

Интегральный показатель качества сточных вод, отводимых в водный объект

Т.И. Дровозова, Н.Н. Паненко, А.В. Лещенко
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова
Донского государственного аграрного университета

Аннотация: в работе рассмотрены интегральные показатели качества либо уровня загрязненности природных вод, позволяющие провести оценку их экологического состояния. Установлено, что критерием допустимости отведения очищенных сточных вод в водный объект, является нормативно допустимый сброс, однако рассчитать его не всегда представляется возможным, особенно для малых рек, характеризующихся низкими расходами речного стока по сравнению с расходом сточных вод. Предложен интегральный показатель оценки качества либо уровня загрязненности отводимых сточных вод, формула его расчета, а также критерии оценки качества отводимых сточных вод по предложенному интегральному показателю. В основе методики расчета интегрального показателя лежит оценка качества отводимых сточных вод по показателям БПК₅, растворенному кислороду, биогенным элементам. На примере сточных вод, отводимых с очистных сооружений канализации г. Новочеркаска, рассчитан предложенный интегральный показатель, который позволил охарактеризовать отводимые сточные воды, как «грязные», и сделать вывод о необходимости их доочистки.

Ключевые слова: сточные воды, уровень загрязненности воды, интегральный показатель качества воды, очистные сооружения канализации.

При оценке качества либо уровня загрязненности природных вод используют следующие интегральные показатели:

- 1) гидрологические показатели средней загрязнённости потока, позволяющие оценить загрязнение речного потока лимитирующими веществами по их средней концентрации C_{cp} в поперечном сечении потока;
- 2) гидролого-гидродинамические показатели состояния загрязнённости речных потоков и водоёмов [1-3].

Абсолютный показатель общей нагрузки потока одним или несколькими лимитирующими загрязняющими веществами ниже места выпуска сточных вод (СВ) - выражен либо концентрациями ионов, обуславливающих загрязнение потока, либо посредством таких показателей, как БПК_{полн}, ХПК.

Общая нагрузка выражается средней (в потоке) концентрацией $C_{\text{ср}}$ рассматриваемого вещества или суммы веществ. Величина $C_{\text{ср}}$ в контрольном створе (створе достаточного перемешивания) рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ср}} = \frac{Q \cdot C_{\text{фон}} + q \cdot C_{\text{ст}}}{Q + q}, \quad (1)$$

где Q – расход реки при 95 %-ной обеспеченности, $\text{м}^3/\text{с}$;

$C_{\text{фон}}$ – фоновая концентрация иона, $\text{мг}/\text{дм}^3$;

q – расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$;

$C_{\text{ст}}$ – допустимая к отведению концентрация иона, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

В створах выше места выпуска сточных вод состояние водной среды характеризуется фоновыми концентрациями загрязняющих веществ.

Оценка загрязнённости воды по ПДК (принцип санитарно-гигиенического нормирования качества воды в водном объекте). При оценке уровня загрязнённости водной среды отдельными веществами используются непосредственно значения их ПДК, установленные для водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ Министерство сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»). Для одного вещества предельным условием сохранения удовлетворительного качества воды является условие $\frac{C}{\text{ПДК}} < 1$.

Оценка допустимой нагрузки потока несколькими веществами с одинаковым лимитирующим показателем вредности, относящимися к первому, либо второму классам опасности, осуществляется на основе применяемого в практике санитарно-гигиенического условия:

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

где C_i – концентрация одного вещества;

ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация того же вещества;

n – общее количество лимитирующих веществ.

Показатель превышения загрязнённости над нормой - выражается обеспеченностью $P_{\text{заг}}$ (%) загрязнённого стока в рассматриваемом створе водного объекта. Рассчитывается, как отношение числа дней, в течение которых через створ реки проходит загрязнённый сток, в котором концентрации загрязняющих веществ превышают ПДК, к общему числу дней, в течение которых осуществляется сброс сточных вод.

Показатель относительной нагрузки потока загрязняющим веществом - находится на основании сопоставления получаемого в потоке значения $C_{\text{ср}}$ с ПДК.

Наиболее часто используемыми интегральными показателями качества поверхностных вод являются индекс загрязнения воды (ИЗВ) и удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ), рассчитываемые по 6 в первом случае и по 15, во втором, показателям.

Таким образом, для оценки состояния поверхностных водных объектов известно достаточное количество интегральных показателей [1-3,7]. Однако отсутствует количественный интегральный показатель, который бы позволил охарактеризовать качество отводимых в водный объект сточных вод.

В настоящее время единственным количественным показателем допустимости отведения загрязняющего вещества в сточных водах является его НДС (нормативно допустимый сброс). Однако, гидролого-гидравлические условия отдельных рек, в которые осуществляется сброс СВ, особенно малых, характеризующихся низкими расходами речного стока по сравнению с расходами сточных вод, не позволяют применять нормативную методику для расчета НДС из-за не выполнения условия разбавления И.Д. Родзиллера (Приказ от 17 декабря 2007 года N 333 «Об утверждении

Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей (с изменениями на 15 ноября 2016 года)»). Тем не менее сброс осуществляется. Необходимо отметить, что, если $C_{\text{фон}} < \text{ПДК}$, загрязнение речного потока от рассматриваемого выпуска сточных вод не происходит при правильно рассчитанных НДС. Если $C_{\text{фон}} > \text{ПДК}$, то поток полностью загрязнён и, следовательно, сточные воды должны быть полностью очищены от данного вещества. Вычисление НДС в таком случае может вызвать затруднения.

Целью работы являлось обоснование интегрального показателя P , позволяющего количественно оценить качество либо уровень загрязнённости отводимых сточных вод с очистных сооружений канализации (ОСК) городского хозяйства.

Объектом исследования являлись малые реки Ростовской области в зоне влияния очистных сооружений канализации, такие как река Тузлов и впадающая в него река Грушевка, в створах которых расположены выпуски сточных вод с очистных сооружений канализации городов Шахты и Новочеркасск. Анализ фактического содержания загрязняющих веществ в отводимых сточных водах с ОСК г. Шахты за период с 2010 по 2014 годы показал регулярное превышение содержания биогенных элементов, показателя ХПК, взвешенных веществ (табл. 1).

Таблица № 1

Фактическая концентрация загрязняющих веществ в сточных водах
ОСК г. Шахты, отводимых в р. Грушевка

№ п/п	Наименование показателя	Фактическая концентрация в очищенных СВ, мг/дм ³					ПДК _{р.х.} , мг/дм ³	Кратность превышения, разы
		2010	2011	2012	2013	2014		
1	Взвешенные вещества	15,96	16,36	16,44	15,91	15,80	-	
2	ХПК	30,00	29,87	29,44	31,39	29,60		
3	NH ₄ ⁺ (N ₂)	1,62	1,61	1,73	1,73	1,62	0,4	4,2

4	NO ₃	30,50	31,40	31,60	30,20	30,10	40,0	-
5	NO ₂	0,11	0,13	0,11	0,11	0,11	0,02	5,7
6	PO ₄ ³⁻ (P)	0,79	0,8	0,82	0,088	0,8	0,2	4
7	БПК ₅	3,38	6,63	3,89	3,77	3,36	3	1,12-2,21

Анализ фактического содержания загрязняющих веществ в отводимых сточных водах с ОСК г. Новочеркаска за период с 2012 по 2014 годы также показал регулярное превышение содержания нитрит-анионов, нитрат-анионов, фосфатов (по фосфору), сульфат-анионов, высокое содержание взвешенных веществ и показателя ХПК (табл. 2).

Таблица № 2

Результаты химических анализов очищенных сточных вод ОСК г.

Новочеркаска

Наименование показателя	Фактическая концентрация в очищенных СВ, мг/дм ³			Количество анализов в год	Количество отклонений в год
	2012	2013	2014		
Взвешенные вещества (ВВ)	14,3	14,9	9,6	36	8
Сухой остаток	1336	1318	1004	36	1
Хлориды	198	165	167	36	-
SO ₄ ²⁻	381	400	317	36	-
NH ₄ ⁺ (N ₂)	0,42	0,47	0,28	732	7
NO ₂	0,10	0,11	0,096	732	33
NO ₃	79,9	67,0	55,8	732	687
PO ₄ ³⁻ (P)	2,3	2,5	2,6	366	366
O ₂	8,6	8,3	4,0	732	-
ХПК	27	27,3	28	732	-
БПК ₅	5,03	4,1	3,15	36	-

Для оценки качества либо уровня загрязнённости очищенных сточных вод, отводимых в водный объект, предлагаем способ оценки, в основе которого лежит адаптированная методика расчёта индекса загрязнения воды. В отличие от известной методики расчета ИЗВ оценку качества либо уровня загрязнённости отводимых сточных вод рекомендуем проводить только по конкретным показателям: БПК₅, содержанию растворённого кислорода и биогенным элементам NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻(P), как показателям,

максимально превышающим допустимые к отведению концентрации, что согласуется с показателями ИТС 10-2015 по НДТ [4].

Предложенный интегральный показатель качества либо уровня загрязнённости отводимых сточных вод (P) рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{1}{c} \left(\frac{БПК_5}{норма} + \frac{норма}{C_{O_2}} + \frac{C_{NO_3^-}}{ПДК_{NO_3^-}} + \frac{C_{NO_2^-}}{ПДК_{NO_2^-}} + \frac{C_{NH_4^+}}{ПДК_{NH_4^+}} + \frac{C_{FO_4^{2-}}}{ПДК_{FO_4^{2-}}} \right), \quad (3)$$

Критерии оценки качества либо уровня загрязнённости отводимых сточных вод по предлагаемому интегральному показателю P определяли на основе известной классификации уровня загрязнённости природной воды по показателю БПК₅ и содержанию растворённого кислорода (табл. 3), а также исходя из того, что концентрации биогенных элементов в сточной воде не должны превышать их ПДК для водного объекта рыбохозяйственного значения.

Таблица № 3

Величины БПК₅ и содержание растворённого кислорода в водной среде с различной степенью загрязнённости [7]

Уровень загрязненности воды	Класс качества	Величина БПК ₅ мгО/дм ³	Растворенный кислород, O ₂	
			лето, мг/дм ³	лето, мг/дм ³
Очень чистые	I	0,5 - 1,0	9	9
Чистые	II	1,1 - 1,9	8	8
Умеренно загрязненные	III	2,0 - 2,9	7-6	7-6
Загрязненные	IV	3,0 - 3,9	5-4	5-4
Грязные	V	4,0 - 10,0	3-2	3-2
Очень грязные	VI	> 10,0	0	0

Показатель БПК₅ в поверхностных водах позволяет оценить содержание биохимически окисляемых органических веществ, поэтому используется в качестве интегрального показателя загрязнённости воды. Является обязательным показателем при контроле эффективности работы очистных сооружений. Растворенный кислород также является

обязательным показателем контроля качества водной среды природного водного объекта и качества очистки отводимых сточных вод [7-10]. Поэтому были взяты нами как обязательные компоненты при расчете интегрального показателя качества либо уровня загрязнённости отводимых сточных вод.

Результаты расчётов критериев оценки качества либо уровня загрязнённости отводимых сточных вод и их класса качества по предложенному интегральному показателю Р представлены в табл. 4.

Таблица № 4

Критерии оценки качества либо уровня загрязнённости отводимых сточных вод по предложенному интегральному показателю Р

Уровень загрязнённости воды	Лето	Зима
Очень чистые	$P \leq 0,83$	$P \leq 0,79$
Чистые	$0,83 < P \leq 0,87$	$0,79 < P \leq 0,84$
Умеренно загрязнённые	$0,87 < P \leq 0,96$	$0,84 < P \leq 0,91$
Загрязнённые	$0,96 < P \leq 1,7$	$0,91 < P \leq 1,7$
Грязные	$1,7 < P \leq 3,92$	$1,7 < P \leq 3,47$
Очень грязные	$P > 3,92$	$P > 3,47$

Применим данный интегральный показатель для оценки уровня загрязненности сточных вод, отводимых с ОСК г. Новочеркаска в р. Тузлов. Расчёты на основании данных химических анализов производственной лаборатории ОСК г. Новочеркаска показали следующее:

$$P = \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{3,15}{3} + \frac{20}{4} + \frac{0,096}{0,02} + \frac{55,8}{40} + \frac{2,6}{0,5} + \frac{0,28}{0,5} \right) = 3,008$$

По величине Р сточные воды характеризуются, как «грязные», следовательно, таковые СВ без дополнительной доочистки сбрасывать в водный объект, особенно в малые реки, к которым относится р. Тузлов, недопустимо.

Литература

1. Караушев А.В. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод: монография. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1981. – 176 с.
2. Рекомендации по применению интегральных показателей для оценки качества, воды и загрязненности рек и водоемов / Гос. гидрол. ин-т. - Ленинград: ГГИ, 1977. - 72 с.
3. Зубарев В.А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. - 2014, т. 17, № 2. - с. 71-77.
4. ИТС 10-2015. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям: Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. - URL: docs.cntd.ru/document/1200128670
5. Косов В.И., Иванов В.Н. Охрана и рациональное использование водных ресурсов. Ч.1 Охрана поверхностных вод – Тверь: Твер. гос. техн. ун-т, 1995. - 124 с.
6. Вишневецкий В.Ю., Попружный В.М. Оценка качества воды в районах водозаборов города Таганрога по гидрохимическим показателям // Инженерный вестник Дона, 2014, №4, URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2014/2641
7. Петин А. Н., Шевченко В.Н., Петина М.А. Исследование малых водных объектов и их экологического состояния / Белгородский гос. нац. исслед. ун-т. Изд. 2-е, перераб. и доп. - Белгород: НИУ "БелГУ", 2012. - 242 с.
8. EPA/630/R-00/002. Supplementary Guidance for Conducting Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. Risk Assessment Forum / U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, 2000, 20460, 209. P. 17.

9. Reshetnyak O. S. Environmental regulation of the chemical pollution in aquatic ecosystem (Biological aspects). // Water Resources, 2016, Vol.43, No. 2, pp. 364–368.

10. Гульшин И.А. Характеристика активного ила, осуществляющего процесс очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от соединений азота в аэрационных сооружениях циркуляционного типа при низких концентрациях растворенного кислорода // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5681

References

1. Karaushev A.V. Metodicheskie osnovy otsenki i reglamentirovaniya antropogennogo vliyaniya na kachestvo poverkhnostnykh vod: monografiya [Methodical bases of estimation and regulation of anthropogenic influence on surface water quality: monograph]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1981. 176 p.

2. Rekomendatsii po primeneniyu integral'nykh pokazateley dlya otsenki kachestva, vody i zagryaznennosti rek i vodoemov [Recommendations on the use of integrated indicators to assess the quality, water and pollution of rivers and reservoirs] L. 1977. 72 p.

3. Zubarev V.A Regional'nye problemy. 2014. t. 17. № 2. pp. 71-77.

4. ITS 10-2015. Informatsionno-tekhnicheskiiy spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam. Ochistka stochnykh vod s ispol'zovaniem tsentralizovannykh sistem vodootvedeniya poseleniy, gorodskikh okrugov. [Wastewater treatment with the use of centralized Sewerage systems for settlements and urban districts]. URL: docs.cntd.ru/document/1200128670

5. Kosov, V.I., Ivanov V.N. Okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov. Ch.1 Okhrana poverkhnostnykh vod. [Protection and rational use of water resources. Part 1 of the Protection of surface waters]. Tver': Tver. gos. tekhn. un-t, 1995. 124 p.



6. Vishneveckij V.Ju., Popruzhnij V.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2014/2641

7. Petin A. N. Issledovanie malykh vodnykh ob"ektov i ikh ekologicheskogo sostoyaniya [Investigation of small water bodies and their ecological status]. Belgorodskiy gos. nats. issled. un-t. Izd. 2-e, pererab. i dop. Belgorod: NIU "BelGU. 2012. p. 242.

8. EPA/630/R-00/002. Supplementary Guidance for Conducting Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. Risk Assessment Forum. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, 2000, 20460, 209. P. 17.

9. Reshetnyak, O. S. Environmental regulation of the chemical pollution in aquatic ecosystem (Biological aspects). Water Resources, 2016, Vol. 43, № 2, pp. 364–368.

10. Gul'shin I.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2019, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5681