

**М.А. Мозгушин, А.В. Епифанов**

## **НОРМИРОВАНИЕ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД ЦБК**

*Введение.* Современная система нормирования сбросов сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов (далее ЦБК) предполагает расчет нормативов допустимых сбросов (далее НДС) для веществ 1 и 2 классов опасности, а также технологических нормативов сбросов. Величины НДС во многом зависят от рассчитанной величины кратности разбавления.

Кратность разбавления сточных вод рассчитывается в соответствии с Методикой разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 1118 от 29.12.2020 г. «Об утверждении методики разработки НДС загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей» (далее Методика).

Проведенный в работе анализ показал, что в Методике для условий сброса сточных вод через рассеивающие водовыпуски, применяемые на ЦБК, отсутствуют методы расчета кратности разбавления для многих гидрологических и метеорологических режимов.

Кратность разбавления сточных вод показывает, во сколько раз снижается концентрация загрязняющего вещества на участке водного объекта от места выпуска сточных вод до контрольного створа с учетом фоновой концентрации. Величина НДС во многом определяется величиной кратности разбавления сточных вод [Епифанов и др., 2024].

В ряде приведенных методов некорректно указаны границы применимости, что приводит к экологически необоснованным величинам НДС [Мозгушин, Епифанов, 2023].

В работе предложена модернизированная схема типизации водных объектов, позволившая перейти к универсальным математическим моделям для имитации процессов распространения примесей в водной среде и определить критерии выбора данных универсальных математических моделей для нормирования сбросов ЦБК. Определены типы водных объектов, в которые сбрасывают сточные воды крупнейшие ЦБК и КПК (картонно-полиграфические комбинаты) РФ.

*Анализ действующей Методики.* Методика содержит алгоритмы расчета кратности разбавления сточных вод для водотоков, водоемов и морей. Для водотоков Методика содержит 5 методов расчета кратности разбавления и 2 метода расчета кратности разбавления по водоемам.

Каждый из перечисленных методов, указанных в Методике, имеет свои границы применимости.

Граничные условия применимости методов для расчета кратности разбавления, указанные в действующей Методике, приведены ниже (табл. 1) [Караушев, 1981].

Таблица 1

**Граничные условия применимости методов, указанные  
в действующей Методике**  
**Boundary conditions for the applicability of methods specified  
in the current Methodology**

Методы, изложенные в Методике		
Водотоки		
№	Метод	Граничные условия, указанные в Методике
1	Фролова-Родзиллера	$0,0025 \leq \frac{q}{Q} \leq 0,1,$ где $q$ – расход сточных вод на выходе, $\text{м}^3/\text{с}$ ; $Q$ – расчетный расход водотока, $\text{м}^3/\text{с}$
2	Лапшева	Для напорных сосредоточенных и рассеивающих выпусков $v_{\text{ст}} \geq 4 \cdot v_p$ / при абсолютных скоростях истечения струи из выпуска больше 2 м/с Для единичного напорного выпуска $\frac{v_0}{v_p} = \frac{v_p + 0.15}{v_p},$ где $v_{\text{ст}}$ – скорость истечения сточных вод, м/с; $v_p$ – скорость потока реки, м/с; $v_0$ – скорость на оси струи, м/с
3	ТПИ	Метод используется для небольших водотоков с коэффициентом извилистости меньше 1,5. Коэффициент интенсивности турбулентного перемешивания должен быть в пределах от 10 до 70
4	Караушева	–
5	ГИ	Зависимость $\frac{\Omega_{\text{заг}}}{\Omega_{\text{общ}}} = f(\eta_{\text{заг}})$ в пределах от $10^{-6}$ до 1, где $\Omega_{\text{заг}}$ – площадь зоны загрязнения между двумя фиксированным створами; $\Omega_{\text{общ}}$ – общая площадь водной поверхности; $\eta_{\text{заг}}$ – показатель относительной площади зоны загрязнения
Водоёмы		
1	Руффеля	Зоны смешения не превышает 10 м, расстояние от выпуска до контрольного створа вдоль берега <20 км, расстояние от выхода сточных вод до берега <0,5 км. Глубина водоема – 3–10 м
2	Лапшева	Метод используется для сосредоточенного выпуска сточных вод, в случае если не выполняются условия применимости предыдущего метода

Методы, приведённые в табл. 1, являются упрощёнными и разрабатывались до эпохи развитых вычислительных технологий, позволяя вручную рассчитывать степень разбавления сточных вод.

Величина кратности разбавления сточных вод в водотоках и водоемах зависит от следующих параметров: гидрологических особенностей водотока (расход воды, скорость течения, глубина, ширина и т. д.), параметров выпуска сточных вод (местоположение водовыпуска, тип выпуска) и нормативов качества воды [Численное..., 2004].

Необходимые исходные данные для расчета кратности разбавления в водотоках и водоемах представлены ниже (табл. 2–3).

Таблица 2

**Необходимые исходные данные для расчета кратности разбавления в водотоках**

**Necessary initial data for calculating the dilution factor in watercourses**

Исходные данные	Метод расчёта			
	1.Фролова-Родзиллера и Лапшева	2.ТПИ	3.Караушева	4.ГГИ
Расход сточных вод	+	+	+	+
Тип выпуска	–	+	+	–
Количество оголовков выпуска	–	+	–	–
Скорость истечения сточных вод	+	–	–	–
Средний диаметр выпускного отверстия	+	–	–	–
Расстояние от места выпуска до контрольного створа водопользования	+	+	+	–
Средняя глубина на рассматриваемом участке	+	+	+	–
Расчетная скорость течения	+	+	+	–
Расчетный расход воды	+	+	+	+
Средняя ширина участка реки	+	+	+	+
Коэффициент извилистости участка реки	+	–	–	–
Концентрация ЗВ	+	+	+	–
Фоновая концентрация	+	+	+	–
Коэффициент шероховатости ложа водного объекта	+	–	–	–
Длина зоны загрязнения	–	–	–	+
Общая площадь водной поверхности	–	–	–	+
Площадь зоны загрязнения между двумя фиксированными створами	–	–	–	+

Таблица 3

**Необходимые исходные данные для расчета кратности разбавления  
в водоемах**

**Necessary initial data for calculating the dilution factor in water bodies**

Исходные данные	1.Рурффеля	2.Лапшева
Расход сточных вод	+	+
Расстояние от места выпуска до берега	+	+
Скорость ветра над водой	+	–
Расстояние от выпускного отверстия до поверхности водного объекта	+	+
Расстояние от места выпуска до контрольного створа водопользования	+	+
Средняя глубина на рассматриваемом участке	+	+
Коэффициент шероховатости ложа водного объекта	–	+
Длина зоны загрязнения	–	+
Параметр сопряжения участка двухмерной диффузии с участком трехмерной диффузии	–	+
Параметр, учитывающий влияние ближайшего берега на кратность основного разбавления	–	+
Характерная минимальная скорость течения в водоеме в месте сброса	–	+
Длина начального участка разбавления, рассчитываемая	–	+
Концентрация ЗВ	+	+
Фоновая концентрация	+	+

*Результаты расчета кратности разбавления.* Для оценки корректности расчетов кратности разбавления сточных вод согласно действующей Методике были выполнены контрольные вычисления по каждому представленному методу.

Выбор диапазонов исходных данных осуществлялся исходя из установленных ограничений указанных методик (табл. 1), а также на основании реальных технических показателей процесса сброса загрязненных вод предприятием ЦБК.

Ниже приведены диапазоны значений исходных данных, использованных в расчетах, а также выборка результатов расчета кратности разбавления в водотоках и водоемах (табл. 4–5).

Таблица 4

**Диапазон исходных данных для расчета кратности разбавления в водотоках**  
**Range of initial data for calculating the dilution factor in watercourses**

Исходные данные	Диапазон
Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /с	0,1–0,5
Скорость истечения сточных вод, м/с	0,05–10
Средний диаметр выпускного отверстия, м	0,1
Расстояние от места выпуска до контрольного створа водопользования, м	150,0–500,0
Средняя глубина на рассматриваемом участке, м	0,1–3
Расчетная скорость течения, м/с	0,1–0,5
Расчетный расход воды, м <sup>3</sup> /с	4,0–20,0
Средняя ширина участка реки, м	1,0–250,0
Коэффициент извилистости участка реки	1,0–2,0
Коэффициент шероховатости ложа водного объекта	0,025–0,06
Количество оголовков выпуска	11

Таблица 5

**Диапазон исходных данных для расчета кратности разбавления в водоемах**  
**Range of initial data for calculating the dilution factor in water bodies**

Исходные данные	Диапазон
Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /с	0,01–0,05, шаг 0,01
Расстояние от места выпуска до берега, м	10–30, шаг 10,0
Скорость ветра над водой, м	1–6, шаг 1,0
Расстояние от места выпуска до контрольного створа водопользования, м	1000,0–4000,0, шаг 1000,0
Средняя глубина на рассматриваемом участке, м	2,0–10,0, шаг 2,0

По вышеуказанному диапазону исходных данных по каждому методу, изложенному в Методике, проведено по три тестовых расчета кратности разбавления в водотоках и водоемах.

Выборка результатов расчета кратности разбавления для водотоков и водоемов представлена ниже (табл. 6).

На основе проведенных расчетов выявлено, что основными параметрами, влияющими на величину кратности разбавления сточных вод, являются: расчетный расход воды, ширина и скорость течения водного объекта.

Таблица 6

**Выборка результатов расчета кратности разбавления в водотоках и водоемах**  
**A selection of results from calculating the dilution factor in watercourses and reservoirs**

Метод	Кратность разбавления	Выборка результатов расчета		
Водотоки				
1.Фролова-Родзиллера, летний период	Кратность основного разбавления	27,2		
		12,2		
		80,7		
1.Фролова-Родзиллера, зимний период		19,8		
		52,7		
		9,6		
2.Лапшева	Кратность основного разбавления	8,0		
		13,2		
		20,8		
Произведение кратности начального разбавления на кратность основного разбавления	Кратность общего разбавления, летний и зимний периоды	217,6		
		161,04		
		1678,56		
		158,4		
		695,64		
3.ТПИ	Кратность общего разбавления	199,68		
		15,8		
		10,3		
4.Карушева	Кратность общего разбавления	12,4		
		11,9		
		2,7		
		33,7		
5. ГГИ	Кратность основного разбавления	9,75		
		20,1		
		7,7		
		60,2		
		Водоемы		
		1.Руффеля	Кратность основного разбавления	26,9
39,3				
14,8				

На следующем этапе было проведено сопоставление полученных результатов расчетов кратности разбавления по методам, представленным в Методике.

Из табл. 6 видно, что результаты расчета кратности разбавления значительно отличаются друг от друга, что требует уточнения выбора расчетных методов.

*Математический аппарат. Описание процессов переноса и трансформации загрязняющих веществ в воде.* Проблема загрязнения водных объектов является классической и неоднократно исследовалась различными авторами [Павловский, 2005; Кузина, Кошев, 2014; Шабалин и др., 2021; Епифанова и др., 2022; Карпенко, Ширяева, 2022]. В работах было уделено значительное внимание изучению и прогнозированию изменений качества воды в водных объектах от сброса сточных вод.

Согласно Методике расчет НДС проводится для неблагоприятных гидрологических и гидрохимических условий для максимальных расходов сточных вод ЦБК. Таким образом, для расчета НДС для ЦБК применимы стационарные математические модели. Водные объекты РФ отличаются многообразием гидрологических и гидрохимических режимов, а также уникальностью морфометрических особенностей, поэтому разработка индивидуальных моделей переноса загрязняющих веществ является уникальной задачей. Однако в настоящее время широко применимы методы типизации водных объектов, в которых за счет допустимого упрощения индивидуальных особенностей водных объектов можно перейти к типовым математическим моделям [Караушев, 1981].

Модернизированная схема типизации водных объектов приведена на рис. 1–2.

На основе предложенной схемы типизации водных объектов были определены типы водных объектов, в которые сбрасывают сточные воды крупнейшие ЦБК и картонно-полиграфические комбинаты РФ (далее КПК) (табл. 7).

Каждому случаю сброса сточных вод от ЦБК соответствуют одномерные, двумерные, трехмерные математические модели.

Трехмерные математические модели применяют при переносе вещества в трехмерном пространстве. Применение двумерных математических моделей может быть обусловлено соотношением геометрических размеров моделируемой среды. Например, для неглубокого водоема, в котором глубина значительно меньше длины и ширины, можно предположить, что выравнивание концентраций загрязняющих веществ по глубине происходит моментально.

Следовательно, на любой вертикали концентрации загрязняющих веществ будут одинаковыми, а изменение концентраций по глубине можно приравнять к нулю. Аналогично одномерные модели могут применяться, когда один из геометрических параметров значительно превосходит два других.

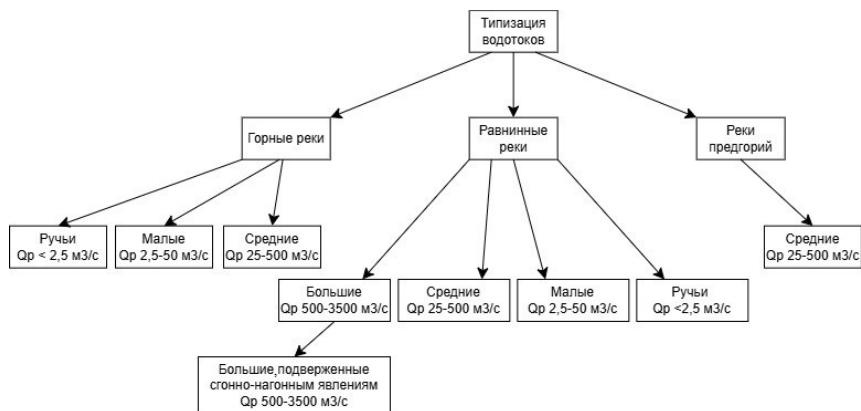


Рис. 1. Типизация водотоков  
Fig. 1. Typification of watercourses

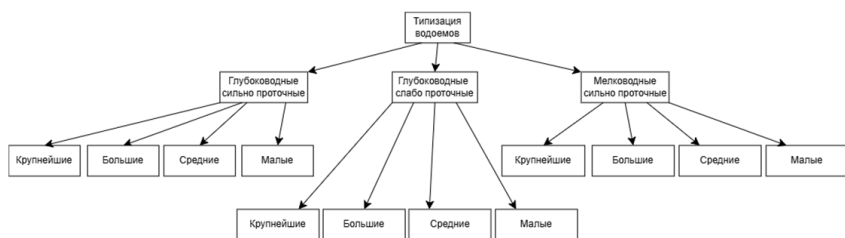


Рис. 2. Типизация водоемов  
Fig. 2. Typification of reservoirs

При сбросе сточных вод в крупные водотоки целесообразно применять трехмерные математические модели. В общем случае процесс формирования качества воды описывается системой гидродинамики и системой турбулентной дисперсии для неконсервативных веществ [Дружинин, 1989].

Использование трехмерных математических моделей целесообразно при наличии детальных данных о морфометрических параметрах дна водных объектов и режимах сбросов сточных вод [Клеванный, Смирнова, 2009].

Таблица 7

**Типы водных объектов, в которые сбрасывают сточные воды крупнейшие ЦБК и КПК РФ**

**Types of water bodies into which wastewater is discharged by the largest pulp and paper mills and pulp and paper industry enterprises of the RF**

Тип водного объекта	ЦБК России	Водный объект
Большие равнинные реки	ООО «ЦБК «Кама»	река Кама
	АО «Соликамскбумпром»	
	АО «Марийский ЦБК»	река Волга
	АО «Сыктывкарский ЛПК»	река Вычегда
	ОАО «Селенгинский ЦБК»	река Селенга
	АО «Волга»	река Волга
	НПАО «Светогорский ЦБК»	река Вуокса
Большие равнинные реки, подверженные сгонно-нагонным явлениям	АО «Архангельский ЦБК»	река Северная Двина
Средние равнинные реки	ООО «Сухонский КБК»	река Сухона
	ПАО «Сокольский ЦБК»	
	АО «Пролетарий»	река Ипуть
	ООО «Кировпейпер»	река Медянка
Малые равнинные реки	АО «ТБФ»	река Шаня
	АО «БФ «Коммунар»	река Ижора
Большие глубоководные сильно проточные водоемы	АО «Сясьский ЦБК»	Ладожское озеро
	ООО «РК-Гранд»	
	АО «Кондопожский ЦБК»	Онежское озеро
Средние глубоководные сильно проточные водоемы	АО «Сегежский ЦБК»	Выгозеро озеро

При сбросе сточных вод в неглубокие большие реки, а также средние равнинные реки во многих случаях достаточно двумерных математических моделей, которые позволят получить результат с инженерной точностью и потребуют умеренной исходной информации [Дружинин, Шишкин, 1989].

При значительных скоростях течения может быть использована следующая модель:

$$V_x \left( \frac{dC}{dx} \right) = Dy \left( \frac{d^2C}{dy^2} \right) - KC, \quad (1)$$

где  $V_x$  – средняя скорость течения по оси;  $C$  – мгновенное значение концентрации;  $x, y$  – координаты по соответствующим осям;  $Dx, Dy$  – коэффициент диффузии;  $K$  – коэффициент неконсервативности.

При незначительных скоростях течения для учета продольной диффузии применима следующая модель:

$$V_x \left( \frac{dC}{dx} \right) = Dx \left( \frac{d^2C}{dx^2} \right) + Dy \left( \frac{d^2C}{dy^2} \right) - KC, \quad (2)$$

где  $V_x \left( \frac{dC}{dx} \right)$  – характеристика конвективного переноса;  $Dy \left( \frac{d^2C}{dy^2} \right)$ ,  $Dx \left( \frac{d^2C}{dx^2} \right)$  – характеристика диффузионного переноса.

Стоит учитывать, что модели 1 и 2 применимы, когда направление течения идет вдоль берега.

Одномерная диффузия может применяться для малых равнинных рек:

$$\frac{v_0}{D} \frac{dC}{dx} = \frac{d^2C}{dx^2}. \quad (3)$$

Согласно табл. 7 в малые равнинные реки сбрасывают сточные воды комбинаты, работающие на вторичном сырье.

Решения для вышеуказанных методов моделирования приводятся в [Караушев, 1981; Дружинин, Шишкин, 1989; Кузина, Кошев, 2014; Зарипов и др., 2018].

Наибольшую сложность представляют равнинные реки, подверженные сгонно-нагонным явлениям. Сгонно-нагонные явления проявляются в изменении уровня воды у берегов водного объекта, которое вызвано действием ветра. Повышение уровня воды называется нагон, понижение – сгон. В этом случае применение стационарных условий становится неприемлемым, т.к. пятно загрязнений с течением времени мигрирует относительно места выпуска. Необходимо использовать нестационарные модели, на основе которых можно выявить неблагоприятные условия, характеризующиеся максимальным негативным воздействием на водные объекты.

Виды нестационарных моделей приведены в работах [Любицкий, 2000; Вишневецкая, Остроумова, 2019; Проценко и др., 2024].

Под заявленные условия подходит река Северная Двина, в которую сбрасывает свои сточные воды АО «Архангельский ЦБК». В устье Северной Двины при сильных северо-западных ветрах формируются нагоны. Причиной этого являются циклоны над Баренцевым морем или местные ветра на Белом море и в Двинском заливе.

При сбросе сточных вод в водоемы универсальной моделью становится модель «Мелкого моря», решение которой приведено в [Васильев, 2005]

*Заключение.* Методы расчета кратности разбавления сточных вод, изложенные в Методике, во многих случаях приводят к противоречивым результатам. Приведенные в Методике методы расчета кратности разбавления сточных вод являются упрощёнными, позволяющими получить результаты без использования современных вычислительных средств.

В работе предложена модернизированная схема типизации водных объектов, позволившая перейти к типовым математическим моделям переноса загрязняющих веществ для нормирования сбросов сточных вод ЦБК. Определены типы водных объектов, в которые сбрасывают сточные воды крупнейшие ЦБК и КПК РФ и критерии выбора различных математических моделей для нормирования сбросов ЦБК.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Васильев В.С. Моделирование трехмерной гидродинамики мелкого моря в гидростатическом приближении // Известия ЮФУ. Технические науки. 2005. № 9. С. 97.

Вишневецкая И.А., Остроумова Л.П. Опасные (сгонно-нагонные) явления в устьевой области реки Дон // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов: мат. междунауч. конф. Ростов-н/Д, 2019. С. 28–32.

Дружинин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 389 с.

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.

*Епифанов А.В., Мозгушин М.А., Прохорова А.А.* Парадоксы нормирования нагрузки на водные объекты // Экологические аспекты современных технологий в химико-лесном комплексе: сб. науч. мат. I и II науч.-практ. конф. Архангельск, 2024. С. 135–138.

*Зарипов Ш.Х., Марданов Р.Ф., Гильфанов А.К., Шарафутдинов В.Ф., Нико-ненко Т.В.* Математические модели переноса загрязнений в окружающей среде: учеб. пособ. Казань: Казанский ун-т, 2018. 47 с.

*Караушев А.В.* Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод: монография. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 175 с.

*Карпенко Н.П., Ширяева М.В.* Трехмерная математическая модель прогнозирования загрязнения водного объекта биогенными элементами // *Природообустройство*. 2022. № 1. С. 63–69.

*Клеванный К.А., Смирнова Е.В.* Использование программного комплекса CARDINAL // *Журнал Университета водных коммуникаций*. 2009. Вып. 1. С. 153–162.

*Кузина В.В., Кошев А.Н.* Математическое моделирование в задачах мониторинга состояния водной среды: монография. Пенза: ПГУАС, 2014. 143 с.

*Любичкий Ю.В.* Численное гидродинамическое моделирование штормовых нагонов на шельфе Курильских островов // *Математика. Компьютер. Образование: мат. 7 межд. конф.* Дубна, 2000. С. 23–30.

*Мозгушин М.А., Епифанов А.В.* Разработка алгоритма расчета кратности разбавления сточных вод // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна*. 2023. № 3. С. 70–73.

*Павловский В.А.* Моделирование процесса распространения загрязнений водной среды // *Вестник Самарского государственного технического университета*. 2005. № 34. С. 178–181.

*Проценко Е.А., Панасенко Н.Д., Проценко С.В.* Математическое моделирование катастрофических сгонно-нагонных явлений Азовского моря с использованием данных дистанционного зондирования // *Computational Mathematics and Information Technologies*. 2024. № 8. С. 33–44.

Численное моделирование процессов загрязнения поверхностных и подземных вод. Ростов н/Д: Изд-во ЧП Свидлера, 2004. 168 с.

*Шабалин В.В., Кукина Е.А., Рогожина Т.С., Дронов В.М.* Применение математического моделирования для прогнозирования переноса загрязняющих веществ в реках // *Инновации и инвестиции*. 2021. № 5. С. 176–179.

## References

*Druzhinin N.I., Shishkin A.I.* Mathematical modeling and forecasting of land surface water pollution. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 389 p. (In Russ.)

*Epifanova M.A., Epifanov A.V., Akim E.L.* Calculation of the magnitude of the negative impact on a water body from pulp and paper industry enterprises based on

mathematical modeling of pollutant transfer. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2022, iss. 238, pp. 254–266. (In Russ.)

Epifanov A.V., Mozgushin M.A., Prokhorova A.A. Paradoxes of standardizing the load on water bodies. *Ecological aspects of modern technologies in chemical and forest complex*: collection of sci. mat. of the I and II sci.-pract. conf. Arkhangelsk, 2024, pp. 135–138. (In Russ.)

Karaushev A.V. Methodological foundations for assessing the anthropogenic impact on the quality of surface waters: monograph. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981. 175 p. (In Russ.)

Karpenko N.P., Shiryayeva M.V. Three-dimensional mathematical model for predicting pollution of a water body with biogenic elements. *Nature management*, 2022, no. 1, pp. 63–69. (In Russ.)

Klevanny K.A., Smirnova E.V. Using the CARDINAL software package. *University of Water Communications Journal*, 2009, iss. 1, pp. 153–162. (In Russ.)

Kuzina V.V., Koshev A.N. Mathematical modeling in problems of monitoring the state of the aquatic environment: monograph. Penza: PSUAB, 2014. 143 p. (In Russ.)

Lyubitskiy Yu.V. Numerical hydrodynamic modeling of storm surges on the shelf of the Kuril Islands. *Mathematics. Computer. Education*: mat. of the 7<sup>th</sup> int. conf. Dubna, 2000, pp. 23–30. (In Russ.)

Mozgushin M.A., Epifanov A.V. Development of an algorithm for calculating the dilution factor of wastewater. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design*, 2023, no. 3, pp. 70–73. (In Russ.)

Numerical modeling of surface and groundwater pollution processes. Rostov-on-Don: ChP Svidler Publishing, 2004. 168 p. (In Russ.)

Pavlovskiy V.A. Modeling the process of spreading pollution of the aquatic environment. *Bulletin of the Samara State Technical University*, 2005, no. 34, pp. 178–181. (In Russ.)

Protsenko E.A., Panasenko N.D., Protsenko S.V. Mathematical modeling of catastrophic surge phenomena of the Sea of Azov using remote sensing data. *Computational Mathematics and Information Technologies*, 2024, no. 8, pp. 33–44. (In Russ.)

Shabalin V.V., Kukina E.A., Rogozhina T.S., Dronov V.M. Application of mathematical modeling to predict the transport of pollutants in rivers. *Innovations and Investments*, 2021, no. 5, pp. 176–179. (In Russ.)

Vasilyev V.S. Modeling of three-dimensional shallow sea hydrodynamics in the hydrostatic approximation. *Proceedings of Southern Federal University*, 2005, no. 9, p. 97. (In Russ.)

Vishnevskaya I.A., Ostroumova L.P. Dangerous (surge) phenomena in the mouth area of the Don River. *Patterns of formation and impact of marine, atmospheric hazardous phenomena and disasters on the coastal zone of the Russian Federation in the context of global climatic and industrial challenges*: mat. of int. sci. conf. Rostov-on-Don, 2019, pp. 28–32. (In Russ.)

*Zaripov Sh.Kh., Mardanov R.F., Gilfanov A.K., Sharafutdinov V.F., Nikonenkova T.V.* Mathematical models of pollution transfer in the environment: textbook. Kazan: Kazan University, 2018. 47 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 18.04.2025*

---

**Мозгушин М.А., Епифанов А.В.** Нормирование сбросов сточных вод ЦБК // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 473–488. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.473-488

С течением времени усиливается отрицательное влияние человеческой деятельности на окружающую среду. Среди отраслей промышленности особенно выделяется целлюлозно-бумажное производство: оно оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. Для снижения негативного воздействия существует система нормирования сбросов. Современная система нормирования сбросов сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов предполагает расчет нормативов допустимых сбросов для веществ 1 и 2 классов опасности, а также технологических нормативов сбросов. Величины НДС во многом зависят от рассчитанной величины кратности разбавления. Кратность разбавления сточных вод рассчитывается в соответствии с Методикой разработки норматива допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей (далее Методика). Проведенный в работе анализ показал, что в Методике для условий сброса сточных вод через рассеивающие водовыпуски, применяемые на целлюлозно-бумажных производствах, отсутствуют методы расчета кратности разбавления для многих гидрологических и метеорологических режимов. В ряде приведенных методов некорректно указаны границы применимости. Таким образом, принимая во внимание выявленные недостатки существующей Методики расчета кратности разбавления сточных вод, было предложено усовершенствование схемы классификации водных объектов, используемой при нормировании сбросов предприятиями целлюлозно-бумажной промышленности. Новая схема типологии водных объектов обеспечивает возможность перехода к использованию унифицированных стандартных математических моделей, эффективно имитирующих процессы переноса загрязняющих веществ в водных средах различного типа. Это позволило значительно повысить точность расчетов нормативных значений сбросов сточных вод на целлюлозно-бумажных комбинатах. Кроме того, были определены конкретные типы водных объектов, принимающих сточные воды крупных отечественных предприятий целлюлозно-бумажной промышленности и картонно-полиграфической продукции. Исследование показало, что наиболее значимыми факторами являются характер водного объекта и особенности режима сброса сточных вод. Таким образом, каждое предприятие имеет возможность выбрать подходящую

стандартизированную математическую модель, обеспечивающую адекватное описание процесса переноса загрязняющих веществ и точную оценку необходимого уровня разбавления сточных вод перед их попаданием в водные объекты. Такой подход позволит обеспечить соблюдение строгих экологических стандартов и предотвратить дальнейшее ухудшение состояния окружающей среды вследствие производственной деятельности предприятий целлюлозно-бумажной промышленности.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, методика расчета норматива допустимых сбросов, целлюлозно-бумажное производство, норматив допустимого сброса, кратность разбавления.

**Mozgushin M.A., Epifanov A.V.** Standardization of wastewater discharges from pulp and paper mills. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2025, iss. 255, pp. 473–488 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.473-488

Over time, the negative impact of human activity on the environment increases. Among the industries, the pulp and paper industry stands out in particular: it has a significant negative impact on the environment. To reduce this negative impact, there is a system of discharge standards. The current system of standardization of wastewater discharges of pulp and paper mills involves the calculation of standards for permissible discharges for substances of hazard classes 1 and 2, as well as technological discharge standards. The values of the SDS largely depend on the calculated value of the dilution factor. The dilution factor of wastewater is calculated in accordance with the Methodology for developing the standard for permissible discharges of pollutants into water bodies for water users (hereinafter referred to as the Methodology). The analysis carried out in the work showed that the Methodology for the conditions of wastewater discharge through dispersive outlets used in pulp and paper industries does not contain methods for calculating the dilution factor for many hydrological and meteorological regimes. In a number of the methods provided, the applicability limits are incorrectly indicated. Thus, taking into account the identified shortcomings of the existing Methodology for calculating the dilution factor of wastewater, an improvement was proposed for the classification scheme of water bodies used in standardizing discharges by enterprises of the pulp and paper industry. The new scheme of the typology of water bodies provides the possibility of switching to the use of unified standard mathematical models that effectively simulate the processes of pollutant transfer in aquatic environments of various types. This made it possible to significantly improve the accuracy of calculating the standard values of wastewater discharges at pulp and paper mills. In addition, specific types of water bodies receiving wastewater from large domestic enterprises of the pulp and paper industry and cardboard and printing products were identified. The study showed that the most significant factors are the nature of the water body and the features of the

wastewater discharge regime. Thus, each enterprise has the opportunity to choose an appropriate standardized mathematical model that provides an adequate description of the pollutant transfer process and an accurate assessment of the required level of wastewater dilution before they enter water bodies. This approach will ensure compliance with strict environmental standards and prevent further deterioration of the environment due to the production activities of pulp and paper industry enterprises.

**Key words:** mathematical modeling, methodology for calculating the standard of permissible discharges, pulp and paper production, standard of permissible discharge, dilution rate.

---

**МОЗГУШИН Максим Александрович** – аспирант Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. SPIN-код: 9757-0132. ORCID: 0009-0006-4577-0836.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: maxim120897@mail.ru

**MOZGUSHIN Maksim A.** – PhD student of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 9757-0132. ORCID: 0009-0006-4577-0836.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: maxim120897@mail.ru

**ЕПИФАНОВ Андрей Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. SPIN-код: 6689-6509. ORCID: 0000-0002-3429-9835.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: epifandr@yandex.ru

**EPIFANOV Andrey V.** – PhD (Technical), Associate Professor of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 6689-6509. ORCID: 0000-0002-3429-9835.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: epi-fandr@yandex.ru