

$B_в$ – средняя глубина учитываемой водосборной площади, считая от береговой линии, км.

Б.2.2 Ориентировочные максимальные расходы дождевых вод расчетной вероятности превышения Р, м^3/с, при отсутствии гидрометрических наблюдений рекомендуется определять по формуле, предложенной в методических рекомендациях [16]:

$$Q_p = 16{,}7 \alpha_p \alpha F_{сх} \varphi K_\gamma \ , \qquad (Б.8)$$

где

$$\alpha_p = a_{час} K_t K_F \ ; \qquad (Б.9)$$

$$\alpha = \alpha_0 \delta_e \ ; \qquad (Б.10)$$

α_p – расчетная интенсивность осадков, соответствующая выбранной вероятности превышения для расхода, мм/мин;

α – расчетный коэффициент склонового стока;

$F_{сх}$ – площадь водосбора, км^2;

φ – коэффициент редукции максимального дождевого стока в зависимости от размеров площади водосбора $F_{сх}$ (таблица Б.9);

$K_у$ – коэффициент учета влияния крутизны водосборного бассейна (таблица Б.10);

$a_{час}$ – максимальная часовая интенсивность дождя, определяемая по таблице Б.11 и рисунку Б.3 для заданного ливневого района и вероятности превышения, мм/мин;

K_t – коэффициент редукции часовой интенсивности осадков в зависимости от времени формирования максимальных расходов на различных площадях водосборов (таблица Б.12 и рисунок Б.3);

K_F – коэффициент учета неравномерности распределения расчетных осадков по площади водосбора (таблица Б.13 и рисунок Б.3);

α_0 – коэффициент склонового стока при полном насыщении почв водой (таблица Б.14);

$\delta_е$ – коэффициент, учитывающий естественную аккумуляцию дождевого стока на поверхности водосборов в зависимости от различной залесенности и почво-грунтов, определяют:

– при сплошной залесенности или однородных почво-грунтах по всему водосбору по формуле

$$\delta_е = 1 - \gamma_д \beta П, \qquad (Б.11)$$

– при частичной залесенности и резких различиях почво-грунтов на водосборах по формуле

$$\delta_е = 1 - (\gamma_{дл} f_л + \gamma_{дг} f_г) \beta П, \qquad (Б.12)$$

где $\gamma_д$ – коэффициент, учитывающий различную проницаемость почво-грунтов на склонах водосбора, в расчетных условиях (таблица Б.15);

β – коэффициент, учитывающий состояние почво-грунтов к началу формирования расчетного паводка (таблица Б.16);

П – поправочный коэффициент на редукцию проницаемости почво-грунтов с увеличением площади водосбора (таблица Б.17);

$\gamma_{дл}$, $\gamma_{дг}$ – коэффициенты, учитывающие проницаемость грунтов на отдельных частях водосбора, различных по степени залесенности и почво-грунтам (таблицы Б.16, Б.17).

$$f_л = F_л / F_{сх}, \qquad (Б.13)$$

$$f_г = F_г / F_{сх}, \qquad (Б.14)$$

где $f_л$, $f_г$ – коэффициенты, характеризующие величины отдельных частей водосборной площади, различных по степени залесенности и почво-грунтам (доли от единицы),

$F_л$, $F_г$ – площади отдельных частей водосборной площади, занятые различными почво-грунтами и растительностью, км^2.

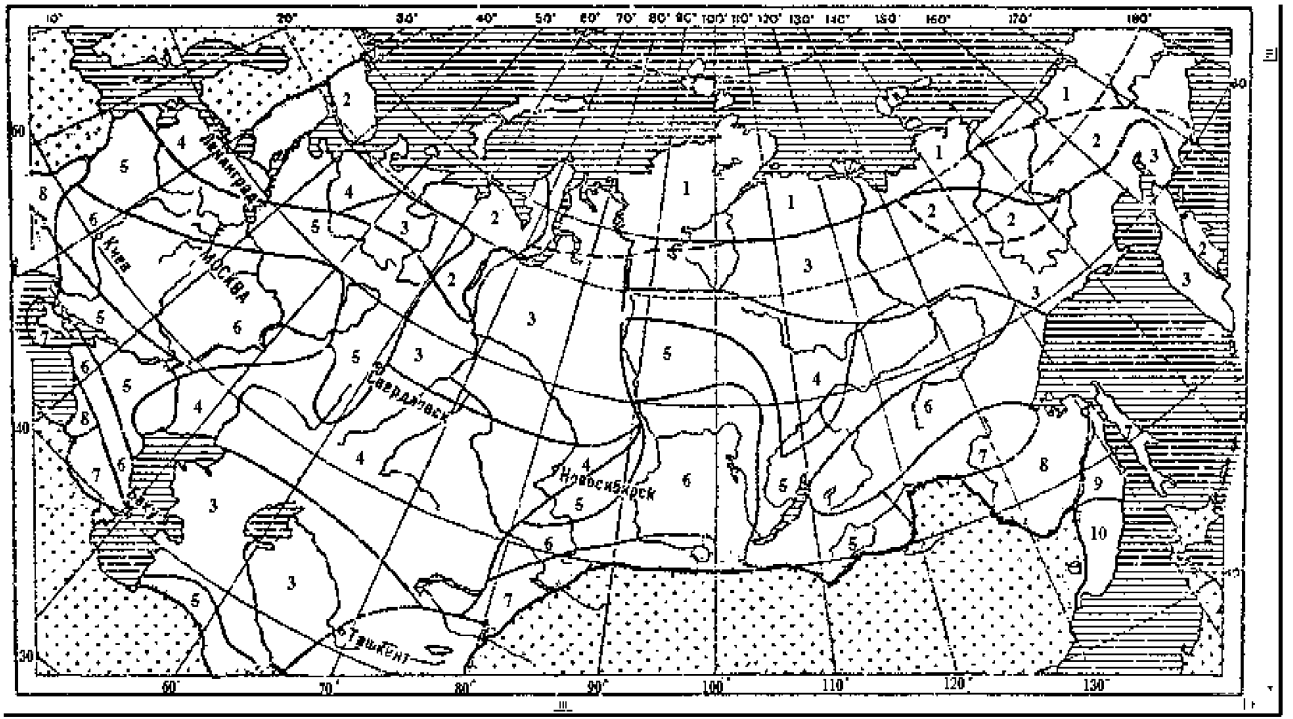


Рисунок Б.3 – Карта-схема ливневых районов (районы приведены до границы изученной территории).

Таблица Б.9 – Коэффициент редукции максимального дождевого стока φ

$F_{сх}$, км^2	φ	$F_{сх}$, км^2	φ	$F_{сх}$, км^2	φ
0,0001	0,98	1	0,5	350	0,11
0,0005	0,95	2	0,48	400	0,09
0,001	0,9	3	0,46	500	0,08
0,004	0,87	4	0,43	700	0,07
0,005	0,86	5	0,41	850	0,06
0,007	0,84	6	0,39	1000	0,05
0,01	0,8	7	0,36	2500	0,045
0,03	0,78	8	0,34	4000	0,042
0,05	0,75	9	0,31	5000	0,04
0,07	0,72	10	0,29	7000	0,032
0,1	0,67	25	0,25	8500	0,03
0,3	0,64	40	0,22	10000	0,029
0,4	0,62	50	0,20	25000	0,026
0,5	0,6	70	0,17	50000	0,022
0,7	0,56	85	0,14	70000	0,02
0,9	0,52	100	0,13	100000	0,018

Таблица Б.10 – Коэффициент учета влияния крутизны водосборного бассейна K_y

Средний уклон склонов $J_{ск}$,	Коэффициент K_y для водосбора			
	односкатного и безруслового			С наличием русловой системы
	Асфальтобетонное и цементобетонное покрытие	Щебеночное и гравийное покрытие	Естественный задернованный склон	
0,001	0,87	0,75	0,75	0,94
0,005	0,95	0,82	0,78	0,98
0,010	1,03	0,92	0,80	1,01
0,020	1,25	1,10	0,85	1,06
0,030	1,45	1,30	0,90	1,12
0,040	1,65	1,50	0,91	1,14
0,050	1,80	1,65	0,93	1,16
0,060	2,03	1,85	0,95	1,18
0,070	2,20	2,00	0,97	1,21
0,080	2,40	2,20	0,98	1,23
0,090	2,63	2,40	1,00	1,26
0,100	2,80	2,60	1,02	1,28
0,200	-	-	1,21	
0,300	-	-	1,34	
0,400	-	-	1,45	
0,500	-	-	1,56	
0,600	-	-	1,63	
0,700	-	-	1,68	

Таблица Б.11 – Максимальная часовая интенсивность дождя $a_{час}$

№ района (по рисунку Б.3)	$a_{час}$, мм/мин, при вероятности превышения P_p, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,22	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3	0,29	0,41	0,47	0,52	0,58	0,70	0,95	1,15
4	0,45	0,59	0,64	0,69	0,74	0,90	1,14	1,32
5	0,46	0,62	0,69	0,75	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,73
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,5	1,77
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65
Примечание – Для ориентировочных расчетов достаточно брать P_p=1 %								

Таблица Б.12 – Коэффициент редукции часовой интенсивности осадков K_t

$F_{сх}$, км^2	Коэффициент K_t для ливневых районов (см. рисунок Б.3)			
	1	2, 3, 4	5, 6, 7	8, 9, 10
0,0001	4,7	4,35	4,2	3,9
0,0005	3,85	3,6	3,83	3,4
0,001	3	2,8	3,1	2,75
0,005	2,47	2,3	2,6	2,3
0,01	2,15	1,95	2,1	1,9
0,05	1,85	1,8	1,8	1,67
0,1	1,6	1,51	1,6	1,41
0,5	1,33	1,33	1,4	1,2
0,8	1,25	1,25	1,3	1,1
1	1,18	1,2	1,25	1,03
5	1,05	1,07	1,12	0,9
7	1	1	1,06	0,83
10	0,93	0,95	1	0,78
50	0,8	0,65	0,89	0,7
100	0,7	0,8	0,8	0,6
300	0,69	0,75	0,7	0,55
500	0,66	0,7	0,5	0,52
1000	0,63	0,65	0,6	0,47
3000	0,6	0,63	0,57	0,43
5000	0,55	0,6	0,55	0,4
10000	0,52	0,55	0,45	0,35
50000	0,5	0,5	0,4	0,3
100000	0,46	0,42	0,33	0,25

Таблица Б.13 – Коэффициент учета неравномерности распределения осадков K_F

$F_{сх}$, км^2	Коэффициент K_F для ливневых районов (см. рисунок Б.3)					
	1, 2	3, 4	5, 6	7	8, 9	10
10	0,93	0,97	1	1	1	1
20	0,90	0,95	0,98	1	1	1
40	0,88	0,93	0,97	1	1	1
60	0,86	0,91	0,95	1	1	1
80	0,84	0,88	0,92	1	1	1
100	0,82	0,86	0,90	1	1	1
200	0,78	0,84	0,87	1	1	1
400	0,76	0,82	0,85	0,99	1	1
600	0,72	0,78	0,83	0,98	1	1
800	0,68	0,74	0,80	0,96	0,99	0,99
1000	0,64	0,71	0,77	0,95	0,98	0,98
2000	0,62	0,67	0,75	0,93	0,96	0,97
4000	0,57	0,63	0,72	0,90	0,94	0,96
6000	0,51	0,57	0,67	0,87	0,91	0,95
8000	0,45	0,51	0,63	0,82	0,89	0,93
10000	0,39	0,45	0,56	0,74	0,85	0,91
20000	0,33	0,39	0,50	0,64	0,80	0,88
40000	0,28	0,34	0,43	0,54	0,72	0,77
60000	0,23	0,29	0,37	0,46	0,63	0,72
80000	0,18	0,24	0,32	0,40	0,61	0,69
100000	0,14	0,20	0,26	0,34	0,58	0,66

Таблица Б.14 – Коэффициент склонового стока α_o

Район	Коэффициент α_o при вероятности превышения P_p, %				
	0,33	1	2	3	10
Приморье, Северные районы Вьетнама, Непал, Индонезия, Северная Индия, Восточный Пакистан	От 1 до 0,9 включ.	От 0,9 до 0,8 включ.	От 0,8 до 0,7 включ.	От 0,7 до 0,6 включ.	От 0,4 до 0,3 включ.
Хабаровский край, Черноморское побережье Кавказа, восточное Закавказье, ливне опасные предгорные районы Средней Азии, Западный Пакистан	От 0,9 до 0,8 включ.	От 0,8 до 0,7 включ.	От 0,7 до 0,66 включ.	От 0,66 до 0,6 включ.	0,3
Ливне опасные районы Карпат, Крыма, Афганистана, Йемена, Восточного Ирана и Ирака	От 0,8 до 0,75 включ.	От 0,75 до 0,7 включ.	От 0,7 до 0,6 включ.	От 0,55до 0,6 включ.	0,27
Забайкалье, Предгорье Карпат, горные и предгорные районы среднего Урала; Лесостепная зона Европейской части РФ, Монголия	От 0,75 до 0,65 включ.	От 0,7 до 0,6 включ.	От 0,6 до 0,55 включ.	От 0,5 до 0,55 включ.	0,25
Степная зона Европейской части РФ, Южный Урал, Западная Сибирь	От 0,65 до 0,55 включ.	От 0,55 до 0,5 включ.	От 0,5 до 0,45 включ.	От 0,45 до 0,4 включ.	0,2
Пустынные и полупустынные районы Средней Азии, Афганистана, Центральной Индии и Центральной Азии; Южные районы тундры	От 0,55 до 0,5 включ.	От 0,5 до 0,4 включ.	От 0,4 до 0,3 включ.	От 0,3 до 0,25 включ.	0,15
Примечание – Для ориентировочных расчетов достаточно брать P_p=1%					

Таблица Б.15 – Коэффициент учета проницаемости почво-грунтов на склонах водосбора γ_g

Категория почво-грунтов	Характеристика склонов водосборов		Коэффициент проницаемости почво-грунтов γ_g
	Почво-грунты	Особенности почво-грунтов и поверхностей стекания	
I	Скальные, мерзлые и плохо проницаемые грунты и поверхности стекания	Задернованные или отсутствует растительность	0,02
		Густой лес с кустарником и травой	От 0,02 до 0,04 включ.
II	Глины, суглинки	Задернованы	От 0,04 до 0,09 включ.
		Густой лес с кустарником и травой	От 0,06 до 0,15 включ.
	Такыры	Отсутствует	От 0,06 до 0,12 включ.
III	Супесчаные и песчаные грунты при естественной влажности	Задернованы	От 0,10 до 0,15 включ.
		Густой лес с кустарником и травой	От 0,15 до 0,2 включ.
IV	Скальные породы в горных условиях сильно трещиноватые по поверхности	Закрепленные	От 0,15 до 0,2 включ.
		Незакрепленные	От 0,2 до 0,35 включ.
V	Скальные породы в горных условиях сильно трещиноватые по поверхности	Частично закрепленные растительностью или кустарником	От 0,15 до 0,2 включ.
VI	Торфы	Увлажненные	От 0,10 до 0,17 включ.
		Осушенные	От 0,15 до 0,25 включ.
VII	Грунты, загрязненные производственными отходами (горюче-смазочными материалами, цементами, известью и др.)	Отсутствует	От 0,04 до 0,09 включ.

Таблица Б.16 – Коэффициент учета состояния почво-грунтов перед паводком β

Особенности стока	Коэффициент β для категории почво-грунтов (см. таблицу Б.15)				
	I	II	III	IV	V
Сток по промерзлым почво-грунтам или по ледяной корке	1	От 1 до 0,9 включ.	От 0,9 до 0,8 включ.	От 0,8 до 0,7 включ.	От 0,8 до 0,2 включ.
Совпадение избыточного осеннего увлажнения со стоком в весенний период	1	0,9	0,8	0,7	От 0,7 до 0,6 включ.
Сток по сухим пылеватым грунтам (пески, лессы и т.п.) при возможности образования грунтовой корки, препятствующей быстрому прониканию воды в грунт	-	-	-	От 0,8 до 0,6 включ.	-
Предварительное увлажнение грунтов к началу расчетного паводка в районах муссонного климата	От 1 до 0,9 включ.	От 0,9 до 0,8 включ.	От 0,8 до 0,6 включ.	-	-
Влажность почво-грунтов в естественных условиях	1,05	От 1,05 до 1,1 включ.	От 1,1 до 1,15 включ.	От 1,1 до 1,15 включ.	-

Таблица Б.17 - Поправочный коэффициент на редукцию проницаемости почво-грунтов П

$F_{сх}$, км^2	Поправочный коэффициент П для районов (см. рисунок Б.3)		
	1, 2, 3, 4	5, 6, 7	8 - 14
≤ 100	1	1	От 1 до 0,90
200	0,91	0,86	0,72
300	0,84	0,70	0,54
400	0,77	0,63	0,32
500	0,70	0,52	0
600	0,63	0,40	-
850	0,46	0	-
1000	0,30	-	-
1250	0	-	-

Средний уклон склонов определяется по картам или планам в горизонталях по направлению наибольшего уклона склонов как среднее арифметическое из нескольких (5-10) определений или по формуле

$$J_{ск} = \Delta\sum e / F_{сх}, \qquad (Б.15)$$

где Δ – вертикальное расстояние (шаг) между смежными горизонтами, км;

$\sum e$ – сумма длин всех горизонталей в пределах рассматриваемой характерной части бассейна, км;

$F_{сх}$ – площадь рассматриваемой характерной части водосбора, км^2.

Приложение В
(справочное)

Примеры моделирования изменения концентрации ЗВ по длине реки

В.1 Пример 1

В.1.1 Постановка задачи и введение исходных данных

Требуется рассчитать и провести оценку изменения среднегодовых значений $БПК_5$ в максимально загрязненной струе по длине р.Быстрая[1)] протяженностью 300 км за 2012 г. По участку реки имеются следующие исходные данные.

По среднегодовым гидрологическим характеристикам русла реки выделено семь характерных участков:

– протяженность первого участка 50 км (от 300 до 250 км от устья реки), расход воды – 21,76 $м^3/с$, средняя скорость течения – 0,26 м/с, максимальная скорость течения речной воды – 0,37 м/с, средняя ширина реки – 65,4 м, средняя глубина – 1,28 м, коэффициент шероховатости русла – 0,025, коэффициент извилистости – 1,2, поправочный коэффициент коэффициента поперечной дисперсии (по умолчанию) – 1;

– протяженность второго участка 40 км (от 250 до 210 км от устья реки), расход воды – 21,76 $м^3/с$, средняя скорость течения – 0,27 м/с, максимальная скорость течения речной воды – 0,38 м/с, средняя ширина реки - 69 м, средняя глубина – 1,17 м, коэффициент шероховатости русла – 0,025, коэффициент извилистости – 1,25, поправочный коэффициент коэффициента поперечной дисперсии (по умолчанию) – 1;

– протяженность третьего участка 60 км (от 210 до 150 км от устья реки), расход воды – 21,78 $м^3/с$, средняя скорость течения – 0,24 м/с, максимальная скорость течения речной воды – 0,34 м/с, средняя ширина реки – 75 м, средняя глубина – 1,21 м, коэффициент шероховатости русла – 0,025, коэффициент извилистости – 1,25, поправочный коэффициент коэффициента поперечной дисперсии (по умолчанию) – 1;

– протяженность четвертого участка 30 км (от 150 до 120 км от устья реки), расход воды – 26,9 $м^3/с$, средняя скорость течения речной воды - 0,16 м/с, максимальная скорость течения речной воды – 0,23 м/с, средняя ширина реки – 80 м, средняя глубина – 2,1 м, коэффициент шероховатости русла – 0,025, коэффициент извилистости – 1,27, поправочный коэффициент коэффициента поперечной дисперсии (по умолчанию) – 1; в связи с существенным имением расхода речной воды по сравнению с предыдущим участком (более 20 %) начальный створ участка отнесен к узловому створу;

[1)] В примерах наименование реки и источников ЗВ взяты произвольно.

– протяженность пятого участка 20 км (от 120 до 100 км от устья реки), расход воды – 26,8 $м^3$/с, средняя скорость течения – 0,14 м/с, максимальная скорость течения речной воды - 0,20 м/с, средняя ширина реки - 89 м, средняя глубина – 2,15 м, коэффициент шероховатости русла – 0,025, коэффициент извилистости – 1,75, поправочный коэффициент коэффициента поперечной дисперсии (по умолчанию) – 1;

– протяженность шестого участка 30 км (от 100 до 70 км от устья реки), расход воды – 36,83 $м^3$/с, средняя скорость течения - 0,15 м/с, максимальная скорость течения речной воды - 0,21 м/с, средняя ширина реки - 116 м, средняя глубина – 2,12 м, коэффициент шероховатости русла – 0,025, коэффициент извилистости – 1,8, поправочный коэффициент коэффициента поперечной дисперсии (по умолчанию) – 1; в связи с существенным имением расхода речной воды по сравнению с предыдущим участком (более 20 %) начальный створ участка отнесен к узловому створу;

– протяженность седьмого участка 69,99 км (от 70 до 0 км от устья реки), расход воды – 36,83 $м^3$/с, средняя скорость течения – 0,12 м/с, максимальная скорость течения речной воды – 0,17 м/с, средняя ширина реки – 137 м, средняя глубина – 2,24 м, коэффициент шероховатости русла – 0,025, коэффициент извилистости – 1,85, поправочный коэффициент коэффициента поперечной дисперсии (по умолчанию) – 1;

Перечисленную входную информацию следует внести в память программы с использованием разделов меню «*Участки*», «*Просмотр-корректировка*». Поскольку в папке программы перечисленные участки реки уже записаны в виде файла «*Участки р.Быстрая.are*», можно использовать эту записью. Для этого, войдя в раздел меню «*Участки*», активируют закладку «*Открыть файл со списком участков*» и в открывшемся окне Windows выберают указанный файл.

После ввода характеристик всех участков задействуют в пункте «*Участки*» подпункт «*Расчет дисперсий на всех участках*».

В качестве источников ЗВ и их среднегодовых характеристик используют следующие:

– первый источник – это загрязненная струя в фоновом створе реки у левого берега с параметрами: расположение створа – 300 км от устья реки; расход воды – 6 $м^3$/с; значение $БПК_5$ – 15 $мгО_2$/л; суммарный коэффициент скорости самоочищения речных вод от загрязнения легкоокисляемыми ЗВ (по $БПК_5$) – 0,1 1/сут; фоновое значение $БПК_5$ в остальной части сечения фонового створа – 1,5 $мгО_2$/л; значение $БПК_5$, до которого может снижаться содержание легкоокисляемых органических веществ в речной воде на нижележащем участке, – 1,5 $мгО_2$/л; поправочный коэффициент скорости самоочищения по умолчанию принят равным единице; время задержки самоочищения речных вод в сутках по умолчанию принято равным нулю; ПДК = 2 $мгО_2$/л, ВЗ = 10 $мгО_2$/л, ЭВЗ = 40 $мгО_2$/л (помимо перечисленного, в окне ввода данных по фоновому створу следует указать название реки, наименование ингредиента, «вручную» ввести значения ВЗ и ЭВЗ);

– второй источник загрязнения – сброс сточных вод городской канализации (ГК) г.Павловска (место сброса сточных вод расположено в 210

км от устья реки, от левого берега реки – в 65,4 м; значение $БПК_5$ в сточной воде – 60 $мгО_2$/л; расход сточных вод – 1,5 $м^3$/с; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, сброшенных со сточными водами 0,1 1/сут; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, поступивших в створ сброса сточных вод с вышележащего участка реки принят равным 0,1 1/сут; уровень концентрации, до которого может происходить самоочищение речной воды от ЗВ, поступившего в реку со сточными водами и по реке с вышележащего участка, равен 1,5 $мгО_2$/л; время задержки самоочищения речных вод от ЗВ, поступивших со сточными водами, по умолчанию равно 0 сут; поправочный коэффициент суммарного коэффициента скорости самоочищения речных вод от органических ЗВ, поступивших со сточными водами, по умолчанию равен 1);

– третий источник загрязнения – сброс сточных вод консервного завода (место сброса сточных вод – 200 км от устья реки, от левого берега реки – 65,4 м; значение $БПК_5$ в сточной воде – 15 $мгО_2$/л; расход сточных вод – 1,5 $м^3$/с; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, сброшенных со сточными водами 0,1 1/сут; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, поступивших в створ сброса сточных вод с вышележащего участка реки, по умолчанию принят равным 0,1 1/сут; уровень концентрации, до которого может происходить самоочищение речной воды от ЗВ, поступившего со сточными водами и по реке с вышележащего участка, равен 1,5 $мгО_2$/л; время задержки самоочищения речных вод от ЗВ, поступивших со сточными водами, по умолчанию равно 0 сут; поправочный коэффициент суммарного коэффициента скорости самоочищения речных вод от органических ЗВ, поступивших со сточными водами, по умолчанию равен 1);

– четвертый источник загрязнения – рассеивающий сброс сточных вод с очистных сооружений канализации (ОСК) г.Дмитров (место сброса сточных вод – 210 км от устья реки, расстояние от левого берега реки до средней части рассеивающего выпуска – 30 м; значение $БПК_5$ в сточной воде – 60 $мгО_2$/л; расход сточных вод – 5 $м^3$/с; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, сброшенных со сточными водами 0,1 1/сут; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, поступивших в створ сброса сточных вод с вышележащего участка реки равен 0,1 1/сут; уровень концентрации, до которого может происходить самоочищение речной воды от ЗВ, поступившего со сточными водами и по реке с вышележащего участка, равен 1,5 $мгО_2$/л; время задержки самоочищения речных вод от ЗВ, поступивших со сточными водами, по умолчанию равно 0 сут; поправочный коэффициент суммарного коэффициента скорости самоочищения речных вод от органических ЗВ, поступивших со сточными водами, по умолчанию равен 1; диаметр оголовков рассеивающего выпуска – 0,3 м; число оголовков – 5, глубина реки ниже выпуска – 2 м); делается отметка, что данный сброс формирует расход речной воды в узловом створе реки; далее нажатием кнопки «*Рассчитать параметры для услов-*

ного выпуска» получают кратность начального разбавления (6,08) и условный расход в источнике ЗВ (30,4 $м^3/с$);

– пятый источник поступления ЗВ – приток р.Ельня (место поступления вод притока - 100 км от устья реки, от левого берега реки – 0 м; значение $БПК_5$ в воде притока – 1,8 $мгО_2/л$; расход вод притока – 10 $м^3/с$; суммарный коэффициент скорости самоочищения речных вод от ЗВ, поступившего с водами притока, 0,1 1/сут; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, поступившего в створ впадения притока с вышележащего участка реки, равен 0,1 1/сут; уровень концентрации, до которого может происходить самоочищение речной воды от ЗВ, поступившего с водами притока и по реке с вышележащего участка, равен 1,5 $мгО_2/л$; время задержки самоочищения речных вод от ЗВ, поступившего с водами притока, по умолчанию равно 0 сут; поправочный коэффициент суммарного коэффициента скорости самоочищения речных вод от органических ЗВ, поступивших с водами притока, по умолчанию равен 0 сут.); делается отметка, что поступление вод притока формирует расход речной воды в узловом створе реки;

– шестой источник загрязнения – сброс сточных вод завода синтетических продуктов (СП) г. Добровольска (место сброса сточных вод - 70 км от устья реки, от левого берега реки – 0 м; значение $БПК_5$ в сточных водах – 35 $мгО_2/л$; расход сточных вод – 1,8 $м^3/с$; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, сброшенных со сточными водами, – 0,1 1/сут; суммарный коэффициент скорости самоочищения ЗВ, поступившего в створ сброса сточных вод с вышележащего участка реки, – 0,1 1/сут; уровень концентрации, до которого может происходить самоочищение речной воды от ЗВ, поступившего со сточными водами и по реке с вышележащего участка, – 1,5 $мгО_2/л$; время задержки самоочищения речных вод от ЗВ, поступившего со сточными водами, по умолчанию равно 0 сут; поправочный коэффициент суммарного коэффициента скорости самоочищения речных вод от органических ЗВ, поступивших со сточными водами, по умолчанию равен 1).

Перечисленная входная информация по источникам ЗВ должна заноситься в память программы с использованием разделов меню «*Источники загрязнения*», «*Просмотр-корректировка*» в соответствии с указаниями, изложенными в инструкции пользователя программы «ГХМ–трансформЗВ». Поскольку в папке программы перечисленные источники ЗВ уже записаны в виде файла «*Источники ЗВ на р.Быстрая.ist*», можно воспользоваться этой записью. Для этого, войдя в раздел меню «*Участки*», активируют закладку «*Открыть файл с набором источников загрязнения*» и в открывшемся окне Windows выберают указанный файл.

При наличии измеренных в контрольных створах реки среднегодовых (или других, принятых для расчета осредненных значений) концентраций ЗВ (значений $БПК_5$) их следует внести в таблицу назначений (выбора) местоположения контрольных створов для проведения моделирования изменения концентраций ЗВ на рассматриваемом участке реки в соответствии с инструкцией пользователю программы.

В рассматриваемом примере известны среднегодовые значения $БПК_5$, полученные в 2012 г. в следующих створах, которые следует принять за контрольные (в расстояниях от устья):

210,5 км – 4,5 мгO_2/л во всех контролируемых вертикалях в створе реки;

150,5 км – 7,8 мгO_2/л в вертикали в максимально загрязненной струе;

100,5 км – 12,5 мгO_2/л во всех контролируемых вертикалях в створе реки;

70,5 км – 9 мгO_2/л в вертикали в максимально загрязненной струе;

0,02 км – 5,0 мгO_2/л во всех контролируемых вертикалях в створе реки.

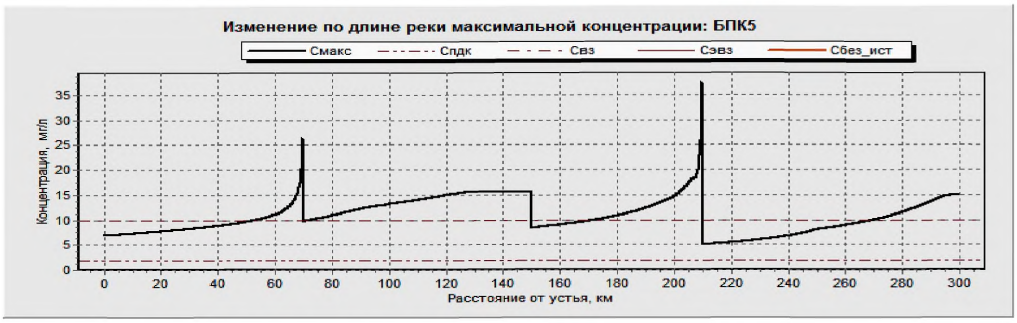
Кроме этого, с целью получения на графике визуально понятных кривых изменения концентрации ЗВ по длине реки намечают в качестве дополнительных расчетные створы с небольшим «шагом» между ними, например, 200 м. Для этого в главном меню в разделе «*Расчетные створы*» в окне «*Створы контроля*» дополнительно задействуют кнопку «*Добавить расчетные створы*». Поскольку в папке программы информация по контрольным створам уже записана в виде файла «*Контрольные створы на р.Быстрая.stv*», можно воспользоваться этой записью. Для этого, войдя в раздел меню «*Расчетные створы»,* активируют закладку «*Считать из файла данные створов*». В открывшемся вспомогательном окне нажимают кнопку «*Продолжить*», в следующем вспомогательном окне поочередно нажимают кнопки «*Отметить все*», «*Продолжить*» и далее в открывшемся окне Windows выберают указанный файл. Затем, в окне «*Створы контроля*» нажимают кнопку «*Добавить расчетные створы*». Таким образом дополнительно к контрольным створам в качестве расчетных будут добавлены створы с «шагом» между ними 200 м.

В.1.2 Проведение расчета

После заполнения и выхода из всех окон формирования исходной информации в главном меню задействуют задачу «*Выполнить расчеты*» с выбором закладки «*Расчет стационарной задачи*». В результате расчета на экране появляется график «*Изменение по длине реки максимальной концентрации БПК5*». В целях просмотра других результатов расчета задействуют кнопку «*Показать полный график*» и дополнительно, если требуется, «*Профиль концентрации в створах*». Для представления полученных результатов моделирования в виде отчета в главном меню задействуют раздел «*Отчеты*» и закладку в нем «*Основной отчет в Word*». Полученная информация по р.Быстрая в виде автоматически сформированных отчетных материалов по результатам моделирования показана на рисунках В.1 – В.3. На рисунках в таблице в строке, где указан сброс источника ЗВ, представлены соответствующие расчетные максимальные концентрации ЗВ, полученные в реке непосредственно ниже сброса (в 10 м ниже сброса), информация по остальным створам – в соответствии с их наименованием.

Результаты моделирования изменения максимальной концентрации загрязняющего вещества по длине водотока

Вещество: БПК5
Река: Быстрая
Участок (км от устья): 299.70 - 0.02



Контрольные створы на водотоке

Код створа	Расстояние от устья водотока, км	Максимальная концентрация	Наименование створа
29950	299.50	14.98	500 м ниже фонового створа
21050	210.50	5.03	Выше сброса ГК г.Павловска
21000	210.00	5.02	сброс ГК г.Павловска
20950	209.50	30.99	500 м ниже сброса ГК г.Павловска
20050	200.50	14.85	500 м выше сброса консервного з-да
20000	200.00	14.64	Консервный завод
19050	190.50	12.41	500 м ниже консервного завода
15050	150.50	8.44	Выше сброса ОСК г.Дмитров
15000	150.00	8.42	сброс ОСК г.Дмитров
14950	149.50	15.70	Ниже сброса ОСК г.Дмитров
10050	100.50	13.23	500 м выше притока р.Ельня
10000	100.00	13.20	Приток р.Ельня
9950	99.50	13.04	500 м ниже притока р.Ельня
7050	70.50	9.81	500 м выше сброса з-да СП г.Добровольск
7000	70.00	9.76	сброс з-да СП г.Добровольск
6950	69.50	22.92	500 м ниже сброса з-да г.Добровольск
6000	60.00	11.05	60 км от устья
4000	40.00	8.86	16 км от устья
2	0.02	6.85	Устье реки

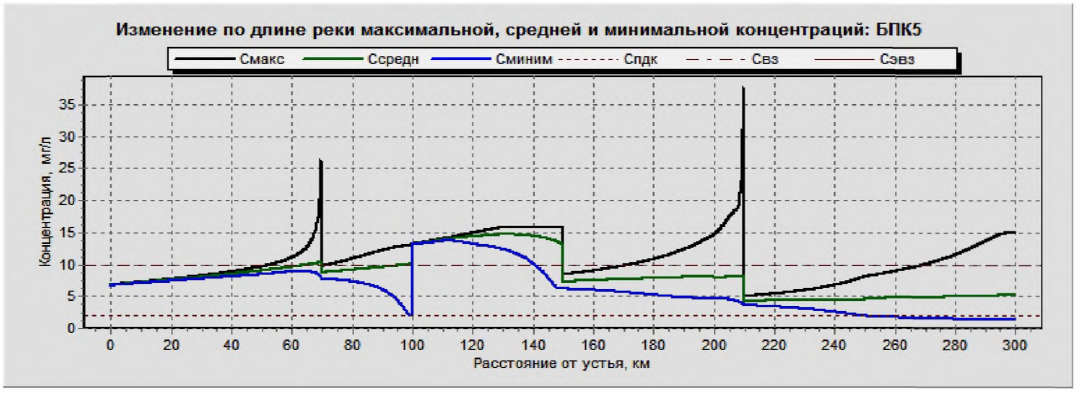
Принятые условия для расчета:

Расчеты выполнил _____ _____ _____

Рисунок В.1 – Вид отчетных материалов по результатам моделирования изменения максимальной концентрации ЗВ по длине водотока

Результаты моделирования изменения максимальной, средней и минимальной концентраций загрязняющего вещества

Вещество: БПК5
Река: Быстрая
Участок (км от устья): 299.70 - 0.02



Расчетные концентрации в створе, мг/л

№ п/п	Код створа	Расстояние от устья водотока, км	Наименование створа	Миним. концентрация	Средняя концентрация	Максим. концентрация
1	29950	299.50	500 м ниже фонового створа	1.50	5.20	14.98
2	21050	210.50	Выше сброса ГК г.Павловска	3.60	4.30	5.03
3	21000	210.00	сброс ГК г.Павловска	3.61	4.29	5.02
4	20950	209.50	500 м ниже сброса ГК г.Павловска	3.86	8.11	30.99
5	20050	200.50	500 м выше сброса консервного з-да	4.72	7.92	14.85
6	20000	200.00	Консервный завод	4.72	7.91	14.64
7	19050	190.50	500 м ниже консервного завода	4.80	8.00	12.41
8	15050	150.50	Выше сброса ОСК г.Дмитров	6.19	7.32	8.44
9	15000	150.00	сброс ОСК г.Дмитров	6.20	7.31	8.42
10	14950	149.50	Ниже сброса ОСК г.Дмитров	6.18	13.10	15.70
11	10050	100.50	500 м выше притока р.Ельня	13.08	13.16	13.23
12	10000	100.00	Приток р.Ельня	13.05	13.12	13.20
13	9950	99.50	500 м ниже притока р.Ельня	1.97	10.03	13.04
14	7050	70.50	500 м выше сброса з-да СП г.Добровольск	7.71	8.77	9.81
15	7000	70.00	сброс з-да СП г.Добровольск	7.72	8.75	9.76
16	6950	69.50	500 м ниже сброса з-да г.Добровольск	8.13	10.29	22.92
17	6000	60.00	60 км от устья	8.94	9.64	11.05
18	4000	40.00	16 км от устья	8.10	8.50	8.86
19	2	0.02	Устье реки	6.74	6.80	6.85

Расчеты выполнил _____ _____ _____
дата подпись расшифровка подписи

Рисунок В.2 – Вид отчетных материалов по результатам моделирования изменения максимальной, средней и минимальной концентраций ЗВ

Сравнение расчетной и фактической концентраций загрязняющего вещества в контрольных створах по длине реки

Вещество: $БПК_5$
Река: Быстрая
Участок (км от устья): 299.70 - 0.02

№ п/п	Код створа	Расстояние от устья водотока, км	Наименование створа	Расчетная максимальная концентрация	Фактическая максимальная концентрация	Погрешность расчета, мг/л (%)
1	29950	299.50	500 м ниже фонового створа	14.98	-	-
2	21050	210.50	Выше сброса ГК г.Павловска	5.03	4.50	-0.534 (-11.87%)
3	21000	210.00	сброс ГК г.Павловска	5.02	-	-
4	20950	209.50	500 м ниже сброса ГК г.Павловска	30.99	-	-
5	20050	200.50	500 м выше сброса консервного з-да	14.85	-	-
6	20000	200.00	Консервный завод	14.64	-	-
7	19050	190.50	500 м ниже консервного завода	12.41	-	-
8	15050	150.50	Выше сброса ОСК г.Дмитров	8.44	7.80	-0.645 (-8.26%)
9	15000	150.00	сброс ОСК г.Дмитров	8.42	-	-
10	14950	149.50	Ниже сброса ОСК г.Дмитров	15.70	-	-
11	10050	100.50	500 м выше притока р.Ельня	13.23	12.50	-0.734 (-5.87%)
12	10000	100.00	Приток р.Ельня	13.20	-	-
13	9950	99.50	500 м ниже притока р.Ельня	13.04	-	-
14	7050	70.50	500 м выше сброса з-да СП г.Добровольск	9.81	9.00	-0.809 (-8.99%)
15	7000	70.00	сброс з-да СП г.Добровольск	9.76	-	-
16	6950	69.50	500 м ниже сброса з-да г.Добровольск	22.92	-	-
17	6000	60.00	60 км от устья	11.05	-	-
18	4000	40.00	16 км от устья	8.86	-	-
19	2	0.02	Устье реки	6.85	5.00	-1.85 (-37.07%)

Расчеты выполнил _____ _____ _____
дата подпись расшифровка подписи

Рисунок В.3 – Вид отчетных материалов по результатам сравнения расчетной и фактической концентраций ЗВ

В.1.3 Рассмотрение результатов моделирования

Из графика «*Изменение по длине реки максимальной концентрации БПК5*» следует, что четыре основных источника ЗВ (загрязненная струя в фоновом створе, сброс ГК г.Павловска, сброс ОСК г.Дмитров, сброс завода СП г.Добровольск) существенно влияют на качество речной воды на определенных участках реки, в том числе с превышением уровня ВЗ. Наиболее большой участок реки загрязнен до уровня ВЗ ниже рассеивающего выпуска сточных вод ОСК г.Дмитров. Влияние сброса сточных вод консервного завода ни на одном из графиков не проявляется в связи с доминирующим влиянием на этом участке реки сброса сточных вод ГК г. Павловска. Для выявления возможного влияния на качество воды сброса сточных вод консервного завода нужно исключить из расчета сброс сточных вод ГК г. Павловска. Для этой процедуры следует нажать на главной экранной форме кнопку «*Исключить часть ист.ЗВ*», «мышкой» активировать координатный номер 21000 и продолжить расчет. На экране появится дополнительный график (красная линия), показывающий, как изменится значение $БПК_5$ по длине реки без влияния сточных вод ГК г. Павловска (рисунок В.4). В данном варианте получения результатов моделирования становится заметной роль влияния на качество воды консервного завода (незначительное превышение уровня ВЗ на небольшом участке реки). Вместе с этим исключение влияния сточных вод ГК г. Павловска отразилось на качестве воды на всем рассматриваемом участке реки (см. рисунок В.4). Для представления полученных результатов моделирования в виде отчета в главном меню задействуют раздел «*Отчеты*» и закладку в нем «*Отчет по задаче с исключенными источниками ЗВ*».

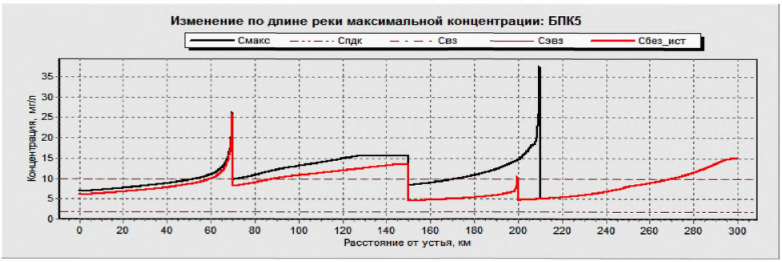


Рисунок В.4 – Вид графика изменения значений $БПК_5$ после исключения сброса сточных вод городской канализации г. Павловска

Полученные результаты моделирования свидетельствуют о том, что фоновые концентрации, рассчитанные в створе в 500 м выше выпуска, могут оказаться некорректными для установления нормативов допустимого сброса сточных вод консервного завода.

В.1.9 Корректировка поправочных коэффициентов

Как следует из результатов моделирования (см. таблицу на рисунке В.3 «*Сравнение расчетной и фактической концентраций загрязняющего вещества в контрольных створах по длине реки*») в контрольных створах имеет место существенное расхождение фактических и расчетных значений $БПК_5$, особенно в устьевом створе реки. Будем считать, что на реке отсутствуют значительные неучтенные источники ЗВ. В такой ситуации следует обратить внимание на контрольные створы, в которых по данным натурных наблюдений значения $БПК_5$ практически не отличаются по сечению реки, т.е. имеет место практически полное смешение загрязненных вод с речными, а по результатам моделирования этого не происходит (к такому створу можно отнести контрольный створ перед сбросом сточных вод ГК г. Павловска). Главной причиной появления данной невязки можно считать заниженное значение коэффициента поперечной дисперсии, рассчитанное для участка реки ниже фонового створа, в котором имеется загрязненная струя. Для корректировки получаемого результата моделирования в контрольном створе выше сброса сточных вод ГК г.Павловска методом прогонки расчета стационарной задачи подбираем такой поправочный коэффициент поперечной дисперсии для участка 300-250 км, при котором по результатам расчета будет иметь место практически полное перемешивание загрязненных масс воды в указанном контрольном створе. За такой коэффициент можно принять 2,5, при котором процент смешения в указанном створе составит 97 %. В результате введения поправочного коэффициента невязка расчетной и наблюденной концентрации снизилась с 11,87 % до 0,92 %, что можно считать достаточно хорошим результатом (если бы расхождение осталось существенным, то потребовалось бы дополнительно корректировать поправочный коэффициент суммарного коэффициента скорости самоочищения ЗВ, обнаруженного в загрязненной струе в фоновом створе). Оставшиеся невязки расчетных и фактических концентраций в контрольных створах на нижележащих речных участках связаны, главным образом, с заниженным суммарным коэффициентом скорости самоочищения речной воды от легкоокисляемых органических веществ (по $БПК_5$). Чтобы снизить значения этих невязок следует провести последовательно по отдельным речным участкам и источникам ЗВ подборку поправочных коэффициентов суммарной скорости самоочищения. На участке 210-150 км введение поправочного коэффициента для ЗВ, сбрасываемого со сточными водами, практически не влияет на результат, это указывает на то, что на данном участке возможно существенное влияние на трансформацию ЗВ неизвестных неучтенных факторов на речном участке. В связи с этим следует откорректировать поправочный коэффициент суммарного коэффициента скорости самоочищения непосредственно речных вод от рассматриваемого ЗВ. Путем подбора соответствующего поправочного коэффициента для речных вод в створах выше сброса ГК г.Павловска и выше консервного завода получен поправочный коэффициент, равный 1,7 (невязка при использо-

вании этого коэффициента в контрольном створе выше сброса ОСК г.Дмитров снизится до 0,42 %).

На следующем участке 150-100 км невязка концентрации ЗВ в конечном створе зависит от значения поправочного коэффициента суммарного коэффициента скорости самоочищения для ЗВ, обнаруженного как в реке, так и сточных водах. Подборка значений поправочного коэффициента показала удовлетворительный результат при его значениях, равных 1,1, взятых одинаковыми для сточных вод ОСК г.Дмитров и для речных вод, поступивших с вышерасположенного участка (невязка при данном значении поправочного коэффициента снизится до 0,53 %).

Далее на участке 100-70 км воды «чистого» притока Ельня только частично смешиваются с водами реки Быстрая. Здесь более важными являются процессы самоочищения, происходящие в максимально загрязненной струе р. Быстрая. В связи с этим корректировку поправочного коэффициента суммарного коэффициента скорости самоочищения целесообразно провести для ЗВ, поступившего с речными водами с вышерасположенного речного участка. Подобранное значение поправочного коэффициента составило 1,3 (невязка при этом снизится до 0,34 %).

На последнем участке 70–0,02 км невязка концентрации ЗВ зависит практически только от значения поправочного коэффициента суммарного коэффициента скорости самоочищения для ЗВ, поступившего с вышерасположенного участка реки. В процессе подборки поправочного коэффициента было выбрано значение, равное 5 (невязка при таком коэффициенте составит 0,51 %).

На рисунке В.5 представлен фрагмент отчетных материалы моделирования с учетом найденных поправочных коэффициентов.

В дальнейшем в последующие годы с учетом вновь полученных результатов годовых наблюдений моделирование повторяют. При этом оценивают получаемые невязки расчетных и натурных данных. При существенном их различии выявляют, зависят ли они от изменения величины среднегодового расхода. Если невязки из года в год получаются существенными и не зависят от среднегодового расхода, то решается вопрос о дополнительных наблюдениях на проблемных участках на предмет наличия неучтенных источников ЗВ и особенностей их неустойчивого внутригодового режима поступления ЗВ в водный объект. В качестве специальных наблюдений по получению действительных коэффициентов поперечной дисперсии можно провести наблюдения на речных участках, где невязки были обусловлены неточным их определением по эмпирическим данным. Специальные наблюдения по получению действительных суммарных коэффициентов скорости самоочищения речной воды от ЗВ также целесообразно планировать на участках с наиболее высокой невязкой, связанной с этим видом самоочищения. Результаты таких видов специальных наблюдений должны позволить после уточнения ситуации на реке и верификации математической модели получать более точное воспроизведение изменений содержания ЗВ по длине проблемных речных участков.

Сравнение расчетной и фактической концентраций загрязняющего вещества в контрольных створах по длине реки

Вещество: БПК$_5$
Река: Быстрая
Участок (км от устья): 299.70 - 0.01

№ п/п	Код створа	Расстояние от устья водотока, км	Наименование створа	Расчетная максимальная концентрация	Фактическая максимальная концентрация	Погрешность расчета, мг/л (%)
1	29950	299.50	500 м ниже фонового створа	14.98	-	-
2	21050	210.50	Выше сброса ГК г. Павловска	4.46	4.50	0.0414 (0.92%)
3	21000	210.00	сброс ГК г. Павловска	4.45	-	-
4	20950	209.50	500 м ниже сброса ГК г. Павловска	31.24	-	-
5	20050	200.50	500 м выше сброса консервного з-да	14.90	-	-
6	20000	200.00	Консервный завод	14.67	-	-
7	19050	190.50	500 м ниже консервного завода	12.24	-	-
8	15050	150.50	Выше сброса ОСК г. Дмитров	7.83	7.80	-0.0328 (-0.42%)
9	15000	150.00	сброс ОСК г.Дмитров	7.80	-	-
10	14950	149.50	Ниже сброса ОСК г. Дмитров	15.31	-	-
11	10050	100.50	500 м выше притока р.Ельня	12.57	12.50	-0.0663 (-0.53%)
12	10000	100.00	Приток р.Ельня	12.53	-	-
13	9950	99.50	500 м ниже притока р.Ельня	12.38	-	-
14	7050	70.50	500 м выше сброса з-да СП г. Добровольск	8.97	9.00	0.0309 (0.34%)
15	7000	70.00	сброс з-да СП г. Добровольск	8.92	-	-
16	6950	69.50	500 м ниже сброса з-да г. Добровольск	22.39	-	-
17	6000	60.00	60 км от устья	9.41	-	-
18	4000	40.00	16 км от устья	6.87	-	-
19	2	0.02	Устье реки	5.03	5.00	-0.0254 (-0.51%)

Расчеты выполнил _____ _____ _____

Рисунок В.5 – Вид таблицы сравнения расчетных и фактических значений БПК$_5$ после введения в расчет подобранных поправочных коэффициентов

В.2 Пример 2

В.2.1 Постановка задачи, введение исходных данных и предварительные расчеты

Требуется рассчитать и провести оценку изменения в максимально загрязненной струе среднегодовых значений $БПК_5$ по длине р.Быстрая протяженностью 300 км в 2012 г. с учетом воздействия нестационарного сброса дождевых вод с территории г. Борисов. Для решения задачи имеется следующая исходная информация: общая площадь городского водосбора – 480 га (мягкие покрытия – 144 га, твердые покрытия – 336 га); продолжительность стокообразующего дождя - 80 мин; примерное среднее значение $БПК_5$ в неочищенных дождевых водах, поступающих в водный объект с городской территории по балке Безымянная C_{mN}, = 53 мгO_2/л; интенсивность дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при обеспеченности один раз в год q_{20} в соответствии с картой на рисунке Б.1 составляет 120 л/с на 1 га.

Дождевые воды по балке Безымянная поступают в р.Быстрая на расстоянии 240 км от устья реки.

Учитывая расположение города на местности по таблице 5 (Восток Украины, низовье Волги и Дона, Южный Крым) при P_p = 1 принимаем ω = 0,67, m_r = 60, γ = 1.82.

Параметр A_d рассчитаем по формуле (Б.2)

$$A_d = q_{20}\left(1+\frac{\lg P_p}{\lg m_r}\right)^{\gamma} = 120\left(1+\frac{\lg 1}{\lg 60}\right)^{1,82} = 120.$$

По таблице Б.3 для асфальтовых твердых покрытий принимаем Z_c = 0,32; для мягких покрытий (газонов) (см. таблицу Б.2 приложпния Б) – Z_c = 0,038.

Средневзвешенная характеристика Z_{mid} для городского водосбора составит

$$Z_{mid} = \frac{0,32\cdot 336 + 0,038\cdot 144}{480} = 0,235.$$

Ориентировочный максимальный расход дождевых вод q_r, л/с, вычислим по формуле (Б.1)

$$q_r = \frac{Z_{mid} A_d^{1,2} F}{t_r^{1,2n-0,1}} = \frac{0,235\cdot 120^{1,2} 480}{70^{1,2\cdot 0,67-0,1}} = 1771,9 \text{ (л/с)}.$$

Вид возможной исходной эпюры поступления дождевых вод с городской территории можно представить следующим образом:

время сброса	расход сброса	концентрация ЗВ
0 мин	1,77 $м^3$/с	60 мгO_2/л
40 мин	1,50 $м^3$/с	70 мгO_2/л
80 мин	1,30 $м^3$/с	30 мгO_2/л

Для введения в оперативную память программы параметров данной эпюры задействуют пункт главного меню «*Эпюра сброса*». В открывшемся окне на вопрос «*Нестационарный сброс сосредоточенный?*» оставляют ответ «*Нет*». Далее вводят значение: «*Код створа зоны сброса*» – 24000. Пользуясь редакционными окнами «*Время*», «*Расход стока*», «*Концентрация ЗВ*» и кнопкой «*Добавить данные в строку списка*», введят параметры эпюры сброса. Запоминают внесенные данные, нажав кнопку «*Запомнить текущий сброс в списке*». Используя пункт «*Записать в файл данные списка*», запоминают составленную эпюру на жестком диске в виде файла с расширением «**. ери*». Далее нажав кнопку «*Выход*», возвращаются в главную экранную форму программы. Поскольку данная эпюра уже есть в папке программы, вместо вышеуказанной процедуры можно внести ее в оперативную память программы, нажав в окне «*Данные эпюры нестационарного сброса*» кнопку «*Считать из файла данные сбросов*» и выбрать в открывшемся окне Windows файл «*Река Быстрая, сосред.нестац.единичный сброс. ери*». Эпюра сброса должна вноситься в задачу только при наличии уже введенных контрольных и расчетных створов.

В.2.2 Проведение расчета и рассмотрение результатов моделирования

После заполнения и выхода из всех окон формирования исходной информации в главном меню выполняют заданную задачу активировав пункт «*Расчет влияния нестационарного сброса ЗВ*». Помимо получившегося программного изображения графика изменения ЗВ по длине реки, результат расчета можно рассмотреть в отчетных материалах после их записи на жестком диске. Для этого активируют в разделе главного меню пункт «*Отчеты*», а в нем закладку «*Отчет по задаче с нестационарным сбросом*». В нашем примере отчет записан на жестком диске в виде файла с названием «*Результаты моделирования изменения максимальных концентраций ЗВ при сосредоточенном нестационарном сбросе*». Вид его показан на рисунке В.6. Как видно в результате процедуры увеличения программно полученного графического результата моделирования и из отчетных материалов, влияние сосредоточенного нестационарного сброса ливневых сточных вод г.Борисов распространяется от створа нестационарного сброса (240 км от устья) до створа сброса ОСК г.Дмитров (210 км)). Ориентировочно по результатам моделирования при заданных условиях решения задачи превышение ЭВЗ отмечает-

ся на участке 240-238,8 км от устья реки (протяженность участка – 1,2 км), а ВЗ – на участке 240-210 км от устья реки до сброса ГК г.Павловска (20 км) и далее вниз по течению реки в связи с увеличением фонового загрязнения речной воды в результате влияния нестационарного сброса, а также влияния стационарного сброса ГК г. Павловска. При этом максимальные значения $БПК_5$ на уровне выше ВЗ удерживались до 156 км от устья реки.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

– сток дождевых вод с территории г. Борисов может оказывать существенное влияние на качество воды р.Быстрая;

– как минимум требуется организация специальных регулярных наблюдений за влиянием ливневых сточных вод г.Борисов на качество воды в р.Быстрая в максимально загрязненной струе в створах в 500 м выше и 500 м ниже впадения балки Безымянная и нескольких контрольных створах далее створа в 500 м ниже сброса (до створа сброса ГК г.Павловска) в периоды стокообразующих осадков;

– как максимум целесообразна организация дополнительных наблюдений за формированием химического состава дождевых и талых вод г.Борисов с выявлением наиболее загрязненных городских территорий по предложенной в настоящих рекомендациях методике (следует иметь ввиду, что талые воды, стекающие с территории городов, обычно более загрязнены по сравнению с дождевыми).

Результаты моделирования изменения максимальных концентраций загрязняющего вещества по длине водотока с учетом нестационарного сброса сточных вод

Вещество: БПК5
Река: Быстрая
Участок (км от устья): 299.99 – 0.02
7
Сведения о режиме нестационарных сбросов загрязняющего вещества
1-й нестационарный сброс - сосредоточенный.
Местоположение текущей зоны сброса (км от устья): 240.00
Коэффициент скорости самоочищения, 1/сут.: 0.100
Поправочный коэф. скорости самоочищения : 1.00
Время задержки самоочищения (сут.): 0.0000

№ п/п	Время, мин	Расход, куб.м	Концентрация, мг/л
1	0	1.77	60.00
2	40	1.50	70.00
3	80	1.30	30.00



6
Расчетные концентрации в створе, мг/л

№ п/п	Код створа	Расстояние от устья водотока, км	Наименование створа	Максимальная концентрация, без учета нестационарного сброса	Максимальная концентрация, с учетом нестационарного сброса	Разность концентраций
1	29999	299.99	10 м ниже фонового створа	15.00		
2	29950	299.50	500 м ниже фонового створа	14.98		
3	21050	210.50	500 м выше источника загрязнения	4.46	10.16	5.70
4	21000	210.00	Сброс сточных вод городской канализации г.Павловска	4.45	10.07	5.62
5	20999	209.99	10 м ниже источника загрязнения	60.00	60.00	0.000
6	20950	209.50	500 м ниже источника загрязнения	31.24	31.24	0.000
7	20050	200.50	500 м выше источника загрязнения	14.90	16.51	1.61
8	20000	200.00	Консервный завод	14.67	16.31	1.64
9	19999	199.99	10 м ниже источника загрязнения	15.00	16.55	1.55
10	19950	199.50	500 м ниже источника загрязнения	14.49	16.14	1.65
11	15050	150.50	500 м выше источника загрязнения	7.83	9.40	1.56
12	15000	150.00	сточные воды с ОСК г.Дмитров	7.80	9.37	1.56
13	14999	149.99	10 м ниже источника загрязнения	15.31	15.31	0.000

Принятые условия для расчета:

Расчеты выполнил _____ _____ _____

Рисунок В.6 – Вид отчетных материалов по результатам моделирования влияния сосредоточенного нестационарного сброса сточных вод

В.3 Пример 3

В.3.1 Постановка задачи, введение исходных данных и предварительные расчеты

Требуется рассчитать и провести оценку изменения в максимально загрязненной струе среднегодовых значений $БПК_5$ по длине р.Быстрая протяженностью 300 км в 2012 г. с учетом воздействия нестационарного сброса дождевых вод с территории интенсивно удобряемых сельхозугодий. Для решения задачи имеется следующая исходная информация:

– рассматриваемая зона сельхозугодий расположена в береговой зоне в 211,5–210,5 км от устья реки;

– общая площадь водосбора сельхозугодий – 50 га = 0,5 км^2 (береговая линия водосбора составляет 1 км, глубина водосбора – 0,5 км);

– продолжительность расчетного стокообразующего дождя – 240 мин;

– средний уклон склона – 0,1;

– удобрения вносятся в виде навоза от животноводческого комплекса, в результате чего максимальные значения $БПК_5$ в дождевых водах, стекающих с данных сельхозугодий могут достигать 200 мгO_2/л.

В соответствии с таблицами, приведенными в приложении Б, значения других исходных для решения задачи параметров составят:

– максимальная часовая интенсивность дождя $a_{час}$ в пятом районе (см. карту-схему на рисунке Б.3 и таблицу Б.9) при P_p=1 – 0,97 мм/мин;

– коэффициент редукции (по таблица Б.10) K_t = 1,4;

– коэффициент учета неравномерности распределения расчетных осадков по площади водосбора (по таблице Б.11) K_F = 1;

– коэффициент склонового стока при полном насыщении почв водой для ориентировочных расчетов взят (по таблице Б.12) α_0 = 0,55;

– коэффициент учета влияния крутизны водосборного бассейна (по таблице Б.14) K_y= 1,02;

– коэффициент редукции максимального дождевого стока в зависимости от размеров водосборной площади (по таблице Б.13) φ = 0,6;

– коэффициент учета проницаемости почво-грунтов на склоне водосбора (по таблице Б.15) γ_g= 0,25;

– коэффициент учета состояния почво-грунтов (по таблице Б.16) β = 0,7;

– поправочный коэффициент на редукцию проницаемости почво-грунтов с увеличением площади водосбора (по таблице Б.17) П = 1.

В соответствии с формулами (Б.8)–(Б.12), приведенными в приложении Б, рассчитывают примерный расход дождевых вод:

$$Q_p = 16{,}7\, a_{час}\, K_t\, K_F\, \alpha_0\, (1 - \gamma_g\, \beta\, П)\, F_{сх}\, \varphi\, K_y =$$

$$= 16{,}7 \cdot 0{,}97 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 0{,}55 \cdot (1 - 0{,}25 \cdot 0{,}71) \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}6 \cdot 1{,}02 = 3{,}14 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Вид возможной эпюры поступления дождевых вод с территории удобряемых сельхозугодий в р.Быстрая можно представить следующим образом:

время сброса	общий расход распределенного сброса	концентрация ЗВ
0 мин	3,14 $м^3/с$	200 $мгО_2/л$
40 мин	3,14 $м^3/с$	200 $мгО_2/л$
80 мин	3,14 $м^3/с$	200 $мгО_2/л$
160 мин	3,14 $м^3/с$	200 $мгО_2/л$
200 мин	2,00 $м^3/с$	150 $мгО_2/л$
240 мин	1,00 $м^3/с$	100 $мгО_2/л$

Для введения в оперативную память программы параметров данной эпюры задействуют пункт главного меню «*Эпюра сброса*». В открывшемся окне на вопрос «*Нестационарный сброс рассредоточенный*?» отвечают положительно (ставят галочку в редакционном окне). Далее вводят значения: «*Код створа начала зоны сброса*» – 21150; «*Код створа окончания зоны сброса*» – 21050. Пользуясь редакционными окнами «*Время*», «*Расход стока*», «*Концентрация ЗВ*» и кнопкой «*Добавить данные в строку списка*», вводят параметры эпюры сброса. Запоминают введенные данные нажатием кнопки «*Запомнить текущий сброс в списке*». Используя пункт «*Записать в файл данные сбросов*», запоминают составленную эпюру на жестком диске в виде файла с расширением «**.epи*». Далее, нажав кнопку «*Выход*», возвращаются в главную экранную форму программы. Поскольку данная эпюра уже есть в папке программы, вместо вышеуказанной процедуры можно внести ее в оперативную память программы, нажав в окне «*Данные сосредоточенных и рассредоточенных нестационарных сбросов и их эпюр*» кнопку «*Считать из файла данные сбросов*» и выбрать в открывшемся окне Windows файл «*Река Быстрая,распред.нестац.сброс.epи*». Далее следует войти в раздел главного меню «*Расчетные створы*» и, нажав кнопку «*Добавить расчетные створы*», назначить достаточно короткий шаг между расчетными створами для решения задачи распределенного нестационарного сброса. В рассматриваемом случае можно выбрать шаг, равный 100 м. Затем следует нажать кнопку «*Выход*» для возвращения в главное горизонтальное меню.

В.3.2 Проведение расчета и рассмотрение результатов моделирования

В главном меню в разделе «*Выполнить расчеты*» запускают процедуру «*Расчет влияния нестационарного сброса ЗВ*» (в зависимости от возможностей ПК расчет может продолжаться 4-7 мин). По полученным данным в виде графика изменения по длине реки максимальных концентраций ЗВ и записи отчетных материалов в виде файла на «жестком» диске можно более подробно проанализировать полученные результаты моделирования. В рассматриваемом примере отчет уже записан на жестком диске в виде файла с названием «*Результаты моделирования изменения максимальных концентраций ЗВ при распределенном нестационарном сбросе*». Вид его показан на рисунках В.7, В.8 (показана часть эпюры в увеличенном виде). Как видно из отчетных материалов, влияние распределенного нестационарного сброса дождевых вод с территории загрязняемых сельхозугодий весьма значителен. По

степени воздействия на качество воды в р.Быстрая в период выпадения осадков сброс сточных вод с территории сельхозугодий сопоставим и может превосходить сброс сточных вод предприятия ГК г.Павловска в стационарных условиях: по результатам моделирования на участке 211,5–209 км значения $БПК_5$ превышают уровень ЭВЗ, далее влияние нестационарного сброса на уровне выше ВЗ простирается до створа в 178 км от устья, где происходит совпадение концентраций ЗВ с максимальным уровнем значений $БПК_5$, фиксируемым в реки при стационарных условиях поступления в реку ЗВ.

Результаты моделирования изменения максимальных концентраций загрязняющего вещества по длине водотока с учетом нестационарного сброса сточных вод
Вещество: БПК5
Река: Быстрая
Участок (км от устья): 299.99 - 0.02

Сведения о режиме нестационарных сбросов загрязняющего вещества
1-й нестационарный сброс - рассредоточенный.
Местоположение текущей зоны сброса (км от устья): 211.50
Местоположение окончания текущей зоны сброса (км от устья): 210.50
Коэффициент скорости самоочищения, 1/сут.: 0.100
Поправочный коэф. скорости самоочищения : 1.00
Время задержки самоочищения (сут.): 0.0000

№ п/п	Время, мин	Расход, куб.м	Концентрация, мг/л
1	0	3.14	200.0
2	40	3.14	200.0
3	80	3.14	200.0
4	160	3.14	200.0
5	200	2.00	150.0
6	240	1.00	100.0



Рисунок В.7 – Вид отчетных материалов по результатам моделирования влияния распределенного нестационарного сброса сточных вод (страница 1)

Таблица Расчетные концентрации в створе, мг/л

№ п/п	Код створа	Расстояние от устья водотока, км	Наименование створа	Максимальная концентрация, без учета нестационарного сброса	Максимальная концентрация, с учетом нестационарного сброса	Разность концентраций
1	29999	299.99	10 м ниже фонового створа	15.00		
2	29950	299.50	500 м ниже фонового створа	14.98		
3	21050	210.50	500 м выше источника загрязнения	4.46	200.0	195.5
4	21000	210.00	Сброс сточных вод городской канализации г. Павловска	4.45	57.73	53.28
5	20999	209.99	10 м ниже источника загрязнения	60.00	60.45	0.456
6	20950	209.50	500 м ниже источника загрязнения	31.24	45.37	14.14
7	20050	200.50	500 м выше источника загрязнения	14.90	17.18	2.28
8	20000	200.00	Консервный завод	14.67	16.80	2.13
9	19999	199.99	10 м ниже источника загрязнения	15.00	16.79	1.79
10	19950	199.50	500 м ниже источника загрязнения	14.49	16.44	1.95
11	15050	150.50	500 м выше источника загрязнения	7.83	7.84	0.0092
12	15000	150.00	сточные воды с ОСК г.Дмитров	7.80	7.82	0.0197
13	14999	149.99	10 м ниже источника загрязнения	15.31	15.31	0.0000

Расчеты выполнил _____ _____ _____

дата подпись расшифровка подписи

Рисунок В.8 – Вид отчетных материалов по результатам моделирования влияния распределенного нестационарного сброса сточных вод (страница 2)

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

– сток дождевых вод с территории рассматриваемых сельхозугодий может оказывать существенное влияние на качество воды р.Быстрая;

– как минимум требуется организация специальных регулярных наблюдений за влиянием склоновых вод на качество воды в р.Быстрая в максимально загрязненной струе в створах в 500 м выше и 500 м ниже загрязненной территории сельхозугодий (зоны сброса сточных вод), а также в нескольких контрольных створах далее в периоды стокообразующих осадков;

– как максимум целесообразна организация дополнительных наблюдений за формированием химического состава дождевых и талых вод на территории загрязняемых сельхозугодий с выявлением наиболее загрязненных участков этой территории по предложенной в настоящих рекомендациях методике.

В.4 Пример 4

В.4.1 Постановка задачи, введение исходных данных и предварительные расчеты

Требуется рассчитать и провести оценку изменения в максимально загрязненной струе среднегодовых значений $БПК_5$ за 2012 г по длине р.Быстрая. с учетом воздействия двух сосредоточенных нестационарных сбросов дождевых вод с территории г. Дмитров и одного рассредоточенного с близлежащих загрязненных сельхозугодий. Для решения задачи имеется следующая исходная информация:

– общая площадь городского водосбора – 500 га; при этом к первому выпуску (155 км от устья) относится территория 300 га (мягкие покрытия – 90 га, твердые – 210 га), второму (149 км от устья) – 200 га (мягкие покрытия – 80 га, твердые – 120 га);

– площадь прибрежных сельхозугодий, расположенных вдоль берега реки в 146-145 км от устья, составляет 75 га = 0,75 $км^2$;

– примерное среднее значение $БПК_5$ в неочищенных дождевых водах, поступающих в водный объект по первому выпуску с городской территории составляет C_{mN}, = 30 $мгO_2/л$; по второму – 40 $мгO_2/л$; с сельхозугодий – 150 $мгO_2/л$;

– интенсивность дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при обеспеченности один раз в год q_{20} в соответствии с картой на рисунке Б.1 приложения Б составляет 120 л/с на 1 га.

Учитывая расположение города на местности по таблице 5 (Восток Украины, низовье Волги и Дона, Южный Крым) при P_P = 1 принимают ω = 0,67, m_r = 60, γ = 1.82.

Из расчета по формуле (Б.2) получают A_d = 120.

По таблице Б.3 приложения Б для асфальтовых твердых покрытий принимают Z_c= 0,32; для мягких покрытий (газонов) (см. таблицу Б.2 приложения Б) Z_c= 0,038.

Средневзвешенная характеристика Z_{mid} для городских водосборов составит: для первого выпуска – 0,235, второго – 0,207.

Ориентировочный максимальный расход дождевых вод q_r, л/с, для рассматриваемых выпусков рассчитывают по формуле (Б.1):·

для первого -

$$q_r = \frac{Z_{mid} A_d^{1,2} F}{t_r^{1,2\omega-0,1}} = \frac{0,235 \cdot 120^{1,2} \cdot 300}{60^{1,2 \cdot 0,67-0,1}} = 4163,9 \text{ (л/с)};$$

для второго -

$$q_r = \frac{Z_{mid} A_d^{1,2} F}{t_r^{1,2\omega-0,1}} = \frac{0,207 \cdot 120^{1,2} \cdot 200}{60^{1,2 \cdot 0,67-0,1}} = 2445,2 \text{ (л/с)}.$$

Вид возможной исходной эпюры поступления дождевых вод с городской территории можно представить следующим образом:

для первого выпуска -

время сброса	расход сброса	концентрация ЗВ
0 мин	4,16 м^3/с	30 мгO_2/л
40 мин	4,16 м^3/с	25 мгO_2/л
80 мин	3,00 м^3/с	15 мгO_2/л

для второго выпуска -

время сброса	расход сброса	концентрация ЗВ
0 мин	2,44 м^3/с	40 мгO_2/л
40 мин	2,44 м^3/с	35 мгO_2/л
80 мин	2,30 м^3/с	25 мгO_2/л

В соответствии с таблицами, приведенными в приложении Б, значения других исходных для решения задачи параметров составили:

– максимальная часовая интенсивность дождя $a_{час}$ в пятом районе (см. карту-схему на рисунке Б.3 и таблицу Б.9) при $P_р$ = 1 равна 0,97 мм/мин;

– коэффициент редукции (по таблица Б.10) K_t = 1,3;

– коэффициент учета неравномерности распределения расчетных осадков по площади водосбора (по таблице Б.11) K_F=1;

– коэффициент склонового стока при полном насыщении почв водой для ориентировочных расчетов берут по таблице Б.12 α_0 = 0,55;

– коэффициент учета влияния крутизны водосборного бассейна (по таблице Б.14 при $J_{ск}$= 0,2) $K_у$= 1,21;

– коэффициент редукции максимального дождевого стока в зависимости от размеров водосборной площади (по таблице Б.13) φ = 0,56;

– коэффициент учета проницаемости почво-грунтов на склоне водосбора (по таблице Б.15) γ_g= 0,25;

– коэффициент учета состояния почво-грунтов (по таблице Б.16) β = 0,7;

– поправочный коэффициент на редукцию проницаемости почво-грунтов с увеличением площади водосбора (по таблице Б.17) П = 1.

В соответствии с формулами (Б.8)–(Б.12), приведенными в приложении Б, рассчитывают примерный расход дождевых вод:

$$Q_p = 16,7\, a_{час} K_t K_F \alpha_0 (1-\gamma_g \beta П) F_{сх} \varphi K_у =$$

$$= 16,7 \cdot 0,97 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 0,55 \cdot (1-0,25 \cdot 0,7 \cdot 1) \cdot 0,75 \cdot 0,56 \cdot 1,21 = 4,86 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Вид возможной эпюры поступления дождевых вод с территории удобряемых сельхозугодий в р.Быстрая можно представить следующим образом:

время сброса	общий расход распределенного сброса	концентрация ЗВ
0 мин	4,86 $м^3/с$	150 $мгО_2/л$
40 мин	4,86 $м^3/с$	150 $мгО_2/л$
80 мин	3.00 $м^3/с$	100 $мгО_2/л$

Для введения в оперативную память программы параметров эпюр, характеризующих источники ЗВ, задействуют пункт главного меню «*Эпюра сброса*». В открывшемся окне для внесения данных первой эпюры на вопрос «*Нестационарный сброс рассредоточенный?*» оставляют ответ «*Нет*». Далее вводят значение: «*Код створа зоны сброса*» - 15500. Пользуясь редакционными окнами «*Время*», «*Расход стока*», «*Концентрация ЗВ*» и кнопкой «*Добавить данные в строку списка*», вводят параметры эпюры первого сброса и запоминают внесенные данные, нажав кнопку «*Запомнить текущий сброс в списке*». Далее для введения эпюры второго сброса вначале нажимают кнопку «*Новый нестационарный сброс*», затем указывают код створа зоны второго сброса 14900 и, пользуясь окнами «*Время*», «*Расход стока*», «*Концентрация ЗВ*», таким же образом, как для первого сброса, вносят данные эпюры второго сосредоточенного нестационарного сброса и запоминают внесенные данные, нажав кнопку «*Запомнить текущий сброс в списке*». Для введения данных эпюры третьего рассредоточенного нестационарного сброса вначале нажимают кнопку «*Новый нестационарный сброс*», на вопрос «*Нестационарный сброс рассредоточенный?*» дают утвердительный ответ «*Да*» (поставив галочку в окне вопроса). Далее вводят код створа начала зоны сброса 14600 и код окончания зоны сброса 14500. Затем, пользуясь окнами «*Время*», «*Расход стока*», «*Концентрация ЗВ*», вносят данные эпюры третьего сброса и запоминают внесенные данные, нажав кнопку «*Запомнить текущий сброс в списке*».

Используя пункт «*Записать в файл данные списка*», запоминают данные внесенных эпюр сбросов на жестком диске в виде файла с расширением «*. *ери*» Далее нажав кнопку «*Выход*», возвращаются в главную экранную форму программы. Поскольку список данных эпюр уже есть в папке программы, вместо вышеуказанной процедуры внесения данных после введения контрольных и расчетных створов можно этот список внести в оперативную память программы следующим образом: активировать в главной экранной форме задачу «*Эпюра сброса*» и в открывшемся окне «*Данные сосредоточенных и рассредоточенных нестационарных сбросов и их эпюр» нажать* кнопку «*Считать из файла данные сбросов*» и далее выбрать открывшемся окне Windows файл «*Река Быстрая,несколько нестац. сбросов.ери*».

В.4.2 Проведение расчета и рассмотрение результатов моделирования

После заполнения и выхода из всех окон формирования исходной информации выполняют заданную задачу, активировав в главном меню в пункте «*Выполнить расчеты*» закладку «*Расчет влияния нестацио-*

нарного сброса ЗВ». Результат расчета можно проанализировать по полученному графику продольного профиля изменения концентраций ЗВ в р.Быстрая и по отчетным материалам после записи результатов моделирования на жестком диске. Результаты моделирования изменения максимальных концентраций ЗВ в р.Быстрая при нескольких нестационарных сбросах показаны на рисунках В.9 и В.10 (показана часть эпюры в увеличенном виде).

Результаты моделирования изменения максимальных концентраций загрязняющего вещества по длине водотока с учетом нестационарного сброса сточных вод

Вещество: БПК$_5$
Река: Быстрая
Участок (км от устья): 299.99 - 0.02

Сведения о режиме нестационарных сбросов загрязняющего вещества
1-й нестационарный сброс - сосредоточенный.
Местоположение текущей зоны сброса (км от устья): 155.00
Коэффициент скорости самоочищения, 1/сут.: 0.100
Поправочный коэф. скорости самоочищения : 1.00
Время задержки самоочищения (сут.): 0.0000

№ п/п	Время, мин	Расход, куб.м	Концентрация, мг/л
1	0	3.00	30.00
2	40	2.50	25.00
3	80	2.00	15.00

2-й нестационарный сброс - сосредоточенный.
Местоположение текущей зоны сброса (км от устья): 149.00
Коэффициент скорости самоочищения, 1/сут.: 0.100
Поправочный коэф. скорости самоочищения : 1.00
Время задержки самоочищения (сут.): 0.0000

№ п/п	Время, мин	Расход, куб.м	Концентрация, мг/л
1	0	2.44	40.00
2	40	2.44	35.00
3	80	2.30	25.00

3-й нестационарный сброс - рассредоточенный.
Местоположение текущей зоны сброса (км от устья): 146.00
Местоположение окончания текущей зоны сброса (км от устья): 145.00
Коэффициент скорости самоочищения, 1/сут.: 0.100
Поправочный коэф. скорости самоочищения : 1.00
Время задержки самоочищения (сут.): 0.0000

№ п/п	Время, мин	Расход, куб.м	Концентрация, мг/л
1	0	2.50	150.0
2	40	2.00	150.0
3	80	2.00	100.0



Рисунок В.9 - Вид отчетных материалов по результатам моделирования влияния нескольких нестационарных сбросов сточных вод (страница 1)

Таблица Расчетные концентрации в створе, мг/л

Номер контрольного створа	Код створа	Расстояние от устья водотока, км	Наименование створа	Максимальная концентрация, без учета нестационарного сброса	Максимальная концентрация, с учетом нестационарного сброса	Разность концентраций
8	20000	200.00	Консервный завод	14.67		
9	19999	199.99	10 м ниже источника загрязнения	15.00		
10	19950	199.50	500 м ниже источника загрязнения	14.49		
11	15050	150.50	500 м выше источника загрязнения	7.83	17.52	9.69
12	15000	150.00	сточные воды с ОСК г.Дмитров	7.80	16.94	9.14
13	14999	149.99	10 м ниже источника загрязнения	15.31	19.87	4.57
14	14950	149.50	500 м ниже источника загрязнения	15.31	19.16	3.85
15	10050	100.50	500 м выше источника загрязнения	12.57		
16	10000	100.00	Приток р.Ельня	12.53		

Расчеты выполнил _____ _____ _____

дата подпись расшифровка подписи

Рисунок В.10 – Вид отчетных материалов по результатам моделирования влияния нескольких нестационарных сбросов сточных вод (страница 2)

По результатам моделирования при заданных условиях решения задачи превышение ЭВЗ отмечалось на участке 146,1-144,3 км от устья реки (протяженность участка – 1,8 км), а ВЗ под воздействием нестационарных сбросов - на участке 155-140 км от устья реки (15 км).

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

– сток дождевых вод с территории г. Дмитров и близлежащих загрязненных сельхозугодий может оказывать существенное влияние на качество воды р. Быстрая на участке 155-140 км от устья реки;

– как минимум требуется организация специальных регулярных наблюдений за влиянием склоновых дождевых вод в районе г. Дмитров на качество воды в р.Быстрая в максимально загрязненной струе в

створах в 500 м выше и 500 м ниже впадения каждого из сбросов дождевых вод с городской территории, а также в 500 м выше и ниже загрязненного участка сельхозугодий в периоды стокообразующих осадков;

– как максимум целесообразна организация дополнительных наблюдений за формированием химического состава дождевых и талых вод г. Дмитров с выявлением наиболее загрязненных городских территорий по предложенной в настоящих рекомендациях методике. То же самое касается наблюдений за сбросом склоновых вод с загрязненных сельхозугодий.

Библиография

[1] Кондюрина Т.А., Филькин Г.В. К вопросу о теоретическом решении распространения примеси в потоке // Тр. Грузинского с-х. н-та. – 1981.- Т. 12. – С. 96-100.

[2] Филькин Г.В., Медведева Л.Д. Поле концентраций, создаваемое линейным выпуском / Гидрохимический, институт. – Новочеркасск, 1985. – 6 с. Деп. в ВИНИТИ, № 3949-85.

[3] Кондюрина Т.А., Филькин Г.В. Математическая модель процессов смешения сточных вод в водотоках // Тр. Южгипроводхоза. Ростов-на-Дону, 1990. – С. 136-140.

[4] Лапшев Н.Н. Расчеты выпусков сточных вод. – М.:Стройиздат, 1977. – 88 с.

[5] Быков В.Д. Гидрометрия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 275 с.

[6] Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1981. – 638 с.

[7] Де Бор Л. Практическое руководство по сплайнам: Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1985. – 304 с.

[8] Быстров А.В., Клименко О.А. К вопросу определения коэффициента продольной дисперсии в турбулентных потоках // Водные ресурсы, 1990, № 5. – С.174-177.

[9] Тарасов М.Н., Клименко О.А. и др. Вопросы исследования и прогнозирования загрязненности рек. – Гидрохимические материалы; 1977, т. 67. – 114 с.

[10] Климкова В.М., Смолич А.В. Взвешенные вещества - основной фактор загрязнения водных объектов поверхностным стоком с городских территорий. – В кн.: Использование и охрана природных вод; Минск: Наука и техника, 1985, – С.71-75.

[11] Молоков М.В., Шифрин В.Н. Очистка поверхностного стока с территории городов и промышленных площадок. М: Стройиздат, 1977. – 104 с.

[12] Куприянов В.В., Скакальский Б.Г. Урбанизация и ее влияние на режим и качество поверхностных вод. - Водные ресурсы, 1973, № 2. С.172-182.

[13] Чернышов Е.П., Барымова Н.А. Роль антропогенных факторов в формировании стока растворенных веществ. – Изв. АН СССР. Сер.геогр. 1982, №5. – С. 52-60.

[14] Основы прогнозирования качества поверхностных вод / Составители: Л.Н. Фольковская, В.С. Каминский, Л.Л. Пааль, И.Ф. Грибовская. М.:Наука, 1982. – 181 с.

[15] Чуян Г.А., Тур О.П. Прогнозирование содержания биогенных элементов в стоке с сельскохозяйственных угодий// Агрохимия № 5. 1985. – С. 73-79.

[16] Методические рекомендации по расчету максимального дождевого стока и его регулированию. Министерство транспортного строительства, Главтранспроект, Союздорпроект. Москва, 1980. – 82 с.

Ключевые слова: этапы усовершенствования, режимные и специальные наблюдения, загрязняющее вещество, трансформация, водоток, математическое моделирование, стационарные и нестационарные сбросы веществ

Лист регистрации изменений

Номер изменения	Номер страницы				Номер документа (ОРН)	Подпись	Дата	
	измененной	замененной	новой	аннулированной			внесения изменений	введения изменений

gost.e-ecolog.ru