

М.А. Епифанова, А.В. Епифанов, Э.Л. Аким

**РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

Введение. Современная система нормирования нагрузки на водные объекты включает: 1) расчет технологических нормативов по маркерным для отрасли веществам [ИТС-1, 2015]; 2) расчет нормативов допустимых сбросов (НДС) для веществ 1 и 2 классов опасности; 3) сравнение рассчитанных нормативов допустимых сбросов с установленными на основе решения государственной экологической экспертизы нормативами допустимых воздействий для водохозяйственных участков [Епифанов, 2019; Жильникова, 2017; Троянская, 2018]. Невыполнение производством любого из вышеперечисленных нормативов приводит к необходимости разработки программы повышения экологической эффективности и стократному увеличению экологических платежей. Нормативы допустимых сбросов рассчитываются согласно приказу Минприроды РФ №1118 от 29.12.2020 г. «Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей». Однако приведенные в методике формулы имеют ограниченный диапазон применения. В связи с этим для многих производств необходимо разрабатывать модели конвективно-диффузионного переноса и превращения загрязняющих веществ для участков водных объектов в местах сброса сточных вод производства [Lai, 2013]. В свою очередь, целлюлозно-бумажные предприятия являются одними из основных загрязнителей водных объектов. От них в водную среду поступают следующие основные показатели: взвешенные вещества, БПК_п, ХПК, соединения азота, метанол, формальдегид, адсорбируемые галогенорганические соединения (АОХ) и др. [Смирнов, 2006; Рыбников, 2013].

На движение водных масс и загрязняющих веществ оказывают влияние не только стоковые течения в водном объекте, но также направление и скорость ветра, наличие на водном объекте различных гидротехнических сооружений, морфометрические особенности русла, сила Кориолиса и т. д. В связи с этим становится актуальным применение математического моделирования переноса загрязняющих веществ, а также использование полу-

ченных данных для нормирования сброса сточных вод в сложных гидрологических системах.

На сегодняшний день разработаны двумерные и трехмерные математические модели расчета ветровых течений, а также конвективно-диффузионного переноса загрязняющих веществ в водных объектах. Данные модели имеют общую структуру, которую необходимо адаптировать непосредственно для исследуемого водного объекта с учетом параметров водовыпуска контрактного водопользователя, производящего сброс сточных вод [Фельзенбаум, 1960; Методические..., 1987; Марчук, 1984].

Нами предложен алгоритм расчета конвективно-диффузионного переноса загрязняющих веществ от выпусков сточных вод НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус» в р. Вуокса в районе Лесогорского водохранилища. Предложенный алгоритм учитывает ветровые течения в открытой части русла и заводи, образованной вдоль правого берега. Результаты математического моделирования нашли применение в разработке нормативов допустимых сбросов для комбината.

Цель исследования – разработка алгоритма расчета полей загрязняющих веществ в сложных гидрологических системах на примере НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус».

Методика исследования. Для исследования был выбран основной водовыпуск НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус», через который сбрасываются очищенные сточные воды, содержащие остаточные загрязняющие вещества от основного производства и сточных вод г. Светогорска. Водовыпуск представляет собой затопленную железобетонную трубу, выведенную в р. Вуокса с юго-западной границы территории предприятия. В 300 м выше выпуска ширина русла около 300 м, поверхностная скорость у левого берега достигает 0,85 м/с, постепенно уменьшаясь от середины к правому берегу. У правого берега образуется застойная зона, где при высоких уровнях воды имеет место обратное течение. Глубины здесь изменяются от 7 до 8 м у левого берега и до 2 м у правого берега. Ниже по течению из-за дамбы у левого берега основное течение смещается к середине реки. Поверхностные скорости незначительные. В месте выпуска сточных вод русло сужается до 200 м. Глубина изменяется от 3,5 м у правого берега до 6,5 м у левого. Поверхностные скорости меняются от 0,08 м/с у берегов до 0,67 м/с на фарватере.

На основании вышеизложенного показано, что р. Вуокса в створе сброса сточных вод крайне неоднородна. Вдоль левого берега р. Вуокса характеризуется высокими скоростями течения (0,85 м/с), которые определяют основной вклад конвективной составляющей массопереноса загрязняющих веществ вдоль русла реки. У правого берега р. Вуокса (Лесогорское водохранилище) по своим гидрологическим характеристикам

является водоемом с малыми глубинами и незначительными скоростями течений.

Сложность фактических морфометрических и гидрологических параметров приводит к некорректности использования основных формул, приведенных в п. 24 Приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 1118 от 29.12.2020 г. «Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей». В этом случае методикой НДС предписано использовать следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{\Delta_x C}{\Delta x} = \frac{D_{cp}}{v_{cp}} \cdot \left(\frac{\Delta_y^2 C}{\Delta y^2} + \frac{\Delta_z^2 C}{\Delta z^2} \right), \quad (1)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества в воде, $г/м^3$; x, y, z – координаты по соответствующим осям; D_{cp} – коэффициент турбулентной диффузии, $м^2/с$; v_{cp} – компоненты скорости течения по соответствующим осям, $м/с$.

Данное уравнение для трехмерной и двумерной моделей решается методом сеток по схеме, разработанной А.В. Караушевым. В расчетах принимаются граничные условия следующего вида:

$$\left(\frac{dC}{dz} \right)_0 = \left(\frac{dC}{dy} \right)_0 = 0. \quad (2)$$

В двумерной постановке схема аппроксимации выглядит следующим образом:

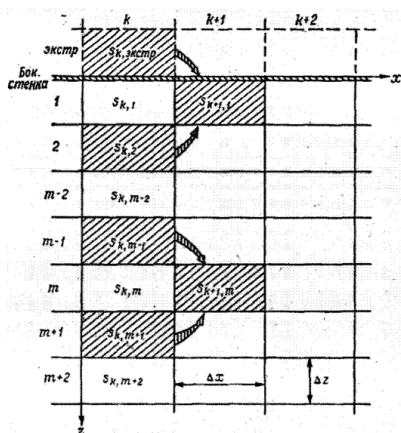


Рис. 1. Сетка к расчету турбулентной диффузии.
Плоская задача

Fig. 1. Grid for the calculation of turbulent diffusion.
A flat problem

Результаты проведенных расчетов по данной схеме представлены на рис. 4.

Недостатком представленного алгоритма расчета НДС для НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус» является игнорирование образующихся вдоль берегов застойных зон и ветровых течений, преобладающих в этих местах.

Поэтому нами были использованы двумерные и трехмерные модели ветровых течений и модели конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ, позволяющие разрабатывать комбинированные модели переноса загрязняющих веществ. Для обоснования применения математического моделирования в рамках нормирования сбросов использовалась современная методика нормирования сбросов сточных вод.

Для исследования ветровых течений применена линейная гидрологическая модель ветровых течений в однородном море [Чикин, 2009].

$$\begin{aligned}
 -fv &= g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_1 \Delta u + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}; & -fu &= g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_1 \Delta u + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}; \\
 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0,
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где u, v, w – проекции скорости течений на ось X , направленную на восток, ось Y , направленную на север, и ось Z , направленную вертикально вниз; ζ – возмущение свободной поверхности, м; g – ускорение силы тяжести, м/с²; f – параметр Кориолиса; A_1 и A_z – коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентной вязкости, м²/с.

Для решения данного уравнения применен метод, предложенный А.И. Фельзенбаумом [Фельзенбаум, 1960].

По границам берега были установлены граничные условия для твердой поверхности, т. е. скорость на границе с суши равна 0. Для левого берега применены граничные условия на жидкой границе, т. е.

$$V = Q/\Delta x,$$

где Q – расход воды в реке, заходящей в ячейку [Gaimei, 2019; Shaymaa, 2020].

Для расчета процесса распространения загрязняющих веществ в р. Вуокса применимо следующее дифференциальное уравнение турбулентной диффузии [Методические..., 1987; Ying, 2014].

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial C}{\partial t} &= D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) - K \cdot C; \\
 \frac{\partial C}{\partial t} &= v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \frac{\partial C}{\partial z},
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

где t – временной параметр, с; v_x, v_y, v_z – компоненты скорости течения по соответствующим осям, м/с; K – коэффициент неконсервативности вещества; D – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с.

Для условий водоемов одним из важнейших параметров является направление ветра, непосредственно влияющее на направление течений. Так как направление ветра является переменной величиной, была выбрана нестационарная модель. Шаг по времени рассчитан по представленной ниже формуле и составил 100 с:

$$\Delta t \leq \frac{\gamma H \Delta x}{\sum_{r=1}^m (v_r H_r)}, \quad (5)$$

где γ – часть водных масс, $\gamma = 0,5$; m – число граней, через которые осуществляется вынос водных масс; r – порядковый номер грани.

Результаты исследования. Для реализации двумерного дифференциального уравнения, которое возможно применять для описания процессов, была построена двумерная сеточная область (рис. 2):

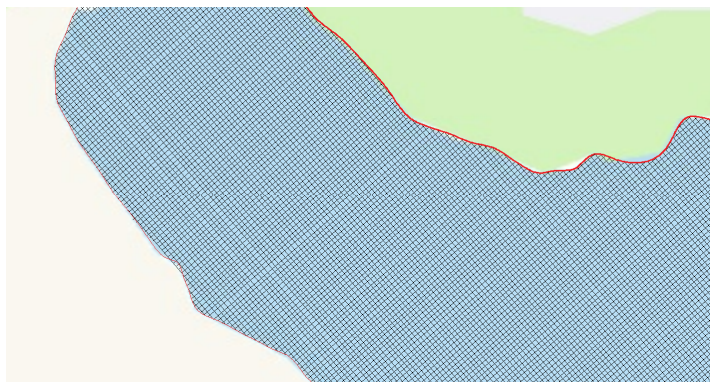


Рис. 2. Сеточная область

Fig. 2. Grid area

Расчеты нормативов допустимых сбросов по описанным дифференциальным моделям применимы практически для любых загрязняющих веществ. Нами проведены расчеты на примере БПК_п, являющегося маркерным веществом для ЦБК и характеризующего содержание в сбросах легкоокисляемых органических веществ. В качестве исходных дан-

ных для расчетов приняты результаты ежемесячного производственного экологического контроля комбината, а также открытая информация о гидрологических и морфометрических характеристиках р. Вуокса в месте сброса.

Ветровые течения рассчитаны на основе решения системы дифференциальных уравнений (3), конвективно-диффузионный перенос загрязняющих веществ – на основе решения дифференциальных уравнений (4). Дифференциальные уравнения решены методом сеток [Методические..., 1987; Фельзенбаум, 1960]. Для решения была построена сеточная область с шагом 5 м, размер сеточной области составил 4132 ячейки. Рассматривался фрагмент реки от места сброса в реку до контрольного створа.

Расчеты были проведены для наихудших условий, характеризующихся ветрами в сторону места застоя р. Вуокса. Результирующее поле концентраций приведено на рис. 3.

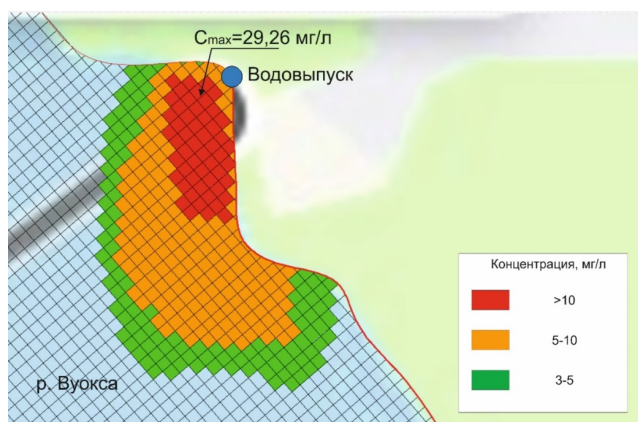


Рис. 3. Поле распространения БПК_п в акватории р. Вуокса

Fig. 3. The field of BOD full propagation in the water area of the Vuoksa River

По результатам расчета в контрольном створе ПДК не превышено. Максимальная концентрация загрязняющего вещества находится в 5 м от места сброса и равна 29,26 мг/л. Суммарно пятно загрязнения распространяется на 140 м. При стационарном сбросе с момента начала сброса до выхода на стационарное состояние проходит 21 ч.



Рис. 4. Результат моделирования переноса БПК_п в акватории р. Вуокса на основе решения плоской задачи

Fig. 4. The result of modeling the transfer of BOD full in the water area of the Vuoksa river based on the solution of the plane problem

При расчете поля концентраций по официальной методике расчета нормативов допустимых сбросов протяжённость пятна загрязнения составила 15 м, а по предложенному алгоритму расчета, учитывающему рельеф береговой зоны и направления ветровых течений, – 140 м.

Выводы. Как показало проведенное исследование, действующая методика расчетов нормативов допустимых сбросов во многих случаях не учитывает индивидуальные гидрологические и морфометрические особенности водных объектов, поэтому для водных объектов с неоднородными гидрологическими характеристиками считаем целесообразным разрабатывать индивидуальные математические модели конвективно-диффузионного переноса и превращения загрязняющих веществ.

На примере сброса сточных вод НΠΑО «Сильвамо Корпорейшн Рус» в р. Вуокса показано, что результаты расчета НДС по действующей методике и на основе разработанной комбинированной модели конвективно-диффузионного переноса загрязняющих веществ дают неоднородные результаты. Согласно разработанной модели допустимая концентрация БПК_п в сточных водах в 1,7 раза выше величины, рассчитанной по действующей методике расчета НДС.

Применение индивидуального подхода к расчету НДС позволит обеспечить экологические стандарты качества воды в водных объектах и определить допустимые уровни нагрузки от ЦБК.

Библиографический список

Епифанов А.В., Епифанова М.А. Алгоритм управления водоохранной деятельностью АО «Сеgezский ЦБК» на основе математического моделирования // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 1(7). С. 106–109.

Жильникова Н.А., Шишкин А.И., Епифанов А.В., Епифанова М.А. Алгоритм управления перераспределением техногенной нагрузки для территориальных природно-технических комплексов на основе геоинформационных систем // Информационно-управляющие системы. 2017. № 1 (86). С.93–101.

ИТС НДТ-1 Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. М.: Бюро НДТ, 2015. С. 479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200128661>

Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы и океана / Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б., Лыкосов В.Н., Галин В.Я. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 320 с.

Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Караушев А.В., Скакальский Б.Г., Шварцман А.Я. и др. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 267 с.

Рыбников О.В., Бондаренко Н.П., Мандре Ю.Г, Аким Э.Л. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного целлюлозно-бумажного комбината ЗАО IP («ОАО Светогорск») // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. № 5. С. 62–68.

Смирнов А.М., Смирнов М.Н., Мошкин С.С., Коваленко М.В., Аким Э.Л. Водопользование – реализация инновационных идей // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2008. № 8. С. 66–72.

Смирнов М.Н., Локшин Ю.Х., Смирнов А.М., Аким Э.Л., Современная концепция водопользования на предприятиях ЦБП // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. № 6. С. 66–74.

Троянская А.Ф. Научно-технические и правовые аспекты предотвращения негативного воздействия производства беленой целлюлозы на окружающую среду // Региональная экология. 2018. С. 111–124.

Фельзенбаум А.И. Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 128 с.

Чикин А.Л. Математическая модель ветровых течений в Керченском проливе // Вестник Южного научного центра РАН. 2009. Т. 5, № 2. С. 58–63.

Gaimel G., Gang Ch. Mathematical modelling and application for simulation of water pollution accidents // Process Safety and Environmental Protection. 2019. Vol. 127. P. 189–196.

Lai Y.C. Tu, Y.T., Yang C.P., Surampalli R.Y., Kao C.M. Development of a water quality modeling system for river pollution index and suspended solid loading evaluation // *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 478. P. 89–101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.050>

Shaymaa M., Arifah B., Zainal A.A., Darwish M. Solute transport modelling to manage groundwater pollution from surface water resources // *Journal of Contaminant Hydrology*. 2020. Vol. 233. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103662>

Ying Z., Ashish Sh., Bellie S., Lucy M., Peng W., Jiping J. A Bayesian method for multi-pollution source water quality model and seasonal water quality management in river segments // *Environmental Modelling & Software*. 2014. Vol. 57. P. 216–226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.03.005>

References

Chikin A.L. Matematicheskaya model' vetrovyh techenij v Kerchenskom prolive. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo centra RAN*, 2009, vol. 5, no. 2, pp. 58–63. (In Russ.)

Epifanov A.V., Epifanova M.A. Algoritm upravleniya vodoohrannoj deyatel'nost'yu AO «Segezhsnij CBK» na osnove matematicheskogo modelirovaniya. *Voprosy radioelektroniki*, 2019, no. 1(7), pp. 106–109. (In Russ.)

Fel'zenbaum A.I. Teoreticheskie osnovy i metody rascheta ustanovivshihся morskikh techenij. M.: Izd-vo AN SSSR, 1960. 128 p. (In Russ.)

Gaimel G., Gang Ch. Mathematical modelling and application for simulation of water pollution accidents. *Process Safety and Environmental Protection*, 2019, vol. 127, pp. 189–196.

ITS NDT-1 Proizvodstvo cellyulozy, drevesnoj massy, bumagi, kartona. Moskva: Byuro NDT. 2015. P. 479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200128661> (In Russ.)

Lai Y.C. Tu, Y.T., Yang C.P., Surampalli R.Y., Kao C.M. Development of a water quality modeling system for river pollution index and suspended solid loading evaluation. *Journal of Hydrology*, 2013, vol. 478, pp. 89–101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.050>.

Matematicheskoe modelirovanie obshchej cirkulyacii atmosfery i okeana / Marchuk G.I., Dymnikov V.P., Zalesnyj V.B., Lykosov V.N., Galin V.Ya. L.: Gidrometeoizdat, 1984. 320 p. (In Russ.)

Metodicheskie osnovy ocenki i reglamentirovaniya antropogennogo vliyanija na kachestvo poverhnostnyh vod / Karaushev A.V., Skakal'skij B.G., Shvarcman A.Ya. i dr. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 267 p. (In Russ.)

Rybnikov O.V., Bondarenko N.P., Mandre Yu.G., Akim E.L. Poetapnaya ekologo-tekhnologicheskaya rekonstrukciya integrirovannogo cellyulozno-bumazhnogo kombinata ZAO IP («OAO Svetogorsk»). *Cellyuloza. Bumaga. Karton*, 2013, no. 5, pp. 62–68. (In Russ.)

Shaymaa M., Arifah B., Zainal A.A., Darwish M. Solute transport modelling to manage groundwater pollution from surface water resources. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2020, vol. 233. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103662>

Smirnov A.M., Smirnov M.N., Moshkin S.S., Kovalenko M.V., Akim E.L. Vodopol'zovanie – realizaciya innovacionnyh idej. *Cellyuloza. Bumaga. Karton*, 2008, no. 8, pp. 66–72. (In Russ.)

Smirnov M.N., Lokshin Yu.H., Smirnov A.M., Akim E.L., Sovremennaya koncepciya vodopol'zovaniya na predpriyatiyah CBP. *Cellyuloza. Bumaga. Karton*, 2006, no. 6, pp. 66–74. (In Russ.)

Troyanskaya A.F. Nauchno-tehnicheskie i pravovye aspekty predotvrashcheniya negativnogo vozdejstviya proizvodstva belenoj cellyulozy na okruzhayushchuyu sredu. *Regional'naya ekologiya*, 2018, pp. 111–124. (In Russ.)

Ying Z., Ashish Sh., Bellie S., Lucy M., Peng W., Jiping J. A Bayesian method for multi-pollution source water quality model and seasonal water quality management in river segments. *Environmental Modelling & Software*, 2014, vol. 57, pp. 216–226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.03.005>

Zhil'nikova N.A., Shishkin A.I., Epifanov A.V., Epifanova M.A. Algoritm upravleniya pereraspredeleniem tekhnogennoj nagruzki dlya territorial'nyh prirodno-tehnicheskikh kompleksov na osnove geoinformacionnyh system. *Informacionno-upravlyayushchie sistemy*, 2017, no. 1 (86), pp. 93–101. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 29.09.2021

Епифанова М.А., Епифанов А.В., Аким Э.Л. Расчет величины негативного воздействия на водный объект от предприятий целлюлозно-бумажной промышленности на основе математического моделирования переноса загрязняющих веществ // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 254–266. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.254-266

Современная система нормирования нагрузки на водные объекты состоит из трех основных элементов: расчета технологических нормативов по маркерным для отрасли веществам; расчета нормативов допустимых сбросов для веществ 1 и 2 классов опасности; сравнения рассчитанных нормативов допустимых сбросов с установленными на основе решения государственной экологической экспертизы нормативами допустимых воздействий для водохозяйственных участков. Приведенные в методике расчета нормативов допустимых сбросов формулы имеют ограниченный диапазон применения. Предложен алгоритм расчета конвективно-диффузионного переноса загрязняющих веществ НΠΑО «Сильвамо Корпорейшн Рус» в р. Вуокса в районе Лесогорского водохранилища. Для исследования выбран основной водовыпуск предприятия, через который сбрасываются очищенные сточные воды, содержащие остаточные загрязняющие вещества от основного производства и сточных вод г. Светогорска. В створе сброса сточных вод р. Вуокса крайне неоднородна. Поэтому расчет переноса загрязняющих

веществ по действующей методике расчета нормативов допустимых сбросов игнорирует образующиеся вдольбереговые застойные зоны и ветровые течения в этих зонах. Для расчетов предложена комбинированная модель переноса загрязняющих веществ, учитывающая двумерные и трехмерные модели ветровых течений и модели конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ. При расчете поля концентраций по официальной методике расчета нормативов допустимых сбросов протяженность пятна загрязнения составила 15 м, а по предложенному алгоритму расчета, учитывающему рельеф береговой зоны и направления ветровых течений, – 140 м. На примере сброса сточных вод НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус» в р. Вуокса показано, что результаты расчета НДС по действующей методике и на основе разработанной комбинированной модели конвективно-диффузионного переноса загрязняющих веществ дают неоднородные результаты. Согласно разработанной модели допустимая концентрация БПК_п в сточных водах в 1,7 раза выше величины рассчитанной по действующей методике расчета НДС. Применение индивидуального подхода к расчету НДС позволит обеспечить экологические стандарты качества воды в водных объектах и определить допустимые уровни нагрузки от ЦБК.

Ключевые слова: моделирование, загрязнение водных объектов, течения, перенос загрязняющих веществ, нормативы сброса.

Epifanova M.A., Epifanov A.V., Akim E.L. Calculation of the negative impact on water bodies from the pulp and paper mill based on mathematical modelling of pollutant flow. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2022, iss. 238, pp. 254–266 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.254-266

The modern system for standardizing the load on water bodies consists of three main elements: 1 calculation of technological standards for marker substances for the industry; 2 calculation of permissible discharge standards for substances of 1 and 2 hazard classes; 3 comparisons of the calculated standards of permissible discharges with the standards of permissible impacts for water management areas established on the basis of the decision of the state ecological expertise. The formulas given in the methodology for calculating the permissible discharge standards have a limited range of application. The paper proposes an algorithm for calculating the convective-diffusion transfer of pollutants from the wastewater discharges of Silvamoo Corporation Rus into the Vuoksa river in the Lesogorskoye reservoir area. For the study, the main outlet of the enterprise was chosen, through which purified wastewater containing residual pollutants from the main production and wastewater of the city of Svetogorsk is discharged. The Vuoksa River is extremely heterogeneous in the area of wastewater discharge through the outlet. Therefore, the calculation of the transfer of pollutants according to the current method for calculating the permissible discharge standards ignores the formed alongshore

stagnant zones and wind currents prevailing in these zones. For the calculations, a combined model of the transport of pollutants was proposed, taking into account two-dimensional and three-dimensional models of wind currents and models of convective-diffusion transport and transformation of substances. When calculating the concentration field according to the official method for calculating the permissible discharge standards, the length of the pollution spot was 15 meters, and according to the proposed calculation algorithm, taking into account the relief of the coastal zone and the direction of wind currents, 140 meters. For the release of Silvamo Corporation Rus with fine water into the Vuoksa River, the results of calculating the standards for permissible discharges according to the current methodology and based on the developed combined model of convective-diffusion transport of pollutants are presented, which gives heterogeneous results. According to the developed allowable model, the concentration of BOD in wastewater is 1.7 times higher than the required value according to the current methodology for calculating standards, discharges are allowed. The application of an individual approach to the calculation of standards for permissible discharges makes it possible to determine environmental standards for water quality in water bodies and determine the maximum levels of load from a pulp and paper mill.

Key words: modeling, pollution of water bodies, currents, transport of pollutants, discharge standards

ЕПИФАНОВА Марина Анатольевна – аспирант Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; ORCID 0000-0002-5709-527X, ResearcherID, AAX-5432-2021.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: epif.marina@gmail.com

ЕПИФАНОВА Marina A. – PhD student Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; ORCID 0000-0002-5709-527X, ResearcherID, AAX-5432-2021.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. St. Petersburg. Russia. E-mail: epif.marina@gmail.com

ЕПИФАНОВ Андрей Валерьевич – доцент Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. кандидат технических наук. ORCID 0000-0002-3429-9835 ResearcherID, AAX-5435-2021.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: epifandr@yandex.ru

EPIFANOV Andrey V. – PhD (Technical), assistant professor Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID 0000-0002-3429-9835 ResearcherID, AAX-5435-2021.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. St. Petersburg. Russia. E-mail: epifandr@yandex.ru

АКИМ Эдуард Львович – профессор Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доктор технических наук. ORCID 0000-0002-0098-6565, ResearcherID B-4128-2018, Author ID Scopus 6701739751.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: akim-ed@mail.ru

АКИМ Eduard L. – DSc (Technical), Professor Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID 0000-0002-0098-6565, ResearcherID B-4128-2018, Author ID Scopus 6701739751.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. St. Petersburg. Russia. E-mail: akim-ed@mail.ru