

РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ в р. Товарная

Рассматривается двумерная модель распространения загрязнений, реализованная для р. Товарная – одной из типичных малых рек (ручьев) г. Калининград.

Построены профили безразмерной концентрации примесей при наличии одного и двух источников у берегов и в середине водотока. Приведены поперечные профили индекса загрязнения сточных вод. Установлено, что достаточная для практически чистой воды (по ИЗВ) перемешиваемость достигается на расстоянии 120 м от источника.



Введение

Река Товарная является одной из типичных малых рек (ручьев) г. Калининград.

Протяженность около 4 км, полностью расположена в городской черте. Впадает в р. Преголя, через нее связана с Калининградским заливом и Балтийским морем.

Р. Товарная начинается в болотистых зарослях к югу от городского парка, течет в западном и в северном направлениях по заболоченной низменности мимо товарной железнодорожной станции, пересекает ул. Транспортная и впадает в небольшую затоку судоремонтного предприятия на берегу р. Преголя. Как городская, р. Товарная является приемником сточных вод.

В настоящее время большая часть промышленных предприятий г. Калининград не имеет биологических очистных сооружений и сбрасывает свои сточные воды без очистки или после механических очистных сооружений. Объем годового сброса загрязненных вод в регионе доходит до 150 млн. м³.

Водные объекты области испытывают сильное антропогенное воздействие со стороны промышленных предприятий, жилищно-коммунального хозяйства и от многочисленных сельскохозяйственных объектов.

Качество воды водотоков пока не отвечает нормативным требованиям. Водоохранная обстановка на пограничных с Литвой и Польшей водотоках осложняется по причине превышения фоновых концентраций загрязняющих веществ уже на подходе к границам области и РФ.

Н.Л. Великанов*,

доктор технических наук, профессор кафедры водных ресурсов и водопользования, ФГОУ ВПО Калининградский государственный технический университет

В.А. Наумов,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования ФГОУ ВПО Калининградский государственный технический университет

Сохраняется очень высокая степень загрязнения р. Преголя, являющейся главной водной артерией г. Калининград. На химический состав воды р. Преголя оказывают большое влияние недостаточно очищенные сточные воды городов Черняховск, Гвардейск и Калининград, а также объектов с территории Польши. В целом преобладает загрязнение реки нефтепродуктами и нестабильными органическими веществами (по БПК), аммонийным азотом. Отмечаются периоды острого кислородного дефицита, включая зимнюю межень, когда в отдельные дни возникают сероводородные зоны.

Из общего водоотведения в поверхностные водоемы области 70 % сточных вод являются загрязненными и 30 % условно чистыми.

Материалы по биологическим показателям загрязненности водных объектов Калининградской области не носят системный характер. Сокращаются работы по проведению гидробиологического мониторинга на контрольных пунктах.

Все большее внимание уделяется только определению концентраций контролируемых вредных веществ и сопоставлению их с ПДК. Такой подход недостаточен для оценки состояния водных экосистем, так как, во-первых, изолированное действие отдельных химических веществ без учета реальной экологической ситуации не отражает истинной картины; во-вторых, в результате взаимо-

* Адрес для корреспонденции: monolit8@yandex.ru

действия многих химических ингредиентов в водной среде происходит образование веществ, которые могут оказаться значительно токсичнее анализируемых исходных соединений; в-третьих, многие загрязняющие вещества находятся вне внимания исследователей из-за трудоемкости или невозможности их определения, особенно если учесть, что ежегодно синтезируются десятки тысяч новых химических соединений.

Опасным является постоянное воздействие загрязняющих веществ в малых дозах (ниже ПДК) на водные объекты. Такое воздействие называют воздействием факторов малой интенсивности [1-3], опасность которого заключается в хроническом характере самого действия, приводящем к накоплению токсических веществ в компонентах среды.

Сейчас только гидробиологический мониторинг дает возможность непосредственно оценить состояние водной экосистемы. Программа такого мониторинга пресноводных экосистем предусматривает наблюдение по всем основным подсистемам: фито-, бактерио-, зоопланктону, зообентосу, бактериобентосу, перифитону. Каждая группа организмов как биологический индикатор состояния экосистемы имеет свои преимущества и недостатки.

Обычно гидробиологический мониторинг включает:

- 1) сапробиологический анализ, что предусматривает определение видового состава сообществ и выделение индикаторных видов;
- 2) определение видового разнообразия;

М.Н. Великанова,
соискатель кафедры
водных ресурсов
и водопользования
ФГОУ ВПО
«Калининградский
государственный
технический
университет»,
системный аналитик
отдела
информационных
технологий ООО
"Продукты питания
комбинат",
г. Калининград

3) количественные показатели сообществ, а также характеристику их функциональных свойств, включающих определение интенсивности продукционных и деструктивных процессов. Последние дают возможность оценить самоочистительную способность воды и уровень устойчивости экосистемы. Водоохранные зоны около рек и озер соблюдаются лишь в отдельных районах области. В этих зонах часто самовольно распахиваются земли под огороды, располагаются фермы, свалки.

Результаты и их обсуждение

Физическая и математическая модели распространения загрязнений в водотоке

Для оценки воздействия промышленных и хозяйственно-бытовых стоков на водную среду необходимо учитывать динамику распространения загрязнений и их трансформацию по водотоку. В общем случае процесс перемешивания является трехмерным, но в большинстве практических задач диффузия в вертикальном направлении происходит значительно быстрее, чем в поперечном и продольном направлениях [1, 2]. Поэтому в данной работе рассматривается двумерная модель распространения загрязнений.

Несомненно, данные о динамике течения реки во времени и пространстве с учетом разнообразных внешних условий существенно влияют на решение рассматриваемой



задачи. В первом приближении можно принять следующие допущения: ширина водотока B много больше глубины H ; средняя скорость воды не менее $0,1$ м/с; выпуск сточных вод – сосредоточенный.

При таких условиях стационарное движение примеси в водотоке описывается следующим дифференциальным уравнением в частных производных [3]:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - kC, \quad (1)$$

где x, y – продольная и поперечная координаты, соответственно; u – продольная скорость воды; C – концентрация загрязняющего вещества; D_y – коэффициент поперечной турбулентной диффузии; k – коэффициент неконсервативности (самоочищения).

По физическому смыслу рассматриваемая задача является параболической. Для математической постановки параболической задачи необходимо задать граничные условия по концентрации C в исходном сечении водотока и вдоль береговых линий вниз по течению. В исходном сечении задаем фоновое значение концентрации C_ϕ во всех точках, кроме точек, примыкающих к источнику загрязнения. Если вдоль береговой линии нет источников загрязнения, то справедливо условие равенства нулю потока примеси по нормали к ней. Так как поток примеси прямо пропорционален градиенту концентрации, это соответствует условию:

$$\frac{\partial C}{\partial y} = 0 \quad \text{при } y = 0 \text{ и при } y = B. \quad (2)$$

Для задания граничного условия в исходном сечении важно знать не только концентрацию вредных примесей в стоке C_{cm} (мг/л), но и расход стоков Q_{cm} (л/с). Тогда массовый расход загрязняющей примеси (мг/с) от данного точечного источника равен

$$G_{cm} = C_{cm} Q_{cm}. \quad (3)$$

Чтобы массовый расход примеси, поступающей в водоток, был равен G_{cm} , концентрация примеси в двух точках, примыкающих к источнику, должна быть

$$C_{0,0} = C_{0,1} = \frac{C_{cm} Q_{cm} + C_\phi Q_1}{Q_{cm} + Q_1}, \quad (4)$$

где Q_1 – расход воды через сектор, примыкающий к берегу.

Дифференциальное уравнение (1) заменялось конечно-разностным по явной схеме [3]. Равенство нулю производной от концентрации по координате y (2), в рамках аппроксимации первого порядка записывается

Ключевые слова:

малая река, распространение загрязнений, вредные вещества, анализ проб стоков

$$C_{i,0} = C_{i,1}; \quad C_{i,Ny} = C_{i,Ny-1}, \quad (5)$$

где N_y – количество интервалов по ширине реки, в расчете принято $N_y = 80$. Формулы (5) означают, что значение концентрации, вычисленное по (1) в предпоследнем узле, записывается без изменения и в последнем. Коэффициент турбулентной диффузии для летнего времени вычисляем в соответствии с [4]

$$D_y = \frac{9,81uH}{37n_{ш}C_{ш}^2}, \quad (6)$$

где $n_{ш}$ – коэффициент шероховатости ложа реки, определяемый по справочным данным; $C_{ш}$ – коэффициент Шези, определяемый при средней глубине реки до 5 м по формуле Н.Н. Павловского

$$C_{ш} = R^{y_{ш}} / n_{ш},$$

$$y_{ш} = 2,5\sqrt{n_{ш}} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n_{ш}} - 0,1) \quad (7)$$

где R – гидравлический радиус ($R \approx H$).

Неравномерность средних скоростей воды на вертикали поперек реки $u(y)$ учитывалась по рекомендациям, полученным в [5].

Исходные данные для расчета распространения загрязнений в р. Товарная, г. Калининград

По результатам физико-химических анализов проб стоков, сбрасываемых Калининградским морским портом в р. Товарная, вычислим индекс загрязнения сточных вод:

$$ИЗВ_0 = \frac{1}{N} \sum_{f=1}^N \frac{C0_f}{ПДК_f}, \quad (8)$$

где $C0_f$ – концентрация f -й вредной примеси в стоках, которой соответствует $ПДК_f$. Приняты следующие номера: $f = 1$ – азот аммонийный, 2 – азот нитратов, 3 – азот нитритов, 4 – хлориды, 5 – сульфаты, 6 – фосфаты, 7 – нефтепродукты, 8 – БПК_п; $N = 8$.

ПДК (мг/л) по указанным веществам в водоемах рыбохозяйственного значения [6, 7] БПК = {0,4; 9; 0,02; 300; 100; 0,2; 0,05; 3}.

По вектору концентраций (мг/л) в стоках августа 2000 г.:

$$C0 = \{4; 4,3; 0,12; 540; 43; 0,31; 5,2; 4,6\}$$

значение индекса загрязнения вод $ИЗВ_0 = 15,7 > 10$, что по используемой классификации соответствует чрезвычайно грязным водам.

Рассчитаем изменение ИЗВ в водотоке. В рассматриваемом створе в августе 2000 г. средней водности (50 % обеспеченности) расход воды составляет 74 л/с; ширина $B = 5$ м; средняя скорость $0,1$ м/с; расход стоков морского порта $Q_{cm} = 8,12$ л/с.

При сбросе сточных вод или других видах хозяйственной деятельности, влияющих на со-

стояние водных объектов рыбохозяйственного значения, нормативы качества поверхностных вод или их природные состав и свойства (в случае природного превышения этих нормативов) соблюдаются на протяжении всего участка водопользования, начиная с контрольного створа (поперечного сечения водного потока, в котором контролируется качество воды), но не далее чем 500 м от места сброса сточных вод [4]. Поэтому длину расчетного участка водотока принимаем $L = 500$ м. Коэффициент неконсервативности при 20°C $k = 0,1 \text{ сут}^{-1} = 1,16 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ [4] достаточно мал, чтобы на рассматриваемом участке L величина концентрации практически не уменьшалась из-за самоочищения реки. Для консервативных примесей удобно рассчитывать безразмерную концентрацию

$$b(x, y) = \frac{C_f(x, y) - C_\phi}{C_f(0, 0) - C_\phi}, \quad (9)$$

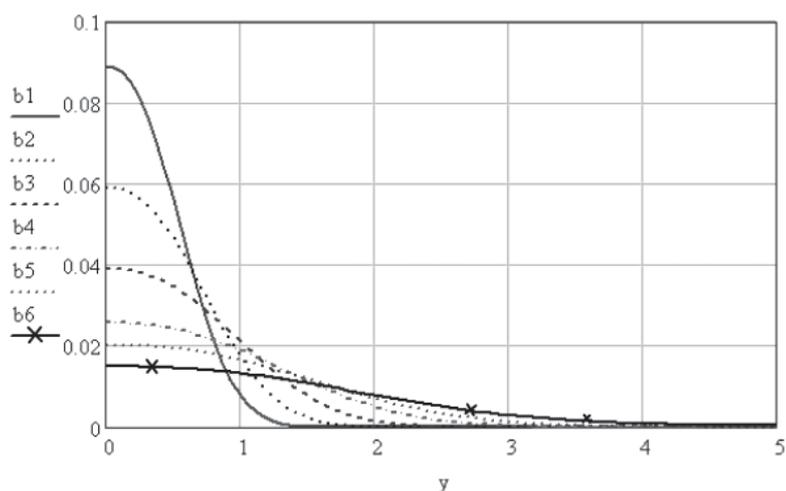


Рис. 1. Поперечные профили безразмерной концентрации примесей (водосброс у берега).

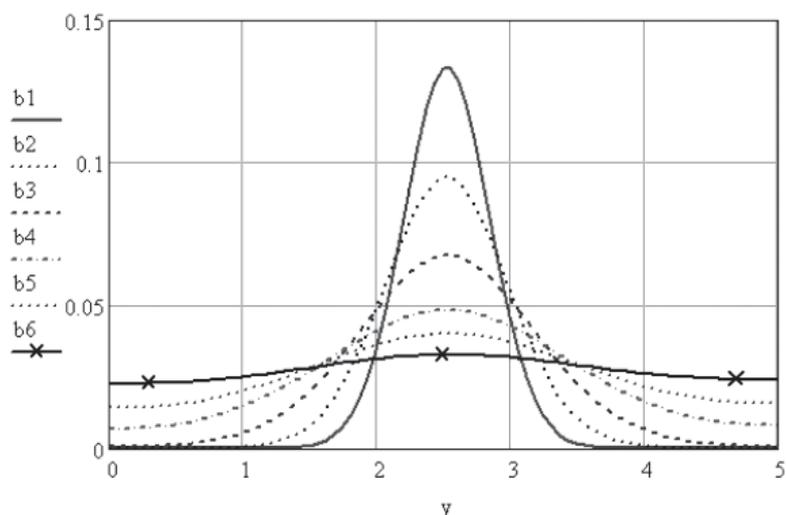


Рис. 2. Поперечные профили безразмерной концентрации примесей (сброс в середине водотока).

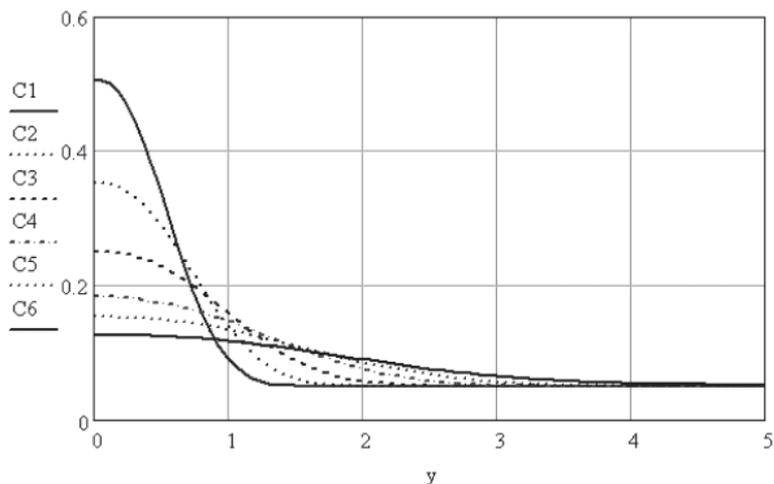


Рис. 3. Поперечные профили концентрации нефтепродуктов, мг/л (водосброс у берега).

которая изменяется для всех загрязняющих веществ одинаково от 0 до 1.

Выберем $n_{ш} = 0,025$; а фоновую концентрацию загрязняющих веществ равной соответствующей ПДК. Тогда фоновое значение ИЗВ = 1.

Результаты расчета распространения загрязнений в р. Товарная, г. Калининград

Графические зависимости, полученные по результатам расчетов, приведены на рис. 1-8. Продольная (вдоль водотока) и поперечная (поперек водотока) координаты x, y представлены в метрах. Поперечные профили на рис. 1-6 изображены на расстояниях от источника вдоль водотока: 1) $x = 25$ м; 2) 50 м; 3) 100 м; 4) 200 м; 5) 300 м; 6) 500 м.

Из рис. 1-5 видно, на расстоянии 500 м обеспечивается хорошее перемешивание. Если источник у берега, то неравномерность составляет примерно 20 %, а если в середине водотока – около 10 %.



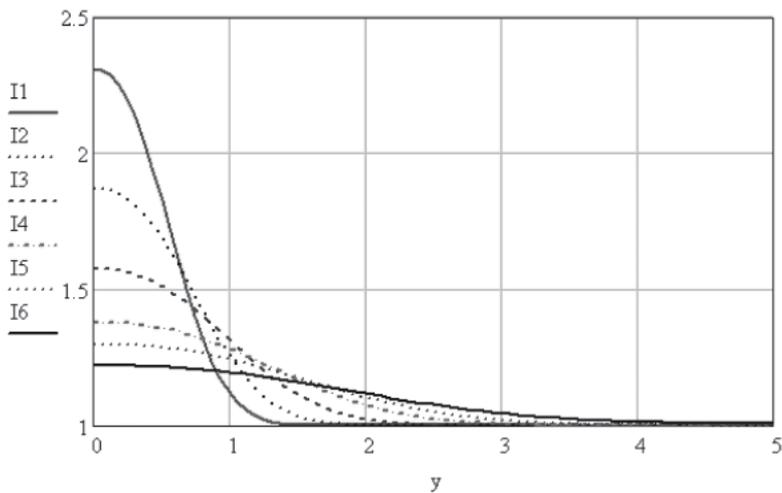


Рис. 4. Поперечные профили ИЗВ (водосброс у берега).

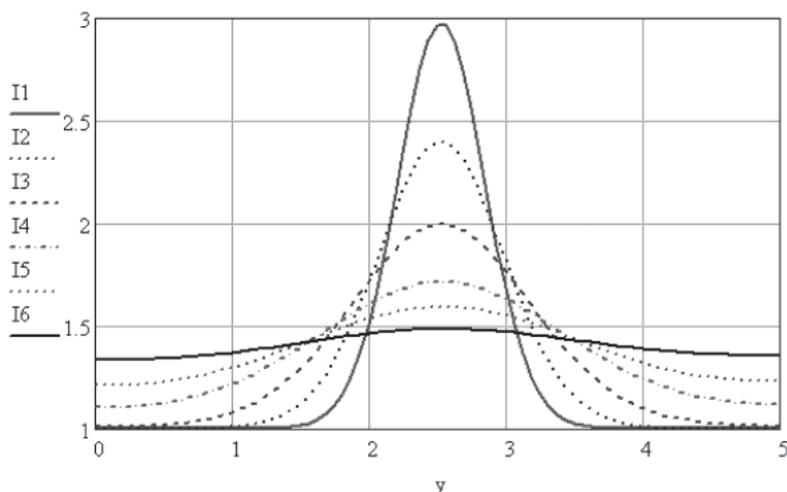


Рис. 5. Поперечные профили ИЗВ (сброс в центре водотока).

Достаточная для практически чистой воды (по ИЗВ) перемешиваемость достигается на расстоянии 120 м от источника (рис. 6, 7).

Для сравнения приведен расчет для случая, когда через 50 м на другом берегу р. Товарная имеется еще один точечный источник загрязнения с аналогичными характеристиками. На рис. 8 показаны результаты такого расчета.

Заключение

В действительности точечный источник загрязнения далеко не один. При проверке, проведенной администрацией г. Калининград в июне 2010 г. [8], зафиксировано 112 выпусков сточных вод в р. Товарная, многие из которых не подвергались очистке. В среднем, на каждые 40 м приходится один источник загрязнения. Загрязненные воды не успевают полностью перемешаться на участке водотока между

двумя источниками. Таким образом, для установления истинной картины загрязнения реки требуется учитывать влияние источников сбросов, расположенных выше по течению.

Литература

1. Наумов В.А. Механика движения неоднородных сред. Учебное пособие. Калининград: Изд-во КГТУ. 2004. 120 с.
2. Григорян С.С. Об эволюции попавшей в реку массы консервативного загрязнения при ее движении по течению // Прикладная математика и механика. 2009. Т. 73, № 6. С. 1036-1046.
3. Дружинин Н.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши / Н.И. Дружинин, А.И. Шишкин. Л.: Гидрометеиздат. 1989. 390 с.

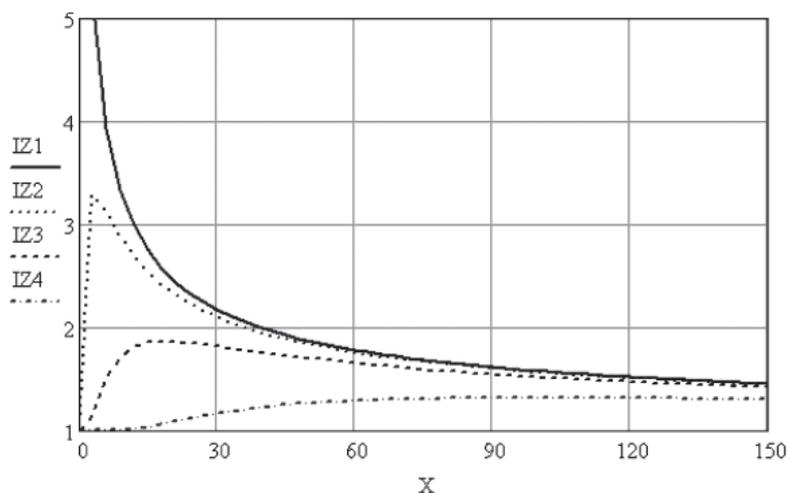


Рис. 6. Изменение ИЗВ вдоль водотока (водосброс у берега) на расстоянии: 1) $y = 0$ (у берега); 2) 0,25 м; 3) 0,5 м; 4) 1 м.

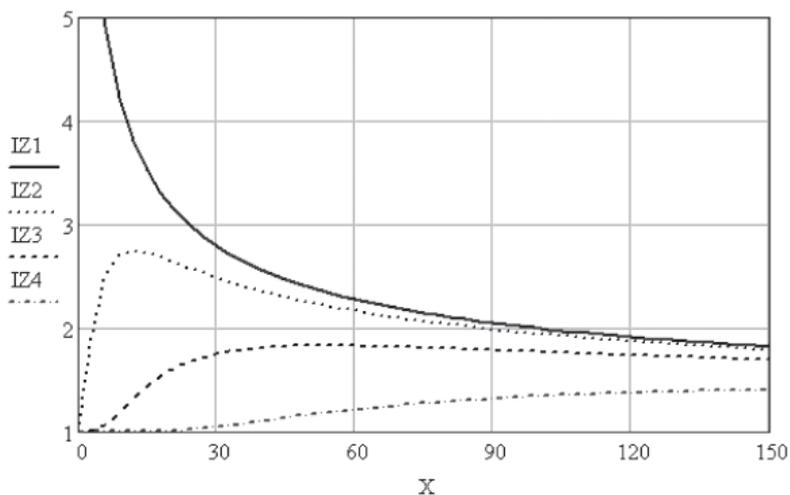


Рис. 7. Изменение ИЗВ вдоль водотока (сброс в середине водотока) на расстоянии: 1) $y = 2,5$ м; 2) $2,75$ м; 3) $3,0$ м; 4) $3,5$ м.

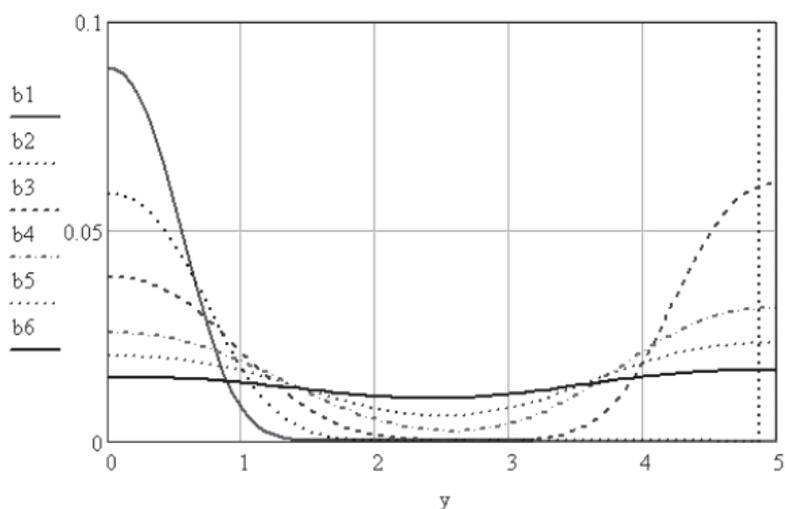


Рис. 8. Профили безразмерной концентрации примеси при наличии двух источников у берегов через 50 м.

4. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Министерство природных ресурсов Российской Федерации. Приказ № 333 от 17 декабря 2007 г. Зарегистрирован в Минюсте РФ 21 февраля 2008 г., № 11198.

5. Хон А.В. Саморегуляция в динамике взаимодействия речного потока и русла// Автореферат дис. канд. географ. наук. Томск, 2003. 23 с.

6. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20. Зарегистрирован в Минюсте РФ 09.02.2010, рег. № 16326.

7. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Федерального агентства по рыболовству от 04.08.2009 № 695. Зарегистрирован в Минюсте РФ 03.09.2009, рег. № 14702.

8. Шаг за шагом к чистоте водоёмов// Эксклав.ru. Калининградский Интернет-портал (Электронный ресурс), 29 июня 2010 г. URL: <http://exclav.ru/sobyitiya/oblast/shag-za-shagom-k-chistote-vodoyomov.html> (дата обращения: 21.08.2010).



N.L.Velikanov, V.A.Naumov, M.N.Velikanova

POLLUTION DISTRIBUTION IN TOVARNAYA RIVER

The two-dimensional model of contamination distribution has been observed. This model has been applied for the Tovarnaya river - the typical small river of Kaliningrad city. Dimensionless impurity

concentration profiles in the presence of one and two pollution sources have been made. Impurity index cross profiles of sewage waters have been presented. Acceptable intermix level is reached on the

distance of 120 m from source of pollution.

Key words: small river, pollution distribution, contaminants, sewage sample analysis