

УДК 628.3

Рациональное соотношение качества воды водного объекта и качества сбрасываемых сточных вод

Н. А. Черников, А. В. Кудрявцев

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Черников Н. А., Кудрявцев А. В. Рациональное соотношение качества воды водного объекта и качества сбрасываемых сточных вод // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 3. — С. 604–613. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-604-613

Аннотация

Цель: Разработка методики определения рационального соотношения между качеством воды водных объектов и качеством сбрасываемых в них сточных вод при имеющихся инвестициях на реконструкцию систем обработки производственных сточных вод нескольких водопользователей одного водного бассейна. **Методы:** Аналитическое решение задачи определения оптимальной чистоты воды в реке в условиях реализации водоохраных мероприятий при ограниченных финансовых средствах и рациональном их распределении между водопользователями. **Результаты:** Относительные финансовые ресурсы на водоохраные мероприятия в Российской Федерации недостаточны и в то же время сокращаются на протяжении последних 30 лет. Несмотря на это, предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в водные объекты и в системы водоотведения, в Российской Федерации зачастую устанавливаются очень жесткие, иногда даже жестче, чем для питьевой воды, что приводит к неоправданным инвестиционным затратам. Отмечается также, что в настоящее время в Российской Федерации еще не сформированы полностью рыночные отношения в области природопользования, в том числе в области водопользования. Обозначены основные трудности реализации этих отношений в нашей стране. С помощью предложенной методики на конкретном примере определено обоснованное соотношение между качеством воды водотока и качеством сбрасываемых в них сточных вод, а также рациональное распределение финансирования между водопользователями. Показано, что экономически обоснованными требованиями к стокам, сбрасываемым в водный объект, являются фоновые концентрации загрязняющих веществ в воде данного водного объекта. **Практическая значимость:** На примере рассмотрена практическая реализуемость предложенной методики, которая может быть рекомендована к практическому применению.

Ключевые слова: Качество воды водных объектов, водотоки, водопользователи, индекс чистоты воды, концентрация загрязняющих веществ, показатель экологической эффективности, предельно допустимый сброс, финансирование водоохраных мероприятий.

Введение

При проведении любых мероприятий, а тем более таких дорогостоящих, как охрана водных ресурсов, нужно учитывать объем инвестиций, необходимых для реализации этих мероприятий.

Между тем в проекте Федеральной целевой программы развития транспорта Российской

Федерации до 2035 года [1], Федеральном законе №416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» [2] и многих других действующих нормативных документах экономическое обоснование постоянно возрастающих требований по сбросу предварительно очищенных сточных вод в водные объекты, как правило, не приводится.

Основной аргументацией по внедрению этих требований является необходимость соблюдения в воде водных объектов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК), то есть такого их количества, которое не влияет пагубно на здоровье человека, а также не нарушает равновесие биоценоза в водоеме [4–6].

Вопрос о нецелесообразности введения высоких требований к качеству сточных вод, сбрасываемых в водоемы, при недостаточном финансировании мероприятий по охране водных ресурсов, обсуждается в Российской Федерации на протяжении многих лет.

Авторы считают необходимым остановиться на основных негативных аспектах водоохранных мероприятий в Российской Федерации в настоящее время:

- недостаточное выделение финансовых средств на проведение мероприятий по охране водных ресурсов [3–7];
- очень жесткие требования к качеству предварительно очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы, а также в водоотводящие системы [8–10];
- отсутствие рыночных отношений в водоохранной сфере деятельности [10].

Существующее мнение некоторых специалистов о том, что система штрафов может быть эффективной в современных условиях развития отрасли водоподготовки и охраны водных ресурсов, не выдерживает критики. Штрафная система может стать таковой только в том случае, если она будет стимулировать внедрение новых технологий, т. е. если водопользователи смогут выбирать между улучшением производства и уплатой штрафа. В настоящее время такой возможности нет из-за недостатка финансирования.

Целью данного исследования является разработка методики определения экономически обоснованного соотношения между качеством сточных вод и качеством воды водного объекта

при общих финансовых затратах на водоохраные мероприятия, доступных нескольким водопользователям в водном бассейне.

В ходе исследования были рассмотрены следующие вопросы [8, 10]:

- определение зависимости концентраций загрязняющих веществ в расчетном створе водного объекта C_p после разбавления и смешения очищенных стоков нескольких водопользователей с концентрациями загрязнений C_i и воды водных объектов с фоновыми концентрациями загрязнений C_{ϕ} ;
- определение экономически обоснованного качества очищенных сточных вод для каждого водопользователя водного бассейна в рамках общих финансовых затрат при их рациональном распределении между водопользователями;
- определение экономической эффективности предлагаемой методики при условии ее применения для очистки промышленных сточных вод вагонных и локомотивных депо в Российской Федерации.

Методика определения рационального соотношения между качеством воды водного объекта и качеством сбрасываемых сточных вод состоит в последовательной реализации следующих задач [10, 11]:

- выбрать лимитирующее загрязняющее вещество в сточных водах промышленных предприятий, т. е. такое, которое наиболее трудно удалить до предельно допустимой концентрации (ПДК). Например, в локомотивных и вагонных депо железнодорожного транспорта таким загрязняющим веществом обычно являются нефтепродукты;
- на основании известных зависимостей по определению смешения и разбавления сточных вод в водном объекте и финансовых затрат на очистку воды составляется таблица качества воды I_p водного объекта и общей суммы финансовых ресурсов, необходимых

для водопользователей на водоохранные мероприятия;

– определить показатель чистоты воды водного объекта I_p при различных значениях качества сточных вод водопользователей I_j и объеме финансовых средств, которыми располагают водопользователи Π [10]; занести результаты в таблицу;

– используя табличные данные, определить оптимальное значение показателя чистоты воды водного объекта после сброса сточных вод водопользователя, $I_p = f(I_j)$, млн руб/год, при имеющихся средствах и соответствующих параметрах (I_j, I_p, Π_j);

– построить график изменения показателя чистоты воды водного объекта после сброса сточных вод водопользователями I_p ;

– на основании этих данных определить рациональное качество воды водного объекта после проведения водопользователями мероприятий по охране водных ресурсов.

Концентрация i -го загрязняющего вещества в расчетном створе водного объекта после сброса сточных вод, разбавления и перемешивания определяется уравнением (мг/л):

$$C_{pi} = \frac{\sum_j^n c_i q_j + c_{i\phi} Q_p}{\sum_j^n q_j + Q_p}, \quad (1)$$

где c_i и $c_{i\phi}$ — концентрация i -го загрязняющего вещества в сточных водах водопользователя и его фоновая концентрация в воде реки, мг/л;

q_j и Q_p — расход сточных вод j -го водопользователя и водотока, м³/ч.

Вместо концентрации загрязняющего вещества C_i и индекса загрязнения воды можно использовать такое понятие, как индекс чистоты воды I [10]:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{\text{ПДК}_i}{C_i}, \quad (2)$$

где ПДК_i и C_i — предельно допустимая и расчетная концентрации i -го загрязняющего вещества в воде.

Рассмотрим пример в соответствии с приведенной методикой расчета.

Исходные данные: в примере для удобства иллюстрации задачи рассматриваются два водопользователя и одно лимитирующее загрязняющее вещество (нефтепродукты с $\text{ПДК}_{\text{нп}} = 0,05$ мг/л) [11, 12].

Расход, м³/ч:

водоток до сброса в него сточных вод —

$$Q_p = 8000;$$

1-й водопользователь — $q_1 = 10$;

2-й водопользователь — $q_2 = 50$.

Предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в воде ($\text{ПДК}_{\text{нп}} = 0,05$ мг/л).

Необходимо определить: наилучшее качество воды в водном объекте и рациональное распределение имеющихся финансовых затрат на водоохранные мероприятия (в примере $\Pi = 20$ млн р/год) между двумя водопользователями одного водного бассейна после сброса в него очищенных сточных вод:

ТАБЛИЦА 1

Вода	Концентрация нефтепродуктов, мг/л		Индекс чистоты воды (ИЧВ)	
В водотоке (в реке) до проведения водоохранных мероприятий (фон)	C_ϕ	0,05	I_ϕ	1
1-й водопользователь	C_1	0,25	I_1	0,2
2-й водопользователь	C_2	0,25	I_2	0,2

I_1 — индекс чистоты воды первого водопользователя;

I_2 — индекс чистоты воды второго водопользователя;

I_p — показатель чистоты воды водотока в контрольном створе;

Π_1 — годовые затраты на водоохранные мероприятия 1-го водопользователя, млн руб. в год;

Π_2 — годовые затраты на водоохранные мероприятия 2-го водопользователя, млн руб. в год;

$\Pi_1 + \Pi_2$ — суммарные годовые затраты на водоохранные мероприятия 1-го и 2-го водопользователей, млн руб/год.

Построить: график и гистограмму, содержащие показатели чистоты воды водотока после сброса сточных вод водопользователями I_p и суммарные инвестиции в водоохранные мероприятия первого и второго водопользователей $\Pi_1 + \Pi_2$.

Задача решается на основе целевой функции (3) и ограничений (4, 5) [8, 12]:

$$\text{Целевая функция } I_p = f(I_i) \rightarrow \max; \quad (3)$$

$$\text{Ограничения } \sum(P_i \cdot I_i) \leq \Pi; \quad (4)$$

$$I_i \geq 0. \quad (5)$$

Водопользователи стремятся к максимальному значению функции $I_p = f(I_i)$, где I_i — показатель чистоты стоков водопользователя. При этом на практике, как правило, предприятия ограничены в финансовых средствах на охрану водных ресурсов. Часть общих для водного бассейна инвестиций вкладывается в улучшение качества стоков одного предприятия, часть — в улучшение качества стоков другого предприятия и т. д. Предположим также, что P_i — это цена за улучшение «чистоты воды» сточных вод предприятий.

Концентрация i -го загрязняющего вещества в воде водотока после сброса сточных вод, их раз-

бавления и смешивания определяется по уравнению (1).

Приведенные затраты на реализацию водоохраных мероприятий для водопользователей (Π , млн руб/год) определяются в зависимости от производительности очистных сооружений и концентрации лимитирующего загрязняющего вещества после очистки сточных вод по следующей формуле [13]:

$$\Pi = K_{\text{и}}(a + bq_{\text{ос}}^c K_{\text{ост}}), \quad (6)$$

где $K_{\text{и}}$ — коэффициент инфляции, учитывающий изменение стоимости очистных сооружений; $q_{\text{ос}}^c$ — максимальный часовой расход сточных вод, поступающих на производственные очистные сооружения, м³/ч;

$K_{\text{ост}}$ — остаточная концентрация лимитирующего загрязняющего вещества (нефтепродуктов) в сточных водах, очищенных на очистных сооружениях водопользователей, мг/л;

a , b и c — эмпирические коэффициенты.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

I_p водного объекта после сброса стоков водопользователями приведен в табл. 3.

В данном примере при имеющихся инвестициях $\Pi = 20$ млн руб/год наилучшее качество воды (I_p) водного объекта после сброса сточных вод может быть обеспечено за счет реализации мероприятий по реконструкции систем очистки сточных вод первого и второго водопользователей при данных, приведенных в табл. 4.

Взаимозависимость концентрации лимитирующего загрязняющего вещества в водном объекте до сброса сточных вод (фоновой концентрации), концентрации лимитирующего загрязняющего вещества в водном объекте после сброса сточных вод и финансовых затрат на реализацию мероприятий по охране чистоты воды представлена на рис. 2, а, б.

ТАБЛИЦА 2. I_p водного объекта (строка 1) и общий объем финансовых средств, необходимых для проведения мероприятий по охране водных ресурсов для водопользователей 1 и 2 (строка 2)

I_1 , млн.р./год	C_1 , мг/л	I_1	I_p при	I_p при	I_p при	I_p при	I_p при	I_p при	I_p при	I_p при	I_p при	I_p при	I_p при
			$I_2=0,1$	$I_2=0,2$	$I_2=0,3$	$I_2=0,4$	$I_2=0,5$	$I_2=0,6$	$I_2=0,7$	$I_2=0,8$	$I_2=0,9$	$I_2=1$	
			P при	P при	P при	P при	P при	P при	P при	P при	P при	P при	P при
			$I_2=0,1$	$I_2=0,2$	$I_2=0,3$	$I_2=0,4$	$I_2=0,5$	$I_2=0,6$	$I_2=0,7$	$I_2=0,8$	$I_2=0,9$	$I_2=1$	$I_2=1$
8,90	0,025	$I_1 = 2,0$ $P_{2,0}$	0,948	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			13,12	15,33	17,16	18,77	20,24	21,61	22,89	24,11	25,27	26,38	
8,62	0,026	$I_1 = 1,9$ $P_{1,9}$	0,948	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			12,84	15,06	16,88	18,49	19,96	21,33	22,61	23,83	24,99	26,11	
8,34	0,028	$I_1 = 1,8$ $P_{1,8}$	0,948	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			12,56	14,77	16,60	18,21	19,68	21,04	22,33	23,54	24,71	25,82	
8,05	0,029	$I_1 = 1,7$ $P_{1,7}$	0,948	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			12,27	14,48	16,31	17,92	19,39	20,75	22,04	23,25	24,42	25,53	
7,75	0,031	$I_1 = 1,6$ $P_{1,6}$	0,948	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			11,97	14,19	16,01	17,63	19,09	20,46	21,74	22,96	24,12	25,24	
7,45	0,033	$I_1 = 1,5$ $P_{1,5}$	0,947	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			11,67	13,88	15,71	17,32	18,79	20,16	21,44	22,66	23,82	24,94	
7,14	0,036	$I_1 = 1,4$ $P_{1,4}$	0,947	0,976	0,986	0,991	0,994	0,996	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			11,36	13,57	15,40	17,01	18,48	19,85	21,13	22,35	23,51	24,63	
6,82	0,038	$I_1 = 1,3$ $P_{1,3}$	0,947	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			11,04	13,26	15,08	16,69	18,16	19,53	20,81	22,03	23,19	24,31	
6,49	0,042	$I_1 = 1,2$ $P_{1,2}$	0,947	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			10,71	12,93	14,76	16,37	17,84	19,20	20,48	21,70	22,86	23,98	
6,16	0,045	$I_1 = 1,1$ $P_{1,1}$	0,947	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			10,38	12,59	14,42	16,03	17,50	18,86	20,15	21,36	22,53	23,64	
5,81	0,050	$I_1 = 1,0$ $P_{1,0}$	0,947	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	0,997	1,00	1,00	1,00	1,00
			10,03	12,24	14,07	15,68	17,15	18,51	19,80	21,02	22,18	23,29	
5,44	0,056	$I_1 = 0,9$ $P_{0,9}$	0,947	0,976	0,986	0,991	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			9,66	11,88	13,71	15,32	16,79	18,15	19,44	20,65	21,82	22,93	
5,07	0,063	$I_1 = 0,8$ $P_{0,8}$	0,947	0,975	0,985	0,990	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			9,29	11,50	13,33	14,94	16,41	17,78	19,06	20,28	21,44	22,56	
4,67	0,071	$I_1 = 0,7$ $P_{0,7}$	0,947	0,975	0,985	0,990	0,993	0,995	0,997	0,998	0,999	0,999	0,999
			8,89	11,11	12,94	14,55	16,02	17,38	18,66	19,88	21,04	22,16	
4,26	0,083	$I_1 = 0,6$ $P_{0,6}$	0,946	0,975	0,985	0,990	0,993	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			8,48	10,69	12,52	14,13	15,60	16,96	18,25	19,47	20,63	21,74	
3,81	0,100	$I_1 = 0,5$ $P_{0,5}$	0,946	0,975	0,985	0,990	0,993	0,995	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
			8,03	10,25	12,08	13,69	15,16	16,52	17,81	19,02	20,19	21,30	
3,34	0,125	$I_1 = 0,4$ $P_{0,4}$	0,945	0,974	0,984	0,989	0,992	0,994	1,00	1,00	0,997	1,00	1,00
			7,56	9,77	11,60	13,21	14,68	16,05	17,33	18,55	19,709	20,83	
2,81	0,167	$I_1 = 0,3$ $P_{0,3}$	0,945	0,973	0,983	0,988	0,991	0,993	0,994	1,00	1,00	1,00	1,00
			7,04	9,25	11,08	12,69	14,16	15,52	16,81	18,02	19,19	20,30	
2,22	0,250	$I_1 = 0,2$ $P_{0,2}$	0,943	0,971	0,981	0,986	0,989	0,991	0,992	0,994	0,994	0,995	0,995
			6,44	8,66	10,49	12,10	13,57	14,93	16,21	17,43	18,59	19,711	
1,50	0,500	$I_1 = 0,1$ $P_{0,1}$	0,94	0,965	0,975	0,980	0,983	0,985	0,986	0,987	0,988	0,989	0,989
			5,72	7,94	9,77	11,4	12,8	14,2	15,5	16,7	17,9	19,0	
		I_2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
		C_2 , мг/л	0,500	0,250	0,167	0,125	0,100	0,083	0,071	0,063	0,056	0,050	
		P_2 , млн.р./год	4,22	6,44	8,26	9,87	11,34	12,71	13,99	15,21	16,37	17,49	

ТАБЛИЦА 3

I_2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I_p			0,991	0,994	0,996	0,997	0,998	0,997	0,995
Π_2			9,87	11,34	12,71	13,99	15,21	16,37	17,49

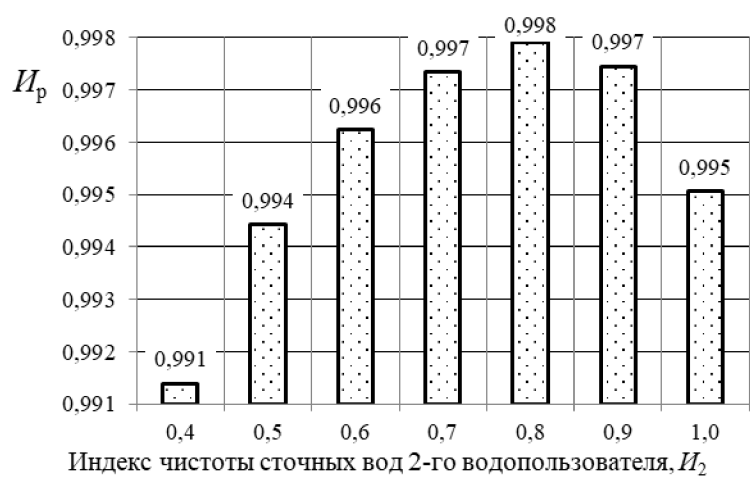


Рис. 1. Показатели чистоты воды в водном объекте после сброса очищенных сточных вод водопользователями

ТАБЛИЦА 4

	Исходные данные, млн руб/год		Результаты расчетов, млн руб/год	
$I_1 = 0,20$	$\Pi_1 = 2,22$	$I_1 = 0,70$	$\Pi_1 = 4,67$	
$I_2 = 0,20$	$\Pi_2 = 6,44$	$I_2 = 0,80$	$\Pi_2 = 15,21$	
$I_p = 0,971$	$\Pi_1 + \Pi_2 = 8,66$	$I_p = 0,998$	$\Pi_1 + \Pi_2 = 19,88$	

ТАБЛИЦА 5

Водоток до сброса сточных вод	$Q_p = 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$
1-й водопользователь	$q_1 = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$
2-й водопользователь (локомотивное или вагонное депо)	$q_2 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$

Из рис. 2, а, б видно, что многократное увеличение финансовых затрат на реализацию мероприятий по охране водных ресурсов практически не уменьшает концентрацию лимитирующего загрязнения в воде водного объекта.

Экономическая эффективность применения предлагаемой методики

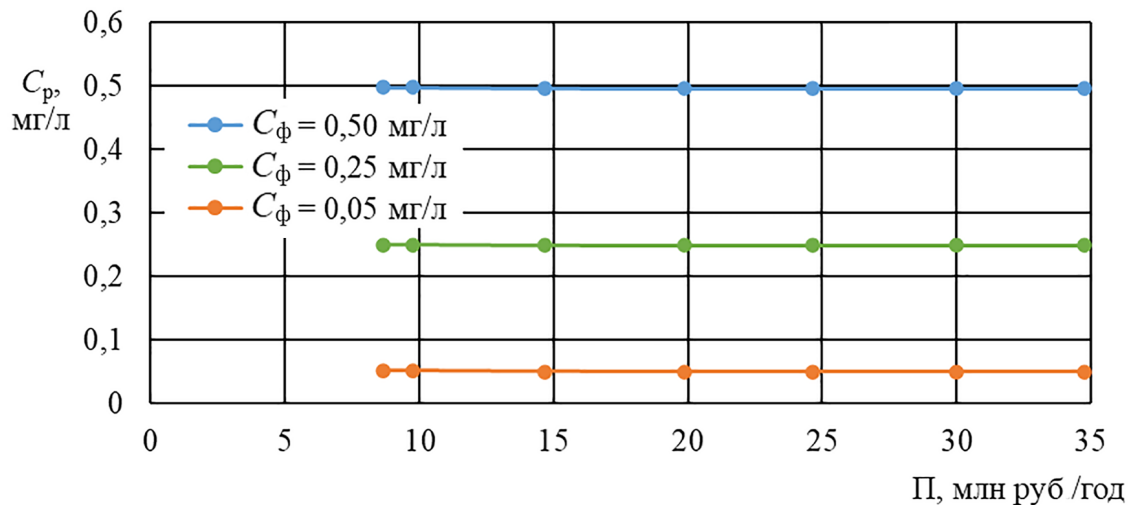
Методика позволяет проанализировать экономические потери, вызванные слишком жесткими

требованиями к сбросу загрязняющих веществ (в нашем случае — нефтепродуктов).

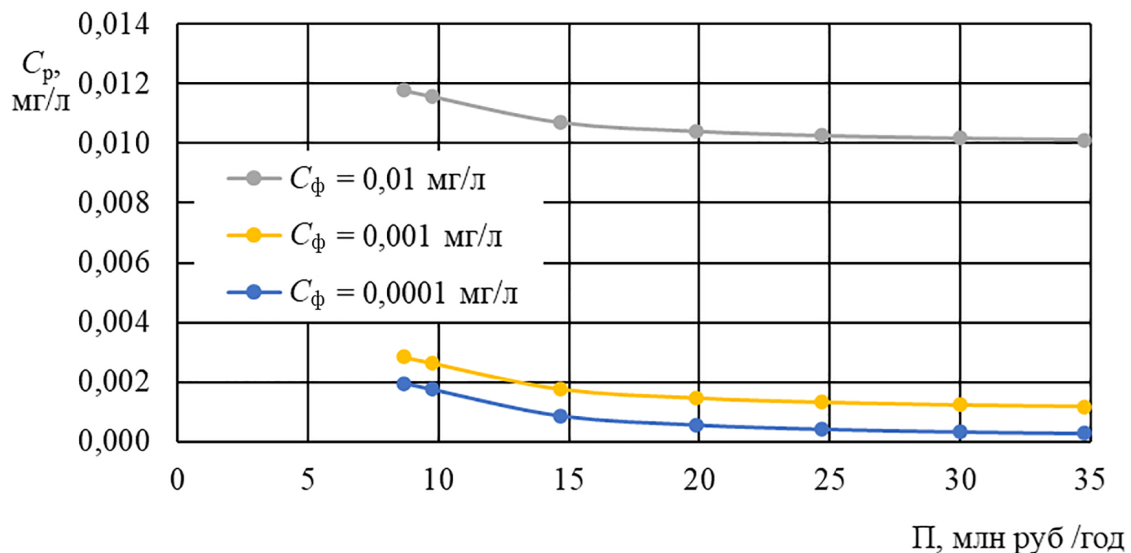
Согласно исходным данным, расход воды для водотоков и водопользователей составляет, табл. 5.

Инвестиции на очистку производственных сточных вод указаны в табл. 6.

В целом экономия средств при очистке производственных стоков до фоновых концентраций по лимитирующему загрязняющему веще-



а



б

Рис. 2. Изменение концентрации нефтепродуктов в реке после сброса сточных вод, C_p

ТАБЛИЦА 6

<i>Очистка сточных вод до ПДК по нефтепродуктам</i>	
Фоновая концентрация нефтепродуктов в воде водного объекта до сброса в него сточных вод водопользователями, мг/л	$C_\phi = 0,50$
Концентрация нефтепродуктов в сточной воде после ее очистки у второго водопользователя, мг/л	$C_2 = 0,050$
Инвестиции на очистку сточных вод у второго водопользователя, млн руб/год (см. табл. 2)	$\Pi_2^{\text{ПДК}} = 17,49$
<i>Очистка сточных вод до фоновых концентраций по нефтепродуктам</i>	
Концентрация нефтепродуктов в воде водного объекта, мг/л	$C_\phi = 0,50$
Концентрация нефтепродуктов в сточной воде второго водопользователя после ее очистки, мг/л	$C_2 = 0,50$
Инвестиции на очистку сточных вод у второго водопользователя, млн руб/год	$\Pi_2^\phi = 4,22$
Экономия средств на локомотивном или вагонном депо при очистке сточных вод до фоновой концентрации лимитирующего загрязнения в воде водотока вместо ПДК, млн руб/год	$\Delta\Pi = \Pi_2^\phi - \Pi_2^{\text{ПДК}} = 13,27$

ству для локомотивных и вагонных депо на сети железных дорог Российской Федерации может составлять:

$$\Delta\Pi_{\text{ржд}} = \Delta\Pi \cdot N = 13,27 \cdot 350 = 4645 \text{ млн руб/год,}$$

где $N = 350$ — количество локомотивных и вагонных депо на сети железных дорог Российской Федерации¹.

Выводы

1. Разработана методика, позволяющая определить рациональное соотношение между качеством воды водного объекта и качеством сбрасываемых в него сточных вод при имеющихся финансовых затратах на мероприятия по очистке сточных вод для нескольких водопользователей водного бассейна.

2. Экономически обоснованные требования к сбросу загрязняющих веществ в водоемы — фоновые концентрации этих веществ в водном объекте до сброса в него сточных вод водопользователями.

3. Экономическая эффективность предлагаемой методики при реализации только на локомотивных и вагонных депо в железнодорожной отрасли России составляет около 4,5 млрд руб/год.

Библиографический список

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (проект). — Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.07.2021.

2. О водоснабжении и водоотведении. Федеральный закон от 07.12.2011 № 416-ФЗ (ред. от 01.05.2022). — М.: КонсультантПлюс, 78 с.

3. Российский статистический ежегодник. 2022: Стат. сб. / Росстат. — 2022, 691 с.

4. Безпамятнов Г. П. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде /

¹ URL: <http://мояколя1520.рф/company/2023-05-23>.

Г. П. Безпамятнов, Ю. А. Кротов. — Л.: Химия, 1995. — 528 с.

5. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684—21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (вместе с СанПиН 2.1.3684—21). — М.: Министерство юстиции РФ, 2021. — 677 с.

6. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.2307—07. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водоемов. Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. — 48 с.

7. Руководство по контролю качества питьевой воды. Том 1. Рекомендации. — Женева, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), 1986. — 126 с.

8. Черников Н. А. Теоретические и методологические принципы совершенствования нормативной базы в области водоотведения: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / Н. А. Черников. — СПб.: ПГУПС, 2003. — 50 с.

9. Дикаревский В. С. Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте: учебник / В. С. Дикаревский, В. Г. Иванов, П. П. Якубчик и др.; под ред. проф. В. С. Дикаревского. — 2-е изд., перераб. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. — 447 с.

10. Черников Н. А. Экономическая оценка нормативных требований по сбросу сточных вод в водные объекты в России и Узбекистане / Н. А. Черников, О. М. Мусаев // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. Серия: Технические науки и архитектура. — Киев: Техника, 2010. — Вып. 93. — С. 52–58.

11. Черников Н. А. Единый показатель чистоты воды / Н. А. Черников, О. М. Мусаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2010. — № 3. — С. 309–313.

12. Черников Н. А. Региональные нормативы по сбросу сточных вод в водные объекты РФ / Н. А. Чер-

ников, В. Г. Иванов // Вода и экология: проблемы и решения. — 2020. — № 2(82). — С. 59–66. — DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.2.

13. Мусаев О. М. Обоснование нормативных требований к качеству очищенных производственных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта в республике Узбекистан: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / О. М. Мусаев. — СПб.: ПГУПС, 2010. — 22 с.

Дата поступления: 26.05.2023

Решение о публикации: 07.07.2023

Контактная информация:

ЧЕРНИКОВ Николай Андреевич — д-р техн. наук,

проф.; nika_pgups@mail.ru

КУДРЯВЦЕВ Андрей Валерьевич — аспирант;

doktor-kudrya@yandex.ru

A Rational Relationship between the Water Quality of a Water Body and the Quality of Discharged Wastewater

N. A. Chernikov, A. V. Kudryavtsev

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Chernikov N. A., Kudryavtsev A. V. A Rational Relationship between the Water Quality of a Water Body and the Quality of Discharged Wastewater // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 3, pp. 604–613. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-604-613

Summary

Purpose: To develop a methodology for determining a rational relationship between the water quality of water bodies and the quality of wastewater discharged into them with existing investments in the reconstruction of industrial wastewater treatment systems of several water users within one water basin. **Methods:** Analytical solution of the problem of determining the optimal purity of water in the river in the conditions of implementation of water protection measures with limited financial resources and their rational distribution among water users. **Results:** Relative financial resources for water protection measures in the Russian Federation are insufficient and at the same time have been declining over the past 30 years. Despite this, the maximum permissible concentrations of pollutants in wastewater discharged into water bodies and wastewater disposal systems in the Russian Federation are often very strict, sometimes even tougher than for drinking water, which leads to unjustified investment costs. It is also noted that at present, market relations in the field of nature management, including in the field of water use, have not yet been fully formed in the Russian Federation. The main difficulties of implementing these relations in this country are outlined. With the help of the proposed methodology, a reasonable relationship between the water quality of a watercourse and the quality of wastewater discharged into them, as well as a rational distribution of financing between water users, is determined on a concrete example. It is shown that the economically justified requirements for effluents discharged into a water body are background concentrations of pollutants in the water of this water body. **Practical significance:** The practical feasibility of the proposed methodology, which can be recommended for practical application, is demonstrated using an example.

Keywords: Water quality of water bodies, watercourses, water users, water purity index, concentration of pollutants, environmental efficiency indicator, maximum permissible discharge, financing of water protection measures.

References

1. *Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda (proekt). Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 29.07.2021* [Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to

2035 (draft). Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated July 29, 2021]. (In Russian)

2. *O vodosnabzhenii i vodootvedenii. Federal'nyy zakon ot 07.12.2011 № 416-FZ (red. ot 01.05.2022)* [About water supply and sanitation. Federal Law № 416-FZ of December

7, 2011 (as amended on May 1, 2022)]. Moscow: Konsul'tantPlyus Publ., 78 p. (In Russian)

3. *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik. 2022: Stat. sb. Rosstat* [Russian statistical yearbook. 2022: Stat. Sat. Rosstat]. 2022, 691 p. (In Russian)

4. Bezpamyatnov G. P., Krotov Yu. A. *Predel'no-dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v okruzhayushchey srede* [Maximum allowable concentrations of chemicals in the environment]. L.: Khimiya Publ., 1995, 528 p. (In Russian)

5. *Sanitarnye pravila i normy SanPiN 2.1.3684—21. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k sodержaniyu territoriy gorodskikh i sel'skikh poseleniy, k vodnym ob'ektam, pit'evoy vode i pit'evomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozdukh, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, ekspluatatsii proizvodstvennykh, obshchestvennykh pomeshcheniy, organizatsii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemiicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatiy (vmeste s SanPiN 2.1.3684—21)* [Sanitary rules and norms SanPiN 2.1.3684—21. Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures (together with SanPiN 2.1.3684—21)]. Moscow: Ministerstvo yustitsii RF Publ., 2021, 677 p. (In Russian)

6. *Gigienicheskie normativy GN 2.1.5.2307—07. 2.1.5. Vodootvedenie naseleennykh mest, sanitarnaya okhrana vodoemov. Orientirovochnye dopustimye urovni (ODU) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaystvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya: Gigienicheskie normativy* [Hygienic standards GN 2.1.5.2307-07. 2.1.5. Water disposal of populated areas, sanitary protection of reservoirs. Approximate Permissible Levels (TAC) of Chemical Substances in the Water of Water Bodies for Domestic Drinking and Cultural and Household Water Use: Hygienic Standards]. Moscow: Federal'nyy tsentr gigeny i epidemiologii Rospotrebnadzora Publ., 2008, 48 p. (In Russian)

7. *Rukovodstvo po kontrolyu kachestva pit'evoy vody. Tom 1. Rekomendatsii. Zheneva, Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya (VOZ)* [Guidelines for drinking water quality control. Volume 1. Recommendations. Geneva, World Health Organization (WHO)]. 1986, 126 p. (In Russian)

8. Chernikov N. A. *Teoreticheskie i metodologicheskie printsipy sovershenstvovaniya normativnoy bazy v oblasti vodootvedeniya: avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk* [Theoretical and methodological principles of improving the regulatory

framework in the field of water disposal: author. diss. ... Dr. tech. Sciences]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2003, 50 p. (In Russian)

9. Dikarevskiy B. C., Ivanov V. G., Yakubchik P. P.; pod red. prof. B. C. Dikarevskogo *Vodosnabzhenie i vodootvedenie na zheleznodorozhnom transporte: uchebnik; 2-e izd., pererab.* [Water supply and sanitation in railway transport: textbook; 2nd ed., revised]. Moscow: GOU "Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte" Publ., 2009, 447 p. (In Russian)

10. Chernikov N. A., Musaev O. M. *Ekonomicheskaya otsenka normativnykh trebovaniy po sbrosu stochnykh vod v vodnye ob'ekty v Rossii i Uzbekistane* [Economic assessment of regulatory requirements for wastewater discharge into water bodies in Russia and Uzbekistan]. *Kommunal'noe khozyaystvo gorodov. Nauchno-tekhnicheskiiy sbornik. Seriya: Tekhnicheskiiye nauki i arkhitektura* [Communal services of cities. Scientific and technical collection. Series: Technical sciences and architecture]. Kiev: Tekhnika Publ., 2010, Iss. 93, pp. 52–58. (In Russian)

11. Chernikov N. A., Musaev O. M. *Edinyy pokazatel' chistoty vody* [Single indicator of water purity]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2010, Iss. 3, pp. 309–313. (In Russian)

12. Chernikov N. A., Ivanov V. G. *Regional'nye normativy po sbrosu stochnykh vod v vodnye ob'ekty RF* [Regional standards for wastewater discharge into water bodies of the Russian Federation]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions]. 2020, Iss. 2(82), pp. 59–66. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.2. (In Russian)

13. Musaev O. M. *Obosnovanie normativnykh trebovaniy k kachestvu ochishchennykh proizvodstvennykh stochnykh vod predpriyatiy zheleznodorozhnogo transporta v respublike Uzbekistan: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* [Substantiation of regulatory requirements for the quality of treated industrial wastewater from railway transport enterprises in the Republic of Uzbekistan: author. diss. ... cand. tech. Sciences]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2010, 22 p. (In Russian)

Received: May 26, 2023

Accepted: July 07, 2023

Author's information:

Nikolay A. CHERNIKOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; nika_pgups@mail.ru

Andrey V. KUDRYAVTSEV — Postgraduate Student; doktor-kudrya@yandex.ru