

DOI 10.31891/2307-5732-2020-281-1-57-62

УДК 504.064.3:574:(282.243.7.05)

А.Г. ВАСЕНКО, Е.А. ЦИТЛИШВИЛИ, Ю.В. СВИРИДОВ, В.В. БРУК

Научно-исследовательское учреждение Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, Харьков

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ УКРАИНСКОЙ ЧАСТИ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ

Выполнена оценка влияния сбросов возвратных вод в р. Дунай со стороны Украины на качество речной воды. Оценка производилась по 2-м предложенным критериям: локального и крупномасштабного влияния. Первый критерий основан на оценке загрязненности воды в контрольном створе с учетом разбавления возвратных вод; второй критерий – на оценке отношения массы сбрасываемых веществ к ассимилирующей способности реки. Установлено, что по обоим предложенным критериям максимальное влияние на качество воды в р. Дунай оказывает сброс сточных вод Целлюлозно-картонного комбината (ЦКК) г. Измаил. Предложены мероприятия по уменьшению загрязнения от точечных источников, сточные воды которых содержат высококонцентрированные соединения биогенных элементов и органических веществ.

Ключевые слова: возвратные воды, показатели качества воды, коэффициент загрязненности, кратность разбавления, ассимилирующая способность, иммобилизованный биоценоз, дисковый биореактор.

A. G. VASENKO, K. A. TSYTLISHVILI, YU. V. SVIRIDOV, V. V. BROOK
Ukrainian Research Institute for Environmental Problems (USRIEP), Kharkov, Ukraine

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF POINT SOURCES OF POLLUTION ON THE WATER QUALITY OF THE UKRAINIAN PART OF THE DANUBE DELTA

The purpose of this article is the estimation of the impact on river water quality of the wastewaters discharges from Ukraine into the Danube river. The data of 15 enterprises that discharge return water to the Danube River are given; for 10 enterprises, return water falls into the categories "normatively clean without purification" or "normatively treated". This estimation has been carried out by means of two proposed criteria: local impact (KL) and large-scale impact (KM). As a local criterion the pollution factor in the checkpoint on the distance of 50 m from discharge had been used. For estimation by local criterion the dilution factor and pollutant concentrations in the checkpoints had been calculated. These calculations were based on the mathematical model of the forming of water quality nearby wastewater discharge. As a large-scale criterion the part of the rivers assimilative capability that needs to assimilate pollutions from discharge had been used. It has been determined that by both criteria the maximum impact on Danube river water quality has the Izmail Cellulose-cardboard combine (CCC). By large-scale criterion besides CCC the considerable impact on river water quality has the wastewater discharge from the Kiliia municipal company "Light". The influence of other discharges of return water according to the KL criterion is insignificant due to the high multiplicity of dilution of return water by river waters. The main pollutants in wastewaters of these discharges are organic substances, ammonium nitrogen, nitrites. The measures for additional wastewater cleaning from these pollutants are suggested. These measures are based on using of disk-shaped bioreactor. Such an event can be an environmentally friendly and economically accessible local structure - a disk bioreactor, which is a biological unit of semisubmersible rotating carriers with an immobilized consortium of microbiocenosis.

Keywords: wastewaters, water quality, pollution factor, dilution factor, assimilative capability, immobilize biocenosis, disk-shaped bioreactor.

Введение. Дельта Дуная представляет собой уникальную экологическую систему. Согласно Водной Рамочной Директиве ЕС (Directive 2000/60/ЕС) она относится к водным объектам, для которых необходима особая охрана. На экологическое состояние дельты р. Дунай оказывают влияние различные источники загрязнения, действующие как на территории Украины и Румынии, так и на территории различных стран, расположенных в бассейне Дуная. Поэтому оценка загрязнения речных вод дельты р. Дунай представляет интерес, как на национальном, так и на международном уровне. В первую очередь, это связано с выполнением плана действий Международной Комиссии по защите реки Дунай (International Commission for the Protection of the Danube River – ICPDR) [1]. Целью данной работы является оценка загрязнения речных вод различными точечными источниками загрязнения, расположенными в украинской части дельты р. Дунай, и разработка предложений по ограничению этого загрязнения.

Исходные данные. В качестве исходных данных для оценки влияния точечных источников загрязнения на качество воды в р. Дунай были использованы данные о расходах и составе возвратных вод основных точечных источников загрязнения р. Дунай со стороны Украины согласно форме 2ТП-водхоз за 2018 г. Данные о расходах возвратных вод представлены в табл. 1

Как видно из приведенных в табл. 1 данных, из 15-и предприятий, которые сбрасывают возвратные воды в р. Дунай, для 10-и предприятий возвратные воды относятся к категориям «нормативно чистые без очистки» или «нормативно очищенные». Влияние этих источников загрязнения на качество воды в р. Дунай пренебрежимо мало, и в дальнейшем не рассматривалось. Исключение составляет ЦКК ввиду большого расхода сточных вод и относительно высоких концентраций загрязняющих веществ. Для 5-и предприятий возвратные воды относятся к категориям «загрязненные без очистки» или «недостаточно очищенные». Данные о составе возвратных вод этих предприятий и ЦКК приведены в табл. 2.

Методика исследований. Для оценки влияния сбросов возвратных вод на качество воды в р. Дунай использовались 2 критерия: локального влияния и крупномасштабного влияния, аналогичных предложенным в [2] критериям для оценки влияния точечных источников загрязнения морей. В качестве критерия локального влияния был использован критерий KL, который характеризует загрязненность речных вод в контрольном створе. Данный критерий рассчитывается по формуле:

**Годовые расходы возвратных вод основных точечных источников
загрязнения р. Дунай со стороны Украины**

№ п/п	Название предприятия	Сброшено возвратных вод в 2018 г., млн куб. м				
		Всего	Загрязненных, без очистки	Недостаточно очищенных	Нормативно чистых без очистки	Нормативно очищенных
1.	Целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК), г. Измаил	2,638			0,005	2,633
2.	Килийский судостроительно-судоремонтный завод	0,030	0,030			
3.	ООО "Титан", г. Киля	0,001			0,001	
4.	КП "Свет", г. Киля	0,148		0,148		
5.	СХП Измаильского района	4,421			4,421	
6.	СХП Килийского р-на	14,28	1,666		12,62	
7.	СВК "Маяк", г. Киля	16,87			16,87	
8.	ООО "Голубая нива-2005", г. Киля	0,125			0,125	
9.	ЧАО "Укртрансгаз" с. Новосильське, Ренийского района	0,001				0,001
10.	ООО "Дунай-агро", с. Ст. Некрасовка Измаильского района	0,019			0,019	
11.	ФХ "Крокус", с. Кислица Измаильского района	0,177			0,177	
12.	ЧП "Витязь", г. Киля	0,255	0,255			
13.	ООО СП "Дунай-агро" г. Киля	2,573			2,573	
14.	СВК "Дружба", с. Мирное Килийского района	2,067			2,067	
15.	ООО "Рис Бессарабии", г. Вилково, Килийский район	12,13			12,13	

Таблица 2

**Среднегодовые концентрации веществ в возвратных водах основных точечных источников
загрязнения р. Дунай со стороны Украины**

Показатели качества воды, мг/дм ³	Предприятия				
	Целлюлозно-картонный комбинат, г. Измаил	Килийский судостроительно-судоремонтный завод	КП "Свет" г. Киля	СХП Килийского района	ЧП "Витязь", г. Киля
Азот аммонийный	0,76		13,6		
БПК-5, мгО ₂ /дм ³	3,6		47,6		
Взвешенные вещества	4,8		6,8	44,4	
Нитраты	36,4				
Нитриты	1,14				
Сульфаты	76,1		408	302	
Хлориды	139,4		429	204	
Железо общее		0,4			0,64
Нефтепродукты		0,03			
Фосфаты			1,8		

$$KL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i^{\Gamma ДК}, \quad (1)$$

где n – количество ингредиентов, сбрасываемых в рассматриваемой совокупности выпусков возвратных вод; $K_i^{\Gamma ДК}$ – кратность превышения рыбохозяйственных ПДК для концентраций ингредиентов C_i в контрольном створе сброса возвратных вод. Данная величина определяется по формуле:

$$K_i^{\Gamma ДК} = \begin{cases} \frac{C_i}{ПДК_i}, & \text{при } C_i^0 > ПДК_i, \\ 1 & \text{при } C_i^0 \leq ПДК_i \end{cases}, \quad (2)$$

где C_i^0 – концентрации сбрасываемых веществ в возвратных водах.

Данный показатель аналогичен коэффициенту загрязненности (КЗ) [3, 4] в контрольном створе.

При отсутствии данных измерений концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе в формуле (2) можно использовать расчетные значения концентраций с учетом фоновых концентраций и кратности разбавления в контрольном створе:

$$C_i = \frac{C_i^0 - C_i^\phi}{N_L} + C_i^\phi, \quad (3)$$

где C_i^ϕ – фоновые концентрации веществ, N_L – кратность разбавления возвратных вод речными водами в контрольном створе на расстоянии L от выпуска возвратных вод.

Поскольку рассматриваемые сбросы возвратных вод являются безнапорными, кратность начального разбавления при расчетах принималась равной 1. В этом случае кратность общего разбавления равна кратности основного разбавления. В связи с большой (порядка 500 м) шириной рукава Килийский, в который осуществляется сброс возвратных вод всех рассматриваемых источников загрязнения, для расчета кратности основного разбавления была использована модель, предложенная в [5].

При отсутствии данных измерений концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе в формуле (2) можно использовать расчетные значения концентраций с учетом фоновых концентраций и кратности разбавления в контрольном створе:

$$C_i = \frac{C_i^0 - C_i^\phi}{N_L} + C_i^\phi, \quad (3)$$

где C_i^ϕ – фоновые концентрации веществ, N_L – кратность разбавления возвратных вод речными водами в контрольном створе на расстоянии L от выпуска возвратных вод.

Поскольку рассматриваемые сбросы возвратных вод являются безнапорными, кратность начального разбавления при расчетах принималась равной 1. В этом случае кратность общего разбавления равна кратности основного разбавления. В связи с большой (порядка 500 м) шириной рукава Килийский, в который осуществляется сброс возвратных вод всех рассматриваемых источников загрязнения, для расчета кратности основного разбавления была использована модель, предложенная в [5]. Согласно данной модели кратность основного разбавления N_o рассчитывается согласно следующим формулам:

$$N_o = \frac{\varphi(z_1)}{\gamma_0 z_2} \quad N_o = \frac{\Phi(z_2)}{j_0 z_2}, \quad (4)$$

где

$$z_1 = \frac{L + x_0}{x^*} z_0 = \frac{1 + x_0}{x^* + x_0}, \quad (5)$$

$$z_2 = \frac{Q_c \cdot n_n}{U_c \cdot H_c^2} z_2 = \frac{g \cdot N_H \cdot D_b^{1/2}}{U_H \cdot H_{cp}^2 \cdot D_r^{1/2}}, \quad (6)$$

$$\varphi(Z_1) = \begin{cases} Z_1, & \text{при } Z_1 \leq 1, \\ \sqrt{Z_1}, & \text{при } Z_1 > 1, \end{cases} \quad \Phi(z_2) = \begin{cases} z_2, & \text{при } z_2 \leq 1; \\ (z_2)^{1/2}, & \text{при } z_2 > 1; \end{cases} \quad (7)$$

$$x^* = \frac{U_c \cdot H_c^2}{4\pi D} \quad x^* = \frac{U_H \cdot H_{cp}^2}{4\pi D_d} - x_0, \quad (8)$$

$$x_0 = \begin{cases} Z_2^2 \cdot x^* - L_n, & \text{при } Z_2 \leq 1, \\ Z_2 \cdot x^* - L_n, & \text{при } Z_2 > 1, \end{cases} \quad x_0 = \begin{cases} \frac{g^2 \cdot N_H^2}{4\pi \cdot D_r \cdot U_{н1} \cdot H_{ср}^2} - l_H, & \text{якщо } z_2 < 1; \\ \frac{g \cdot N_H}{4\pi \cdot D_r \cdot D_b} - l_H, & \text{якщо } z_2 \geq 1; \end{cases} \quad (9)$$

$$\gamma_0 = \left[1 + \exp\left(-\frac{U_M \cdot L_0^2}{D \cdot (L + x_0)}\right) \right] \quad (10)$$

где D – коэффициент турбулентной диффузии;
 H_c – средняя глубина;
 U_c – средняя скорость течения в районе выпуска;
 Q_c – расход возвратных вод;
 n_n – кратность начального разбавления; если начальное разбавление не учитывается, то эта величина равная 1;
 L_n – расстояние до границы зоны начального разбавления; если начальное разбавление не учитывается, то эта величина равняется нулю;
 L_0 – расстояние от места выпуска возвратных вод до ближайшего берега;
 L – расстояние от места выпуска возвратных вод до контрольного створа;
 γ_0 – параметр, учитывающий влияние ближайшего берега на кратность основного разбавления,
 x_0 – параметр соединения начального участка разбавления с основным участком;
 x^* – параметр соединения участка двумерной диффузии с участком трехмерной диффузии.

Для оценки крупномасштабного влияния сбросов возвратных вод на качество речных вод предлагается использовать критерий *КМ*, характеризующий среднюю долю ассимилирующей способности водотока, в который осуществляется сброс возвратных вод, расходуемую на ассимиляцию загрязняющих веществ от данного источника. Здесь предполагается усреднение расходуемой доли ассимилирующей емкости по всем загрязняющим веществам, сбрасываемым рассматриваемой совокупностью источников загрязнения.

Ассимилирующая способность водного объекта – это способность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения норм качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования [6]. Поэтому для расчетов критерия крупномасштабного влияния сбросов возвратных вод на речную систему можно применить простую модель, согласно которой ассимилирующая способность водотока по некоторому веществу рассчитывается по формуле

$$AC_i = (ПДК_i - C_i^\phi) \cdot Q_p, \quad (4)$$

где Q_p – расход речных вод, AC_i – ассимилирующая способность водотока по некоторому веществу. С учетом принятой модели для расчета критерия используется следующая формула:

$$KM = \frac{1}{n \cdot Q_p} \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{(ПДК_i - C_i^\phi)}. \quad (5)$$

где M_i – годовые массы сброса веществ с возвратными водами.

Результаты исследований. В качестве контрольного створа при оценке влияния сбросов возвратных вод согласно критерию (1) был выбран контрольный створ на расстоянии 50 м от выпуска. Результаты расчетов критериев влияния сбросов возвратных вод на качество речной воды представлены в табл. 3.

Как видно из представленных в табл. 3 результатов расчета, как по локальному, так и по крупномасштабному критериям влияния основным источником загрязнения воды р. Дунай со стороны Украины является сброс сточных вод ЦКК. По локальному критерию влияние остальных источников загрязнения является несущественным, так как в контрольном створе значения всех показателей не превышают ПДК либо превышают фон не более, чем на 5%. Повышенное значение критерия *KL* ($KL > 1$) контрольном створе ЦКК связано с высокой фоновой концентрацией нитритов (0,86ПДК), что обуславливает низкое разбавление сточных вод по данному показателю. Концентрация нитритов в контрольном створе на расстоянии 50 м от выпуска превышает ПДК более чем на 10% (рис. 1).

По критерию крупномасштабного влияния существенное влияние, кроме сброса сточных вод ЦКК, оказывают также сброс сточных вод КП «Свет» г. Килия и сброс коллекторно-дренажных вод СХП Килийского района. Влияние КП «Свет» обусловлено относительно высокими концентрациями в сточных водах азота аммонийного, органических веществ (по БПК-5), хлоридов и сульфатов; влияние сброса коллекторно-дренажных вод СХП Килийского района – хлоридов и сульфатов. Однако вследствие высоко разбавления возвратных вод речными водами влияния данных источников загрязнения согласно локальному критерию является несущественным.

Оценка локального (KL) и крупномасштабного (KM) воздействия сбросов возвратных вод на качество речной воды р. Дунай

Критерии оценки воздействия	Предприятия				
	Целлюлозно-картонный комбинат, г.Измаил	Килийский судостроительно-судоремонтный завод	КП "Свет" г. Килия	СХП Килийского района	ЧП "Витязь", г. Килия
KL	1,02	1	1	1	1
KM, %	0,028	0,00006	0,00140	0,00115	0,00085

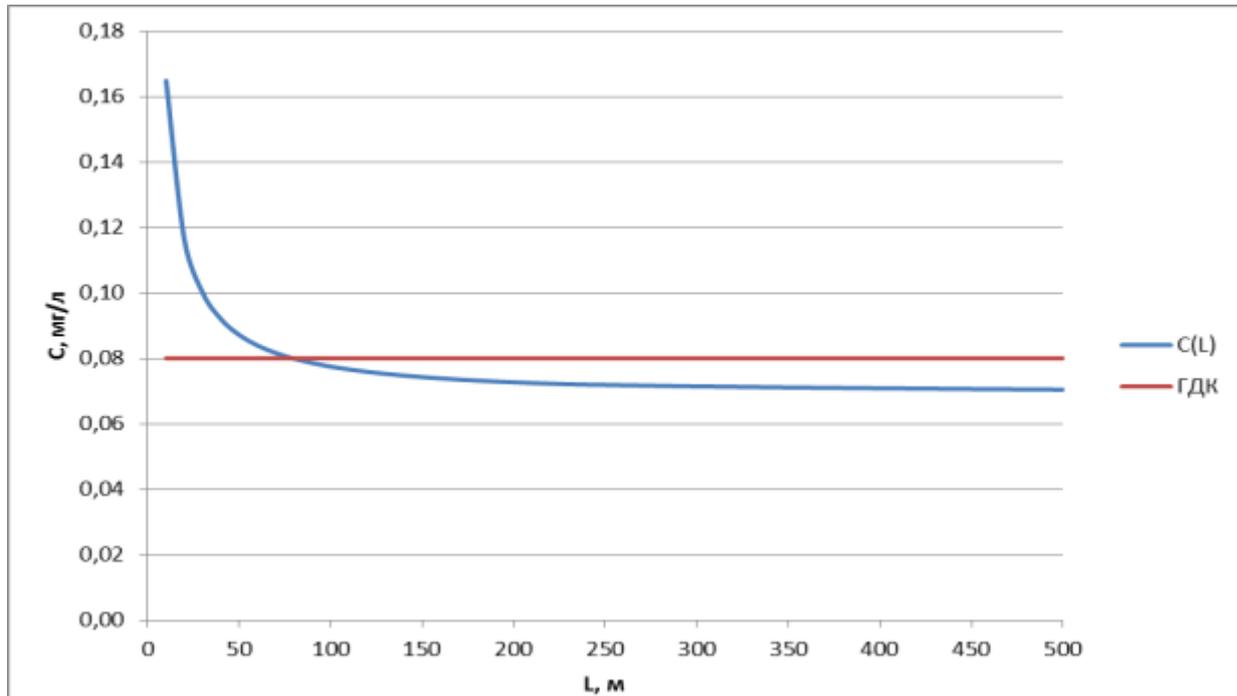


Рис. 1. Зависимость концентрации нитритов в р. Дунай $C(L)$ от расстояния от выпуска сточных вод ЦКК (L)

Для уменьшения влияния сбросов сточных вод представляется целесообразным организация мероприятий по дополнительной очистке сточных вод. В первую очередь это касается КП «Свет» г. Килия, где в настоящее время отсутствует биологическая очистка. Таким мероприятием может выступать экологически безопасное и экономически доступное локальное сооружение – дисковый биореактор, который представляет собой биологический блок полупогружных вращающихся носителей с иммобилизованным консорциумом микробиоценоза [7]. За счет использования иммобилизованного биоценоза, который трансформирует органические и неорганические соединения азота и может включать аммонификаторы, аммонийокисляющие археи (АОА), нитрификаторы I и II фазы (НОБ), аэротокс-бактерии и денитрифицирующие микроорганизмы [8], реактор может очищать сточные воды с высокими концентрациями загрязняющих веществ, при этом активный ил не выносится из сооружения, в отличие от сооружений со свободно плавающим биоценозом.

Простота конструкции и эксплуатации, а также проведение полного цикла очистки сточных вод от органических веществ и соединений азота в одной емкости, является экономным вариантом сооружений.

В результате очистки сточных вод в биореакторе эффективность удаления аммонийного азота составляет 98,9%, общего азота – 74–83%, фосфатов – 43–50%, органических веществ по ХПК – до 98%.

Предложенная технология может быть применена для локальной очистки сточных вод, содержащих высокие концентрации минеральных форм азота и фосфора, на предприятиях средней и малой мощности (до 100 м³/сут), например, пищевой, химической, сельскохозяйственной промышленности [9].

Выводы

1. По критерию локального влияния на качество воды в р. Дунай основным источником загрязнения со стороны Украины является сброс сточных вод ЦКК г. Измаил. Влияние данного сброса является существенным, однако незначительным; коэффициент загрязненности в контрольном створе на расстоянии 50 м от выпуска составляет 1,02. Повышенное значение критерия KL ($KL > 1$) в контрольном створе ЦКК связано с высокой фоновой концентрацией нитритов. Концентрация нитритов в контрольном створе на расстоянии 50 м от выпуска превышает ПДК более, чем на 10%.

2. Влияние остальных источников загрязнения по локальному критерию является несущественным

вследствие высоко разбавления возвратных вод речными водами; коэффициент загрязненности в контрольном створе равен 1.

3. По критерию крупномасштабного влияния существенное влияние, кроме сброса сточных вод ЦКК, оказывают также сброс сточных вод КП «Свет» г. Килия и сброс коллекторно-дренажных вод СХП Килийского района. Влияние КП «Свет» обусловлено относительно высокими концентрациями в сточных водах азота аммонийного, органических веществ (по БПК-5), хлоридов и сульфатов; влияние сброса коллекторно-дренажных вод СХП Килийского района – хлоридов и сульфатов.

4. Рекомендованы мероприятия для точечных источников загрязнения по локальной очистке сточных вод, содержащих высокие концентрации соединений азота, фосфора и растворенных органических веществ по ХПК. В их роли могут выступать дисковые биореакторы с иммобилизованным микробиоценозом.

Литература

1. Water Quality in the Danube River Basin – 2006, ed. I. Liška. ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River. TNMN – Yearbook: Vienna, 2006. 39 p.

2. Кресін В. С. Критерії оцінки впливу точкових джерел забруднення на стан морського середовища Азовського моря / В. С. Кресін, В. В. Брук, В. О. Баранік // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки : зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. – Х. : Факт, 2004. С. 66–78.

3. Utkina K., Kresin V., Brook V., Lisnyak A. Integrated criteria for ranking Black Sea land-based point pollution sources. *Folia geographica*. 2017. Volume 59, No. 2. P. 35–49.

4. КНД 211.1.1.106-2003. Організація та здійснення спостережень за забрудненням поверхневих вод (в системі Мінекоресурсів). – Київ : Мінекоресурсів України, 2003. – 64 с.

5. Белогуров В.П. Применение коэффициента загрязненности для оценки состояния водных объектов / В.П. Белогуров, В.Ю. Бакланова // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 1/4(21). – С. 17–19.

6. Баранник В. А. Расчет локального влияния сосредоточенного выпуска сточных вод на качество воды водоема / В. А. Баранник, В. С. Кресин // Водоохранные комплексы речных бассейнов : сб. научн. тр. – Харьков : ВНИИВО. 1985. – С. 101–106.

7. Словник нормативних термінів і визначень у галузі охорони і використання вод. – Х. : УкрНЦОВ, 1992. – 92 с.

8. Matsak A., Tsytlivshvili K., Rybalova O. Method of agricultural sewage water purification at troughsand a biosorption bioreactor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. (95). p. 16–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144138. ISSN 1729-3774 5/10

9. Каллистова А. Ю. Роль анаммокс-бактерий в очистке сточных вод от соединений азота / А. Ю. Каллистова, А. Г. Дорофеев, Ю. А. Николаев, М. Н. Козлов // Микробиология. – 2016. – Том 85, № 2. – С. 126–144.

10. Шувалов Р.М. Результаты сравнения технологических показателей при выборе типа биореактора для очистки сточных вод малых населенных пунктов / Р.М. Шувалов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 88–96.

References

1. Water Quality in the Danube River Basin – 2006, ed. I. Liška. ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River. TNMN – Yearbook: Vienna, 2006. 39 p.

2. Kresin V. S. Kryterii otsinky vplyvu tochkovykh dzherel zabrudnennia na stan morskoho seredovyscha Azovskoho moria / V. S. Kresin, V. V. Bruk, V. O. Baranik // Problemy okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ekolohichnoi bezpeky : zb. nauk. pr. / UkrNDIEP. – Kh. : Fakt, 2004. S. 66–78.

3. Utkina K., Kresin V., Brook V., Lisnyak A. Integrated criteria for ranking Black Sea land-based point pollution sources. *Folia geographica*. 2017. Volume 59, No. 2. P. 35–49.

4. KND 211.1.1.106-2003. Orhanizatsiia ta zdiisnennia sposterezhen za zabrudnenniam poverkhnevnykh vod (v systemi Minekoresursiv). – Kyiv : Minekoresursiv Ukrainy, 2003. – 64 s.

5. Belogurov V.P. Primenenie koefficienta zagryaznennosti dlya ocenki sostoyaniya vodnykh obektov / V.P. Belogurov, V.Yu. Baklanova // Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva. – 2015. – № 1/4(21). – S. 17–19.

6. Barannik V. A. Raschet lokalnogo vliyaniya sosredotochennogo vypuska stochnykh vod na kachestvo vody vodoema / V. A. Barannik, V. S. Kresin // Vodoohrannnye komplekсы rechnykh bassejnov : sb. nauchn. tr. – Harkov : VNIIVO. 1985. – S. 101–106.

7. Slovnyk normatyvnykh terminiv i vyznachen u haluzi okhorony i vykorystannia vod. – Kh. : UkrNTsOV, 1992. – 92 s.

8. Matsak A., Tsytlivshvili K., Rybalova O. Method of agricultural sewage water purification at troughsand a biosorption bioreactor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. (95). p. 16–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144138. ISSN 1729-3774 5/10

9. Kallistova A. Yu. Rol anammoks-bakterij v oclitke stochnykh vod ot soedinenij azota / A. Yu. Kallistova, A. G. Dorofeev, Yu. A. Nikolaev, M. N. Kozlov // Mikrobiologiya. – 2016. – Tom 85, № 2. – S. 126–144.

10. Shuvalov R.M. Rezultaty sravneniya tehnologicheskikh pokazatelej pri vybore tipa bioreaktora dlya oclitki stochnykh vod malyh naselennykh punktov / R.M. Shuvalov // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arhitektura. – 2011. – № 2. – S. 88–96.

Рецензія/Peer review : 4.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.1.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією