

УДК: 574

© **Абрамова Е. А.**

## **ОЦЕНКА УРОВНЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА БАССЕЙН РЕКИ ОКИ В ПРЕДЕЛАХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Аннотация.* Наблюдение за качеством природных вод вызывает необходимость выявления количества сброшенных сточных вод и содержащихся в них загрязняющих веществ. На основе данных о сбросах загрязнённых сточных вод, с помощью математического аппарата, произведена оценка антропогенной нагрузки на водотоки бассейна реки Оки в пределах Московской области. Согласно полученным данным, общее состояние бассейна реки характеризуется как «удовлетворительное». Из всех притоков Оки река Москва отличается очень большой антропогенной нагрузкой, что подтверждается используемыми методами оценки.

*Ключевые слова:* антропогенная нагрузка, бассейн реки, сточные воды, загрязняющие вещества, экологическое состояние, функция желательности.

© **E. Abramova**

## **THE ESTIMATION OF THE LEVEL OF ANTHROPOGIC LOADING ON THE OKA BASIN WITHIN MOSCOW REGION**

*Abstract.* Water quality monitoring causes for identifying the number of discharged aqueous waters and contained contaminants. Based on data of dirty discharge by using mathematical formulas the anthropogenic impact on the watercourse of Oka basin within Moscow Region was estimated. According to the obtained data the condition of the river basin is characterized as satisfactory. From all the tributaries of the Oka basin, the Moskva River has a very high anthropogenic loading, which is confirmed by the methods of estimation.

*Key words:* anthropogenic loading, river basin, aqueous water, pollutant, ecology condition, desirable function.

По территории Московской области протекает крупная река Ока со множеством притоков, являющаяся объектом активного хозяйственного пользования. В столичном регионе сосредоточено большое количество предприятий различных отраслей промышленности, в том числе и предприятий агропромышленного комплекса. Реки области постоянно испытывают на себе активную антропогенную нагрузку, которая формируется за счет водопотребления и водоотведения, а также попадания в поверхностные водные объекты бассейна Оки сточных вод с загрязняющими веществами. В связи с этим возникает необходимость оценки антропогенной нагрузки на водные объекты бассейна реки Оки в пределах Московской области.

В работах отечественных экологов, посвящённых оценке антропогенной нагрузки на ту или иную территорию, всё большее применение находят два метода. Первый из них можно условно назвать «методом средневзвешенного», а второй – представляет собой применение обобщённой функции желательности Харрингтона [4, 109-114; 6, 131-132; 8, 11].

В частности в данной работе произведена оценка уровня антропогенной нагрузки сточными водами и по массе сброса загрязняющих веществ. В основу проведённых исследований положены данные за 2007 г. [3, 5-153, 200-246; 10, 15-37]. Работа выполнялась в следующем

порядке. В первую очередь был установлен перечень притоков Оки, являющихся приёмниками сточных вод и загрязняющих веществ. В соответствии с перечнем бассейн реки Оки в пределах Московского региона разделён на 12 подбассейнов, используемых в целях водоотведения: рр.Протва, Нара, Лопасня, Каширка, Москва, Цна, Пра, Клязьма, Мутёнка, Осётр, Вобля, Вожжа. В Московском столичном регионе наиболее крупными водотоками являются рр. Ока, Клязьма, Москва. Остальные притоки Оки относятся к малым рекам. Ока расположена в южной части региона, а в районе г. Коломны принимает воды реки Москвы. Реки Клязьма и Пра впадают в Оку за пределами Московской области, при этом принимая в верхнем течении сточные воды промышленных предприятий и объектов жилищно-коммунального хозяйства столичного региона. Установлены гидрографические характеристики водотоков (подбассейнов Оки); выполнены расчеты по определению необходимых гидрографических параметров с использованием математического аппарата. Гидрографо-гидрологические параметры водных объектов – приёмников сточных вод, в случае отсутствия данных (длина, площадь бассейна, годовой сток), оцениваются по следующим формулам [2, 28-29]:

$$S = k L^n \quad (S = 0,95 L^{1,57}; S = 0,57 L^{1,8}) - \quad (1)$$

площадь водосбора при данной длине реки;

$$W = 0,02 L^{1,78} \quad \text{и} \quad W = 0,02 S^{1,15} - \quad (2)$$

годовой сток при данных длине и площади бассейна.

Сбор информации о сбросах загрязнённых сточных вод проведён по данным формы 2 ТП (водхоз) [3]. Полученные гидрографо-гидрологические характеристики и данные по сбросу загрязнённых сточных вод позволили перейти к расчёту коэффициентов нагрузки сточными водами на водотоки, подбассейны и бассейн Оки в целом по Московской области. Нагрузка водного объекта – это величина, равная отношению объема сточных вод, сбрасываемых в водоток, к среднегодовому стоку реки в данном створе [1, 4-15]:

$$k_i = q_i / W_i, \quad (3)$$

где:  $q_i = \sum q_j$  – суммарный объём сточных вод в данный водоток, а  $j = 1, 2, \dots, n$  – номера водотоков данного бассейна (подбассейна);  $q_j$  – объём сточных вод, сбрасываемых в водоток  $j$ -м источником, а  $W_i$  – среднегодовой сток.

Коэффициент нагрузки загрязнёнными сточными водами на подбассейн вычисляется как средневзвешенное:

$$K = \sum a_i k_i / \sum a_i \quad (4)$$

где:  $k_i$  – коэффициент нагрузки сточными водами на  $i$ -й водоток (3), входящий в подбассейн или бассейн, а  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го водотока ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ). Так как вклад загрязнённых сточных вод в загрязнение водотока снижается при разбавлении, то есть при увеличении водного стока  $W$ , который, в свою очередь, линейно зависит от площади водосбора речного водотока (бассейна), в качестве весового коэффициента берётся величина, обратная площади водосбора водотока (подбассейна), а именно:

$$a_i = 1/S_i, \quad (5)$$

где:  $S_i$  – площадь водосбора, поэтому формула (4) учитывает экологическую ёмкость бассейна [5, 122-125].

После выполнения всех расчетов на основе табл. 1 проводится оценка экологического состояния по степени нагрузки сточными водами. Градации характеристики нагрузки и поддиапазоны шкалы значений коэффициента нагрузки сточными водами выбраны по Харрингтону [8, 11] и преобразованы согласно поставленной задаче. Соответственно при зонировании территории используется цветовая гамма от светлого до тёмно-серого (чёрного) тона, отвечающая табл. 1.

Таблица 1

**Градации характеристики нагрузки**

Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Коэффициент нагрузки сточными водами на речной подбассейн	
	Значение	Характеристика нагрузки
1	0,00 – 0,20	Очень слабая
2	0,20 – 0,34	Слабая
3	0,34 – 0,63	Умеренная
4	0,63 – 0,80	Значительная
5	0,80 – 1,00	Большая
6	> 1	Очень большая

Полученные данные о гидролого-гидрографических характеристиках и коэффициентах нагрузки на подбассейны реки Оки фиксируются в табл. 2.

Таблица 2

**Оценка нагрузки загрязнёнными сточными водами на водотоки бассейна реки Оки в пределах Московской области**

Водоток	Длина реки <i>l</i> км	Площадь бассейна <i>S</i> км <sup>2</sup>	Годовой сток <i>W<sub>i</sub></i> 10 <sup>+6</sup> м <sup>3</sup> /год	Объём сточных вод <i>Q</i> 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /год	Коэфф. нагрузки <i>k<sub>i</sub></i>	Категория	Коэфф. нагрузки бассейна
Протва	282	4620	459,70	38,2	0,08	1	
Нара	156	2030	160,25	38,9	0,24	2	
Лопасня	109	1501	84,65	15,5	0,18	1	
Каширка	68	716	36,55	11,7	0,32	2	
Москва	496	17600	1255,99	3500,0	2,79	6	
Цна	100	1311	72,62	13,9	0,19	1	
Пра	167	3400	180,91	4,0	0,02	1	
Клязьма	686	42500	2237,11	443,7	0,20	2	
Мутёнка	18	132	3,43	0,34	0,10	1	
Осётр	228	3480	314,89	13,4	0,04	1	
Вобля	29	229	8,02	3,9	0,49	3	
Вожжа	103	1374	76,54	2,7	0,04	1	
Ока							0,34

Проведённый анализ полученных характеристик свидетельствует о том, что в среднем по бассейну Оки в пределах Московской области нагрузка общим объемом сточных вод оценивается показателем 0,34 – умеренная, 3 категория. Подбассейны рр. Протва, Лопасня, Цна, Пра, Мутёнка, Осётр, Вожжа характеризуются «очень слабой» нагрузкой – значение коэффициента нагрузки в пределах 0,08 – 0,18. Общее водоотведение учтённых водопользователей в вышеперечисленные водотоки не превышает среднегодовой объём стока. Нагрузка сточными водами на реку Протву приходится со стороны рек Мжут, Межиха, Луза, гг. Обнинск, Жуков, Протвино и пос. Белоусово.

Ко второй категории по степени нагрузки сточными водами со значениями коэффициентов 0,24-0,32 («слабая нагрузка») относятся подбассейны рек Нара, Каширка. Сброс сточных вод по бассейну реки Нара осуществляется в пределах гг. Наро-Фоминск, Серпухов, пос. Нарский и приток Нары реку Истья. Подбассейн реки Вобля относится к 3 категории по степени нагрузки – «умеренная нагрузка»; годовой объём сточных вод составляет почти половину среднегодового стока Вобли.

От всех вышерассмотренных подбассейнов отличается бассейн реки Москвы «очень большой» нагрузкой (коэффициент нагрузки составляет 2,79) вследствие влияния Московской городской агломерации и других крупных городов с развитой промышленностью, расположенных на берегах реки. Общий объём сточных вод, отводимых в реку Москву и её притоки, превышает среднегодовой сток.

Оценка уровня нагрузки сточными водами является нужной, но неполной характеристикой. Данные о массе веществ, сбрасываемых в водотоки вместе со сточными водами, позволяют рассчитывать нагрузку загрязняющими веществами. Оценка уровня антропогенной нагрузки по массе сброса загрязняющих веществ проводилась с помощью функции желательности [4, 109-114; 6, 129-138; 8, 11-19]. Для выполнения расчётов собраны данные о массе загрязняющих веществ, сбрасываемых в водотоки со сточными водами, использованы данные 2 ТП (водхоз), а также полученные гидрографо-гидрологические характеристики водотоков. Нагрузка оценивалась по приоритетным загрязнителям бассейна, подлежащим обязательному учёту [7, 12-18; 10].

Как таковые функции желательности представляют собой лишь способ перевода натуральных значений тех или иных показателей в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами. При этом крайние значения функции (наиболее употребляемые 0-1) соответствуют градациям «плохо» – «хорошо», а промежуточные значения могут быть заявлены в вариантах данных терминов («хуже» – «лучше»). Применение функции желательности заключается в удобной форме предоставления переменных, делающих их легко интерпретируемыми. Расчёт проводится в следующем порядке:

а) вычисляются частные значения функции желательности:

$$d_i = 2x_i x_{\min} / (x_i^2 + x_{\min}^2); \quad (6)$$

б) учитывается класс опасности загрязняющих веществ:  $\alpha = 1/1; 1/2; 1/3; 1/4$  (для веществ 1 класса опасности  $\alpha = 1/1 = 1$ ; для веществ 2 класса опасности  $\alpha = 1/2$ ; для веществ 3 класса опасности  $\alpha = 1/3$ ; для веществ 4 класса опасности  $\alpha = 1/4$ ) [9, 155-158];

в) вычисляется обобщённое значение функции желательности в качестве среднегеометрического значения:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i^{\alpha_i}} = \sqrt[n]{d_1^{\alpha_1} \cdot d_2^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot d_n^{\alpha_n}} \quad (7)$$

где:  $d_i$  – частная функция желательности,  $n$  – число показателей; для разных водотоков оно различно в самих первоисточниках. Весовой коэффициент  $\alpha_m$  – учитывает вклад частной функции желательности.

Применение формулы  $d_i = 2x_i x_{\min} / (x_i^2 + x_{\min}^2)$  для расчета частной функции желательности удобно в тех случаях, когда увеличение натурального показателя  $x_i$  является нежелательным (например, масса загрязняющих веществ). Для расчета удобно использовать метод количественных оценок с интервалом значений желательности  $d$  от нуля до единицы. В идеале при благополучном экологическом состоянии водотока величина  $D$  должна быть равна 1, а если хотя бы одна из величин  $d_i$  окажется равной 0, очевидно, что и  $D = 0$ .

**Градации характеристики нагрузки по значению функции желательности [8, 12]**

Базовые отметки шкалы желательности	
Значение	Характеристика нагрузки
0,00 – 0,20	Очень плохо
0,20 – 0,37	Плохо
0,37 – 0,63	Удовлетворительно
0,63 – 0,80	Хорошо
0,80 – 1,00	Очень хорошо

В соответствии с полученным значением  $D$  по табл. 3 определяется характеристика нагрузки, и все полученные данные анализируются. В табл. 3 указаны базовые отметки шкалы желательности; данная градация применима как к частным функциям желательности, так и к обобщённым показателям.

Расчёты проводились по 11 загрязняющим веществам (азоту аммонийному, нитритам, железу, нефтепродуктам, цинку, общему фосфору, фенолам, марганцу, меди, взвешенным веществам, БПК), определённых Росгидрометом в результате многолетних наблюдений за состоянием поверхностных вод рек Оки и Москвы в Московской области, данные о сбросах которых содержатся в отчёте 2 ТП (водхоз) [3,5-153, 200-246]. Расчёт нагрузки по реке Мутёнке не проводился в связи с отсутствием данных о сбросах загрязняющих веществ.

По полученным значениям обобщённой функции желательности (табл. 4) выполнен анализ степени нагрузки на водотоки бассейна Оки, исходя из которого, можно сделать вывод о том, что общее экологическое состояние подбассейнов рек Цна, Пра, Вобля – «очень хорошее». Нагрузка загрязняющими веществами не очень большая на подбассейны рек Нара, Лопасня, Осётр и характеризуется общим состоянием бассейнов «хорошо». Однако в нижних течениях данных рек экологическое состояние ухудшается в связи с повышенной нагрузкой со стороны крупных городов с развитой промышленностью и активным сельскохозяйственным использованием земель. Бассейны рек Москвы и Клязьмы выделяются характером нагрузки «очень плохо» и «плохо». Основным загрязнителем водотоков бассейна реки Москвы является Московская городская столичная агломерация, сточные воды которой резко ухудшают качество воды реки Москвы, а следовательно, и Оки. По суммарному показателю водоотведения и сброса приоритетных загрязняющих веществ (нефтепродукты, аммонийный азот, фосфор общий, нитриты, взвешенные вещества, органические вещества) наиболее подвержены загрязнению рр. Москва, Клязьма, Протва, Каширка, Лопасня. Несмотря на работу очистных сооружений, остаётся высоким сброс в поверхностные водные объекты сточных вод без очистки или недостаточно очищенных от загрязняющих веществ. Основная причина заключается в неудовлетворительном состоянии существующих очистных сооружений, которые не обеспечивают нормативную степень очистки [7, 115].

**Оценка нагрузки загрязняющими веществами водотоков бассейна реки Оки  
в пределах Московской области**

№	Водоток	Обобщённая функция желательности	
		Значение (D)	Характеристика
1	Протва	0,57	Удовлетворительно
2	Нара	0,64	Хорошо
3	Лопасня	0,76	Хорошо
4	Каширка	0,59	Удовлетворительно
5	Москва	0,20	Очень плохо
6	Цна	0,87	Очень хорошо
7	Пра	0,82	Очень хорошо
8	Клязьма	0,35	Плохо
9	Осётр	0,75	Хорошо
10	Вобля	0,95	Очень хорошо

Таким образом, применение метода «средневзвешенного» удобно для оценки нагрузки на какой-либо речной бассейн загрязненными сточными водами. Его использование обусловлено тем фактом, что между нагрузками на территорию водосбора и показателями, определяющими состояние водной экосистемы, просматривается тесная связь. Следует отметить простоту и доступность данного метода, поскольку гидрографические и гидрологические характеристики водных объектов, являющихся приёмниками сточных вод, либо имеются в справочной литературе, либо определяются с помощью математического аппарата. Данный метод допускает дифференцированный подход в оценке антропогенной нагрузки на речной бассейн в случае, когда имеются сведения о количестве очищенных, плохо очищенных и неочищенных сбросов. Как показывают результаты такой оценки, приведенные в табл. 2, состояние Окского бассейна в целом можно считать удовлетворительным. Однако катастрофическая нагрузка на бассейн реки Москвы требует, очевидно, детального изучения этого бассейна на предмет оценки экологического состояния данного региона.

При применении функция желательности предоставляет возможность оценить характер антропогенного влияния на поверхностные воды, опираясь на любые натуральные показатели. В настоящее время употребительны функции желательности от самых элементарных до функций Харрингтона. Их появлением экологические науки обязаны теории нечётких множеств. Все они представляют собой способ перевода натуральных значений тех или иных показателей в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами. Для данной работы наиболее приемлемый вид частной функции желательности (6) и её обобщённый вид (7).

Результаты проведённого анализа уровня нагрузки загрязнёнными сточными водами могут быть использованы как исходные данные для более углублённого изучения экологического состояния рек Московской области и в качестве исходных данных при определении нормативов допустимого воздействия на речную систему.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Абросимова Э.В., Антонов П.И., Буркова Т. н., Розенберг Г.С. Ресурсы экосистем Волжского бассейна: в 2-х т. / Отв. ред. Г.С. Розенберг и С.В. Саксонов. Тольятти: ИЭВБ РАН; «Кассандра», 2008. Т.1. Водные экосистемы.
2. Алексеев В.Г. Основы гидрологии: Учебное пособие для ВУЗов. Красноярск: РИО СибГТУ, 2001.
3. Альбом обобщённых данных использования вод по зоне деятельности Московс-

ко-Окского бассейнового водного управления по форме «2ТП (водхоз)» за 2007. Москва: ФГВУ «Центррегионводхоз», Федеральное агентство водных ресурсов, МОБВУ, 2008.

4. Булгаков Н.Г., Максимов В.Н., Левич А.П. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИА-Природа, 2004.

5. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеиздат, 1988.

6. Гелашвили Д.Б., Королёв А.А., Басуров В.А. Зонирование территории по степени антропогенной нагрузки сточными водами с помощью обобщённой функции желательности (на примере Нижегородской области) // Поволжский экологический журнал. № 2/3.

7. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы /Под ред. Т.В. Гусевой. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007.

8. Использование функции желательности Харрингтона при решении оптимизации задач химической технологии: Учебно-методическое пособие /Сост. С.Л. Ахназаров, Л.С. Гордеев. М.: Российский университет им. Д.И. Менделеева, 2003.

9. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. М.: Наука, 2005. Кн 1. 2005.

10. Отчёт о проведении работ по Программе наблюдений за состоянием водных объектов в зоне деятельности ФГВУ «Центррегионводхоз» за 2007 г. М.: Федеральное агентство водных ресурсов, ФГВУ «Центррегионводхоз», 2008.