

ЭКОТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ОТ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД В РЕКИ

Селезнева А.В., Селезнев В.А.

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского
бассейна РАН, г. Тольятти, Россия
e-mail: seleznev53@mail.ru

Ключевые слова: река, антропогенная нагрузка, точечные источники, водный сток, региональные особенности, методика расчета.

Сброс сточных вод в реки оказывает негативное влияние на качество водных ресурсов. Существующие способы оценки антропогенной нагрузки от сброса сточных вод в реки не позволяют сравнивать между собой и ранжировать по степени нагрузки реки, отличающиеся по величине водосборной площади и расположенные в различных природных зонах. Автором разработана экологическая технология определения антропогенной нагрузки на реки от сброса загрязняющих веществ, которая учитывает водность рек и бассейновые особенности формирования качества водных ресурсов. Предлагаемый способ оценки позволяет определять интегральную и дифференцированную нагрузки по приоритетным загрязняющим веществам. Технология позволяет разложить нагрузку по отдельным составляющим (азотная, фосфорная, сульфатная, хлоридная и т.п.), провести нормирование нагрузки с учетом качества речных вод и оценивать приоритетность конкретных загрязняющих веществ. Технология апробирована на 12 реках России, расположенных в различных природно-климатических условиях и имеющих широкий диапазон величин водного стока от 10 до 600 км³/год. Результаты расчетов показали, что р. Волга испытывает наибольшую антропогенную нагрузку от сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод. Поэтому, в первую очередь, для р. Волги необходимо разрабатывать бассейновую программу поэтапного снижения антропогенной нагрузки и механизмы ее реализации.

ECOTECHNOLOGY FOR DETERMINING ANTHROPOGENIC LOAD CAUSED BY WASTE WATER DISCHARGE TO RIVERS

Selezneva A.V., Seleznev V.A.

Samara Federal Research Center RAS, Institute of Ecology of the Volga Basin RAS
e-mail: seleznev53@mail.ru

Keywords: rivers, anthropogenic load, point sources, water flow, regional features, calculation method.

The discharge of wastewater into rivers has a negative impact on the quality of water resources. The existing methods for assessing the anthropogenic load from wastewater discharge into rivers do not allow one to compare and rank according to the degree of load rivers that differ in the size of the catchment area and are located in different natural zones. The author has developed an ecological technology for determining the anthropogenic load on rivers from the discharge of pollutants, which takes into account the water content of rivers and basin features of the formation of the quality of water resources. The proposed assessment method allows one to determine the integral and differentiated load for priority pollutants. The technology makes it possible to decompose the load into separate components (nitrogen, phosphoric, sulfate, chloride, etc.), to standardize the load taking into account the quality of river waters and to assess the priority of specific pollutants. The technology has been tested on 12 rivers in Russia, located in different natural and climatic conditions and having a wide range of water flow values from 10 to 600 km³ /

year. The calculation results showed that the Volga River is experiencing the greatest anthropogenic load from discharge of pollutants as components of wastewater. Therefore, first of all for the Volga River it is necessary to develop a basin program for the gradual reduction of anthropogenic load and mechanisms for its implementation.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство рек на территории России испытывают чрезмерную антропогенную нагрузку и характеризуются неудовлетворительным качеством воды по ряду показателей [1, 2]. Наиболее неблагоприятная экологическая ситуация складывается на участках рек, расположенных на урбанизированных территориях. При этом, многие реки являются источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также используются для рыбного хозяйства и рекреации.

Одна из основных причин сложившейся ситуации – негативное воздействие точечных источников загрязнения или сброс в реки сточных вод, содержащих загрязняющие вещества. В настоящее время объем сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты России, оценивается в $40,1 \text{ км}^3/\text{год}$. Вместе со сточными водами в реки поступает около 11×10^6 тонн загрязняющих веществ. Большая часть этой массы приходится на следующие загрязняющие вещества: хлориды – $6,3 \times 10^6$ т, сульфаты – $1,7 \times 10^6$ т, БПК – $131,9 \times 10^3$ т, азот аммонийный – $51,0 \times 10^3$ т, железа – $3,0 \times 10^3$ т, нефтепродуктов – $2,7 \times 10^3$ т, цинка – 213,9 т, меди – 27,0 т, фенолов – 21,2 т [3].

По территории России сбросы сточных вод распределены крайне неравномерно, а реки отличаются размерами водосборных территорий и геохимическими особенностями формирования качества вод. Для ранжирования рек по степени антропогенной нагрузки необходимы новые методологические подходы. Поэтому целью данной работы является разработка технологии, с помощью которой можно было бы сравнивать между собой реки по степени антропогенной нагрузки в независимости от площади бассейна и его расположения в различных географических зонах на территории России.

Количественная оценка антропогенной нагрузки на реки от сброса сточных вод является необходимым элементом при развитии системы мониторинга и управления качеством воды. Без детального изучения антропогенной нагрузки от точечных источников загрязнения невозможно выявление связей между массой сбрасываемых загрязняющих веществ в составе сточных вод и концентрациями химических веществ в воде водотоков. Кроме того, количественная оценка антропогенной нагрузки необходима при нормировании допустимого воздействия на реки, при разработке федеральных и региональных программ поэтапного снижения сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод в реки – это один из видов антропогенной деятельности, который оказывает негативное влияние на качество природных вод [4]. Однако вид хозяйственной деятельности еще не является количественной оценкой антропогенной нагрузки. Для того чтобы определить величину нагрузки, необходимо сброс загрязняющих веществ связать с объектом воздействия посредством учета гидрологических и гидрохимических характеристик рек.

Теоретические основы оценки антропогенной нагрузки и ее влияние на формирование качества поверхностных вод были заложены в 60-х годах прошлого века [5]. Спустя 30 лет были разработаны методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод [6]. На региональном уровне оценивается антропогенное воздействие на р. Волга [7, 8], разрабатывается методология мониторинга и регулирования антропогенного воздействия на качество вод водохранилищ Волжско-Камского каскада [8]. Предлагается способ оценки пространственной неоднородности

антропогенной нагрузки по территории России [9-12]. Появляются нормативные документы по оценке антропогенной нагрузки на водные экосистемы [13]. Однако, в основном определяется не сама антропогенная нагрузка, а ее воздействие на поверхностные воды.

В настоящее время существуют различные подходы к оценке антропогенной нагрузки на реки от сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод. Чаще всего под «нагрузкой» понимается масса загрязняющих веществ, поступающих непосредственно в реку со сточными водами от береговых или русловых выпусков точечных источников загрязнения. При этом не учитываются ни параметры реки, ни их расположение в различных природных зонах и климатических условиях. В этом случае невозможно провести сравнительный анализ антропогенных нагрузок на реки, отличающиеся по величине водного стока и по условиям формирования природного качества вод.

Автор данной работы при определении антропогенной нагрузки на реки предлагает учитывать водный сток рек и фоновые показатели качества вод. В этом случае антропогенная нагрузка не остается постоянной при прочих равных условиях, а существенно зависит не только от массы загрязняющих веществ, поступающих в водохранилище, но и от межгодовой изменчивости водного стока и фоновых концентраций веществ в воде рек. В маловодные годы нагрузка будет увеличиваться при прочих равных условиях, а в многоводье снижаться.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Антропогенную нагрузку на реки от точечных источников загрязнения или сброса сточных вод (далее нагрузка) предлагается оценивать, с одной стороны, как нагрузку от объема сбрасываемых сточных вод, а с другой – как нагрузку загрязняющими веществами, содержащимися в составе сбрасываемых сточных вод.

Нагрузка от объема сбрасываемых сточных вод ($АН^1$) – это величина, характеризующая отношение объема сточных вод, сбрасываемых в реку, к водному стоку реки. Нагрузку сточными водами представим в следующем виде:

$$АН^1 = \sum_{j=1}^n q_j \div Q \times 100, \quad (1)$$

где $АН^1$ – нагрузка сточными водами (%); q_j – объем сточных вод, сбрасываемых в водосборный бассейн j -м точечным источником ($км^3$), где $j = 1, 2 \dots n$ – порядковые номера точечных источников загрязнения; Q – водный сток заданной обеспеченности ($км^3$).

Нагрузка сточными водами ($АН^1$) достаточно легко определяется и для ее расчета, как правило, всегда имеется необходимая информация. Однако она не учитывает загрязняющие вещества в составе сточных вод, сбрасываемых в реки, и ее целесообразно использовать на первом этапе анализа нагрузки.

Имея сведения о массе веществ, содержащихся в сточных водах, представляется возможным рассчитать составляющие антропогенной нагрузки по отдельным загрязняющим веществам. В данном случае дифференцированная нагрузка определяется как отношение массы конкретного загрязняющего вещества в составе сточных вод к водному стоку реки.

Антропогенную нагрузку от конкретного загрязняющего вещества ($АН^2$) представим в следующем виде:

$$АН_i^2 = \sum_{j=1}^n m_{ji} \div Q, \quad (2)$$

где $АН^2$ – дифференцированная нагрузка i -м загрязняющим веществом ($т/км^3$), где $i = 1, 2 \dots p$ – загрязняющее вещество в составе сточных вод; m_{ji} – масса i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод j -го точечного источника ($т$). Для каждого j -го источника в

перечень загрязняющих веществ включаются минеральные и органические вещества, входящие в его государственную статистическую отчетность по форме 2ТП-(водхоз).

При таком подходе становится возможным разложить нагрузку по отдельным составляющим (азотная, фосфорная, сульфатная, хлоридная и т.п.) и оценивать приоритетность той или иной нагрузки для конкретной реки.

Для оценки нагрузки по нескольким приоритетным загрязняющим веществам целесообразно использовать интегральную нагрузку загрязняющими веществами ($АН^3$):

$$АН^3 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n m_{ji} \div Q \quad (3)$$

Для учета различных природно-климатических условий при количественной оценке и сравнении между собой антропогенной нагрузки на реки предлагается использовать нормированную нагрузку отдельными загрязняющими веществами ($АН^4$):

$$АН_i^4 = АН_i^2 \div БДК_{i_i} \quad (4)$$

где $АН^4$ – нормированная дифференцированная нагрузка i -ым загрязняющим веществом (безразмерная величина); $БДК_i$ – бассейновая допустимая концентрация i -го вещества.

Интегральную нормированную нагрузку загрязняющими веществами ($АН^5$) представим в следующем виде:

$$АН^5 = \sum_{i=1}^p АН^4 \quad (5)$$

Предлагаемый методологический подход позволяет по формулам (1)-(5) количественно оценивать и далее сравнивать между собой антропогенные нагрузки на реки, расположенные в различных природно-климатических условиях и имеющие широкий диапазон величин водного стока.

В зависимости от целей исследования расчеты антропогенной нагрузки на реки осуществляются по средним многолетним данным или по данным конкретного года. В качестве исходной информации необходимы данные о водном стоке реки, бассейновых допустимых концентрациях веществ в реке, объемах сточных вод, сбрасываемых в реку и о массе загрязняющих веществ, поступающих в реки в составе сточных вод.

О водном стоке рек имеется достоверная информация в гидрологической литературе:

- справочные издания «Гидрологические ежегодники», подготовка которых осуществлялась силами УГМС Гидрометслужбы СССР до 1979 г.;
- ежегодные кадастровые справочные издания «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, том 1, часть 1 «Реки и каналы», подготовленные и публикуемые УГМС Росгидромета, начиная с 1980 г.

Величина антропогенной нагрузки существенно зависит от межгодовой изменчивости водного стока реки (Q). Согласно формуле (1), при уменьшении Q в маловодные годы нагрузка будет увеличиваться, а в многоводные годы – уменьшаться при стационарном режиме водоотведения сточных вод. Например, средний многолетний водный сток р. Волги составляет 254 км^3 , наибольший – 329 км^3 , а наименьший – 166 км^3 . Следовательно, антропогенная нагрузка за счет межгодовой изменчивости водного стока реки, будет меняться в 2 раза.

Информация о качестве речной воды в обобщенном виде содержится в ежегодниках, выпускаемых Росгидрометом [1, 2]. Однако этого недостаточно для расчета бассейновых допустимых концентраций (БДК) по каждому загрязняющему веществу. В настоящее время

в открытом доступе получить необходимую информацию о концентрациях веществ в условно фоновых створах рек пока не представляется возможным.

За бассейновую допустимую концентрацию ($БДК_i$) принимается верхняя граница возможных средних значений концентраций i -го вещества, рассчитанная по данным мониторинга реки по следующей формуле [14]:

$$БДК_i = C_{\Phi i} + \sigma \times t_{St} \div n, \quad (6)$$

где $C_{\Phi i}$ – среднее значение концентрации i -го вещества в условно фоновом створе; t_{St} – коэффициент Стьюдента при $P=0,95$; n – число данных в градации; σ – среднее квадратичное отклонение, как показатель рассеяния членов ряда относительно среднего значения. $БДК_i$ определяются для реки или ее водохозяйственного участка в условно фоновых районах.

Среднее значение концентрации i -го вещества в условно фоновом створе ($C_{\Phi i}$) определяется по данным систематических наблюдений на реке вне зон локального загрязнения или прямого воздействия точечных источников [15]. Эта величина рассчитывается для определенного створа реки или водохозяйственного участка и является количественной характеристикой содержания веществ в данном створе реки. Концентрация в фоновом створе обусловлена как естественными условиями формирования химического состава и свойств воды реки, так и общим влиянием всех точечных и диффузных источников загрязнения, расположенных выше рассматриваемого створа.

Данные об объемах сточных вод и массе загрязняющих веществ по каждому водопользователю (точечному источнику загрязнения) представлены в статистической отчетности по форме 2ТП - (водхоз). Существующая система учета сточных вод основана на предположении о стационарности водоотведения. В действительности, характерной особенностью водоотведения крупных городов является неравномерность сброса загрязняющих веществ в реки. При этом объемы сточных вод, как правило, меняются незначительно и находятся в пределах 15–20 %, а вот колебания концентраций химических веществ весьма велики и могут достигать десятки сотен процентов.

Анализ водоотведения крупных городов Средней и Нижней Волги свидетельствует, что отчетность по форме 2ТП - (водхоз) приводит приближенные данные об объеме сточных вод и о массе загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты. Такое положение обусловлено недостаточной периодичностью наблюдений за качеством сточных вод, ограниченностью спектра наблюдаемых показателей в сточных водах и неудовлетворительным оснащением приборами систем водоотведения. Снижает достоверность информации и то обстоятельство, что на промышленных предприятиях эти сведения подготавливаются внутренними службами и передаются в контролирующие органы, которые эпизодически должны проверять их достоверность. В силу названных причин, мы не располагаем полной и объективной информацией о количестве загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами в водотоки и, следовательно, весьма приближенно оцениваем фактическую антропогенную нагрузку.

Для апробации разработанной технологии определения антропогенной нагрузки в качестве объектов исследования выбраны 12 рек, которые расположены в различных географических зонах и существенно отличаются по длине (L) от 74 до 4338 км, по площади водосбора (S) от 37,4 до 2990 тыс. км². За исключением р. Терек все выбранные реки в соответствии с классификацией по размеру площади бассейна следует отнести к большим рекам, у которых S составляет более 50 тыс. км². Величина водного стока рек (Q) изменяется от 8,87 до 651 км³/год (рис. 1). Самый большой водный сток наблюдается у р. Енисей, а наименьший – у р. Урал.

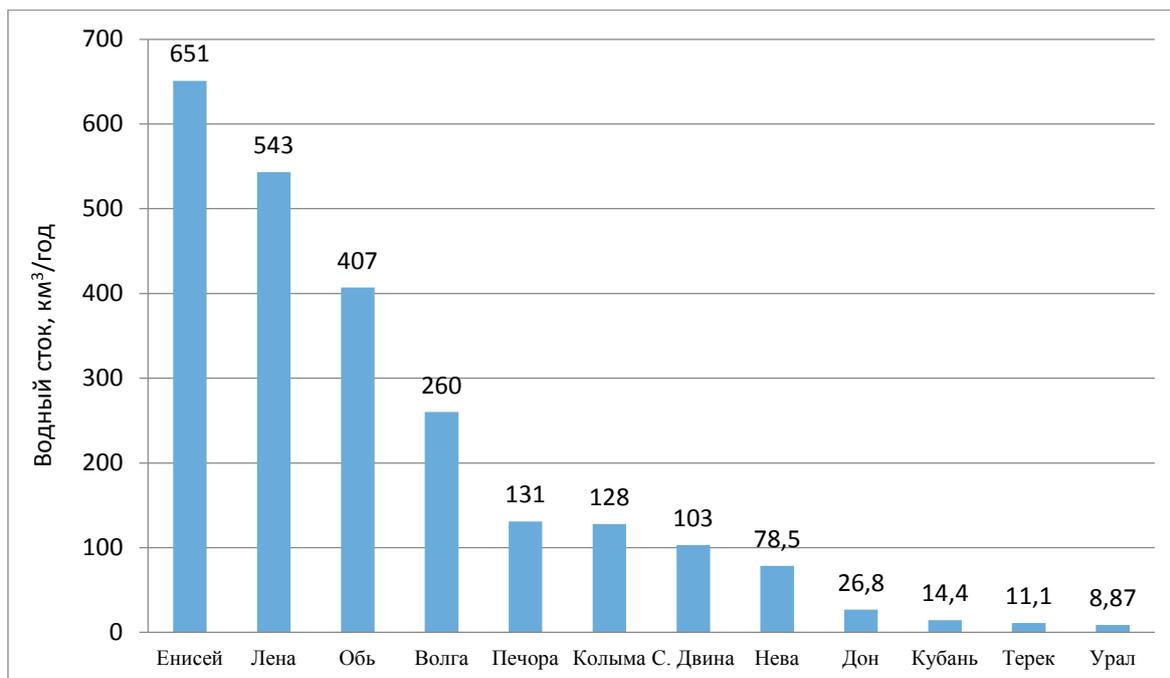


Рис. 1. Средний многолетний водный сток рек.

Данные по объему сточных вод в 1995 г. были использованы в качестве исходной информации для расчета по новой технологии. В этот год наблюдалась наибольшая величина водоотведения за последние 25 лет, а данные по объему и качеству сточных вод характеризовались как достоверные [16]. Количество сточных вод, поступивших в поверхностные водные объекты по всей России, составило 59,86 км³/год. Из них 59,4 % сброшено предприятиями промышленности, 22,9% – жилищно-коммунального хозяйства, 17,1 % – сельского хозяйства и 0,6 % – прочими отраслями.

Наибольшее количество сточных вод сброшено в бассейн р. Волги (18,05 км³/год), а наименьшее – в бассейн р. Колыма (0,091 км³/год) (табл. 1). Объем сточных вод составил в бассейне р. Волги – 30 %, Оби – 11,2 %, Дона – 7,4 %, Енисея – 5,3 %, Кубани – 5,2 %, Урала – 3,2%, Терека – 3,1% от объема сточных вод, сброшенных со всей территории России.

Результаты расчета антропогенной нагрузки от объема сбрасываемых сточных вод (АН¹) по формуле (1) показывают, что наибольшую нагрузку от объема, сбрасываемых сточных вод, испытывают реки, имеющие водный сток менее 30 км³/год (табл. 1), для которых АН¹ изменяется в пределах от 16,4 % (р. Дон) до 21,5 % (р. Кубань). Река Кубань имеет водный сток в размере 13,5 км³/год, а объем принимаемых сточных вод составляет 3,09 км³/год, что примерно соответствует объему сточных вод, сбрасываемых в бассейн р. Енисей с самым большим водным стоком на территории России.

Для остальных 8 рек величина АН¹ незначительна и не превышает 1,7 %. Исключение составляет нагрузка на р. Волгу, у которой АН¹ достигает 6,9 % (рис. 2). По величине АН¹ р. Волга занимает пятое место после рек Кубань, Урал, Терек и Дон. Среди рек с водным стоком более 250 км³/год р. Волга испытывает на себе наибольшую нагрузку сточными водами, которая больше в 4,2 раза, чем на р. Обь, в 14,2 раза, чем на р. Енисей, в 355 раз, чем на р. Лену. Годовой водный сток р. Волги составляет всего лишь 6 % общероссийского речного стока, тогда как годовой объем сточных вод, поступающих в бассейн р. Волги, достигает более 30 %.

Табл. 1. Характеристика основных рек и нагрузка на реки от объема сточных вод (АН¹)

№ п/п	Река	Длина рек (L), км	Площадь водосбора, (S), тыс. км ²	Водный сток реки (Q), км ³ /год	Объем сточных вод (q _i), км ³ /год	Нагрузка от объема сточных вод (АН ¹), %
1.	Енисей	3844	2580,0	651	3,15	0,5
2.	Лена	4270	2490,0	543	0,12	0,02
3.	Обь	4338	2990,0	407	6,72	1,7
4.	Волга	3690	1380,0	260	18,05	6,9
5.	Печора	1814	322,0	131	0,467	0,36
6.	Колыма	2129	647,0	128	0,091	0,07
7.	С. Двина	750	357,0	103	0,926	0,90
8.	Нева	74	281,0	78,5	0,679	0,86
9.	Дон	1870	422,0	26,8	4,40	16,4
10.	Кубань	970	58,0	14,4	3,09	21,5
11.	Терек	623	37,4	11,1	1,87	17,0
12.	Урал	2530	236,0	8,87	1,90	21,4

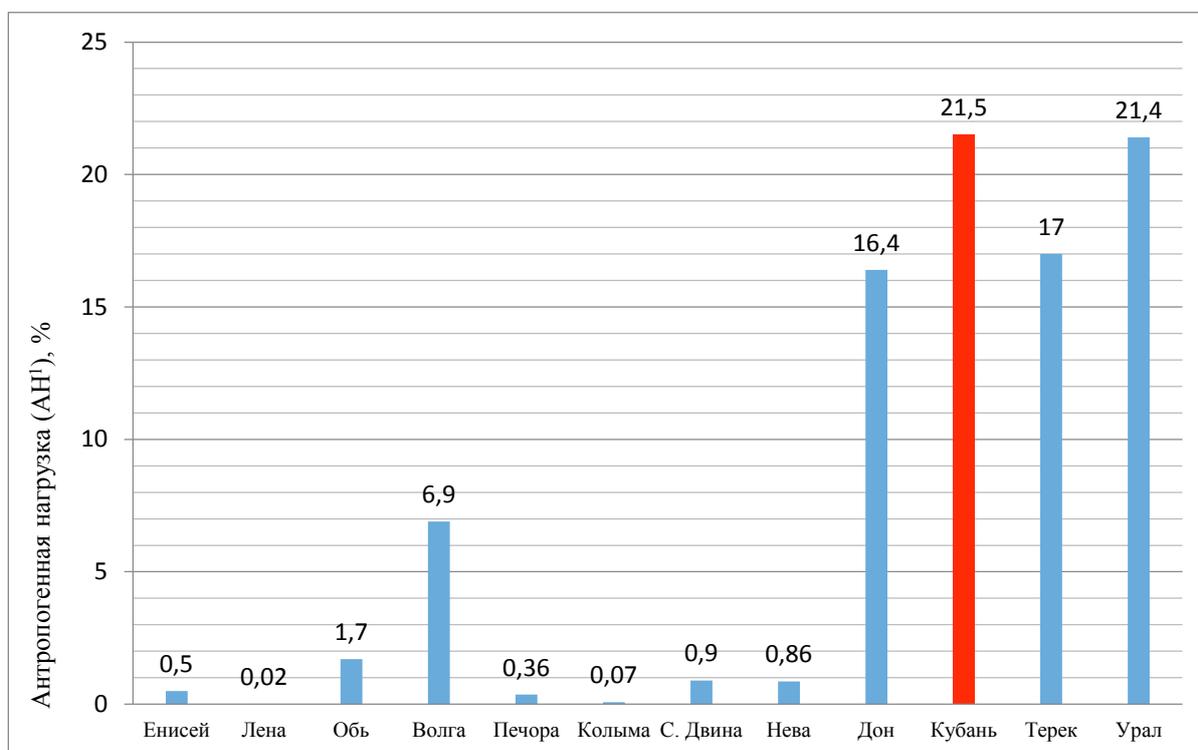


Рис. 2. Антропогенная нагрузка от объема сбрасываемых сточных вод (АН¹).

Расчеты антропогенной нагрузки от сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод проводились по 9 характерным веществам: хлориды (Cl⁻), сульфаты (SO₄²⁻), биологическое потребление кислорода (БПК_п); нефтепродукты (НП); фенолы (Ф); аммоний (NH₄⁺), железо общее (Fe⁺², Fe⁺³), медь (Cu) и цинк (Zn). На данном этапе при расчетах по формуле (4) вместо бассейновых допустимых концентраций (БДК) использованы рыбохозяйственные предельно допустимые концентрации (ПДК).

Результаты расчета дифференцированной антропогенной нагрузки отдельными загрязняющими веществами ($АН^2_i$) по формуле (2) показали, что р. Волга нагружена загрязняющими веществами больше других рек с водным стоком более $250 \text{ км}^3/\text{год}$ (Обь, Енисей, Лена). При этом нагрузка неодинакова по различным загрязняющим веществам (табл. 2). Например, нагрузка на р. Волгу больше, чем на реки Обь и Енисей: по азоту аммонийному – в 6 и 62 раз; нефтепродуктам – в 5 и 24 раз; фенолам – в 4 и 8 раз; сульфатам – в 8 и 23 раз; хлоридам – в 11 и 14 раз; общему железу – в 28 и 107 раз, меди – в 23 и 196 раз, цинку – в 8 и 37 раз, БПК – в 4 и 11 раз соответственно. И это понятно, так как наибольшая масса загрязняющих веществ поступает в бассейн р. Волги, это 20–80 % от всего сброса по России в зависимости от конкретного загрязняющего вещества.

Табл. 2. Дифференцированная ($АН^2_i$) и интегральная нагрузки ($АН^3$) нагрузки, $\text{т}/\text{км}^3$

Река	$АН^2_i$									$АН^3$
	БПК _п	НП	Ф	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	Fe^{+2} Fe^{+3}	Cu	Zn	
Енисей	52,5	0,9	0,013	199	476	8,73	0,82	0,010	0,049	738
Лена	0,8	0,1	0,000	3,9	2	0,26	0,03	0,000	0,003	7
Обь	138	4,1	0,026	576	610	86,10	3,10	0,087	0,237	1418
Волга	590	21,9	0,095	4485	6795	537	87,4	1,960	1,823	12520
Печора	14,6	0,4	0,001	143	74	2,73	0,32	0,003	0,008	235
Колыма	5,1	0,3	0,000	4,2	3	1,09	0,04	0,000	0,000	14
С. Двина	393	1,2	0,101	318	328	30,1	0,23	0,003	0,040	1070
Нева	324	5,0	0,041	200	280	43,5	8,17	0,178	0,713	862
Дон	836	22,1	0,008	17904	8929	120	13,6	0,285	0,498	27826
Кубань	267	8,2	0,011	4000	2104	58,2	8,70	0,300	1,26	6447
Терек	864	3,6	0,004	37227	66636	297	43,0	0,073	0,818	105072
Урал	356	9,9	0,073	4109	2614	91,1	11,3	0,297	3,17	7195

Особую тревогу вызывает загрязнение р. Волга нефтепродуктами, органическими и биогенными веществами. Нагрузка от сброса нефтепродуктов составила $21,9 \text{ т}/\text{км}^3$, что в 5 раз больше, чем на р. Обь, в 24 раза, чем на р. Енисей, и в 219 раз, чем на р. Лену. Нагрузка аммонием составила $537 \text{ т}/\text{км}^3$, что в 6 раз больше, чем на р. Обь, в 61 раз, чем на р. Енисей и в 2065 раз, чем на р. Лену.

Среди рек с водным стоком более $30 \text{ км}^3/\text{год}$, но менее $100 \text{ км}^3/\text{год}$ (Северная Двина, Нева, Печора и Колыма) наибольшую нагрузку загрязняющими веществами ($АН^2_i$) испытывает р. Северная Двина, а наименьшую – р. Колыма. Нагрузка на р. Северную Двину больше, чем на р. Неву и р. Печеру: по БПК – в 1,2 и 26,9 раза; сульфатам – в 1,6 и 2,2 раза; хлоридам – в 1,2 и 4,4 раза; фенолам – в 2,5 и 101 раза, соответственно.

Среди рек с водным стоком менее $30 \text{ км}^3/\text{год}$ (Дон, Кубань, Урал и Терек) наибольшую нагрузку ($АН^2_i$) по большинству загрязняющих веществ испытывает р. Терек. Нагрузка на р. Терек больше, чем на р. Урал: по БПК – в 2,4 раза; сульфатам – в 9,1 раза; хлоридам – в 25,5 раза; аммоний – в 3,3 раза; железу общему – в 3,8 раза.

Результаты расчета интегральной нагрузки от загрязняющих веществ ($АН^3$) по формуле (3) показали, что среди рек с водным стоком более $250 \text{ км}^3/\text{год}$, р. Волга испытывает наибольшую нагрузку, которая составляет $12520 \text{ т}/\text{км}^3$ (рис. 3). Для сравнения $АН^3$ для р. Обь составила $1418 \text{ т}/\text{км}^3$, для р. Енисей – $738 \text{ т}/\text{км}^3$, для р. Лена – $7,1 \text{ т}/\text{км}^3$. Интегральная нагрузка загрязняющими веществами на р. Волгу в 9 раз больше, чем на р. Обь, в 17 раз, чем на р. Енисей и в 1789 раз, чем на р. Лену.

Среди рек с водным стоком ($30 \text{ км}^3/\text{год} < Q < 100 \text{ км}^3/\text{год}$) наибольшую нагрузку (АН^3) испытывает р. Северная Двина ($1070 \text{ т}/\text{км}^3$), а наименьшую – р. Колыма ($13.8 \text{ т}/\text{км}^3$). Среди малых рек наибольшую АН_3 испытывает р. Терек ($105072 \text{ т}/\text{км}^3$), а наименьшую – р. Кубань ($6447 \text{ т}/\text{км}^3$).

Для р. Волга интегральная нагрузка (АН^3) составила $12520 \text{ т}/\text{км}^3$ и р. Волга занимает уже третье место после рек Терек и Дон, для которых АН^3 составила $105072 \text{ т}/\text{км}^3$ и $27826 \text{ т}/\text{км}^3$, соответственно (рис. 3). Переход р. Волги с пятого на третье место свидетельствует, что концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в бассейн р. Волга, значительно больше, чем в сточных водах, поступающих в реки Урал и Кубань.

Результаты расчета нормированной дифференцированной нагрузки по отдельным загрязняющим веществам (АН^4_i) по формуле (4) показывают, что р. Волга занимает уже второе место по нагрузке нефтепродуктами и первое место по нагрузке аммонийным азотом (табл. 3). Величина АН^4_i существенно зависит от фоновых концентраций веществ в воде рек.

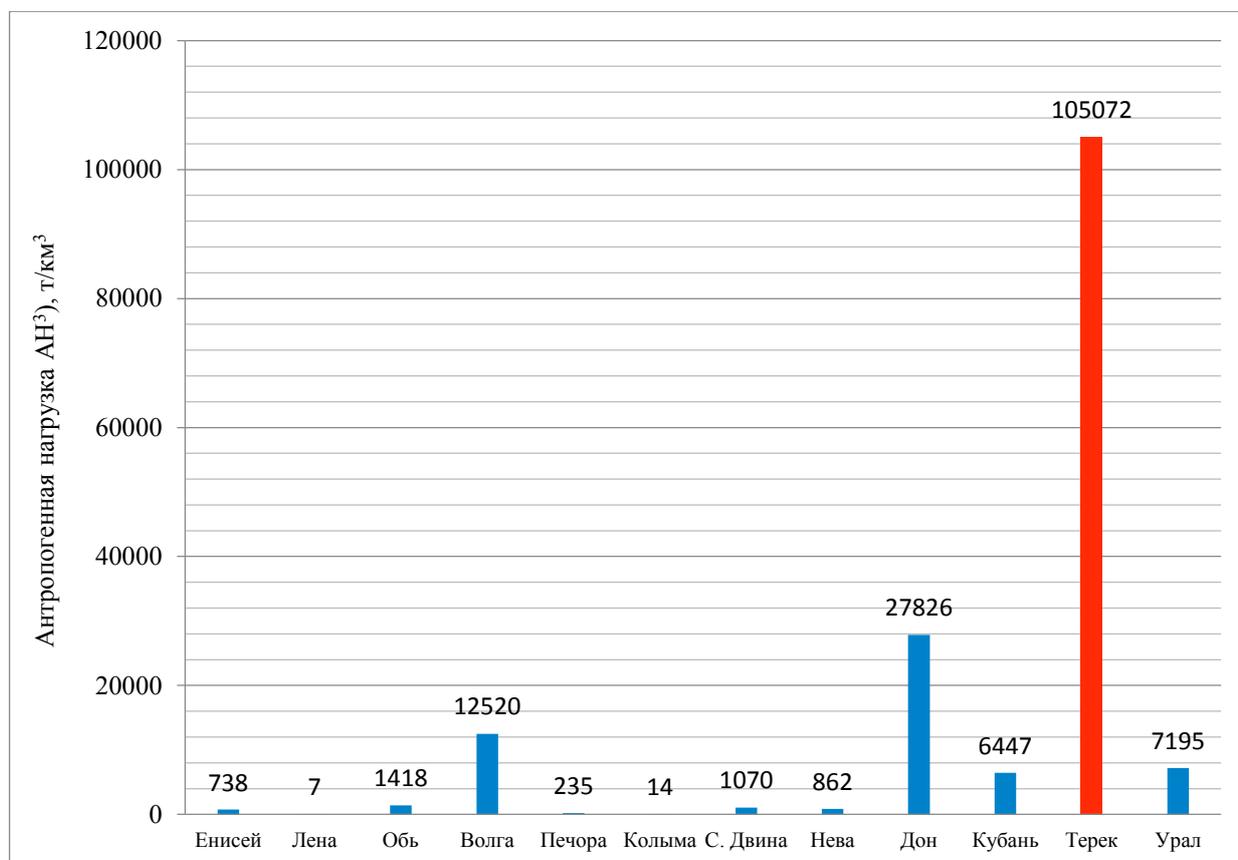


Рис. 3. Интегральная нагрузка на реки от сброса загрязняющих веществ (АН^3).

Результаты расчета интегральной нормированной нагрузки (АН^5) по формуле (5) показали, что среди 12 рек самую большую антропогенную нагрузку (4887) испытывает р. Волга (рис. 4). Нагрузка (АН^5) для р. Волги больше: в 10 раз, чем на р. Обь, в 53 раза, чем на р. Енисей и в 1405 раз, чем на р. Лену.

Совершенно очевидно, что, в первую очередь, для бассейна р. Волги необходимо разрабатывать программы поэтапного сокращения антропогенной нагрузки от точечных источников загрязнения и оперативно вводить реальные экономические и административно-правовые механизмы их реализации.

При использовании технологии определения составляющих антропогенной нагрузки, следует опираться на систематические данные гидрологического и гидрохимического мониторинга рек на локальном, территориальном и бассейновом уровне. Особые требования

необходимо предъявлять к достоверности сведений о точечных источниках загрязнения, полученных при регулярных наблюдениях за объемом и качеством сточных вод.

Табл. 3. Нормированные дифференцированная ($АН^4$) и интегральная ($АН^5$) нагрузки

Река	$АН^4 \times 10^3$									$АН^5 \times 10^3$
	БПК _п	НП	Ф	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	Fe^{+2}, Fe^{+3}	Cu	Zn	
Енисей	17,5	18,0	13,0	1,99	1,59	17,5	8,2	10,0	4,9	92,6
Лена	0,27	2,0	0,0	0,04	0,007	0,5	0,34	0,0	0,3	3,48
Обь	46,1	82,0	26,0	5,76	2,03	172	31,0	87,0	23,7	475
Волга	196	438	95,0	44,9	22,7	1073	874	1960	182	4887
Печора	4,87	8,0	1,0	1,43	0,25	5,5	3,2	3,0	0,8	27,9
Колыма	1,70	6,0	0,0	0,04	0,01	2,2	0,4	0,0	0,0	10,3
С. Двина	130	24,0	101	3,18	1,09	60,1	2,3	3,0	4,0	330
Нева	108	100	41,0	2,00	0,93	87,1	81,7	178	71,3	670
Дон	279	442	8,0	179	29,8	240	136	285	49,8	1649
Кубань	88,9	164	11,0	40,0	7,02	116	87,0	300	126	940
Терек	288	72,0	4,0	372	222	594	430	73,0	81,8	2137
Урал	119	198	73,0	41,1	8,7	182	113	297	317	1349

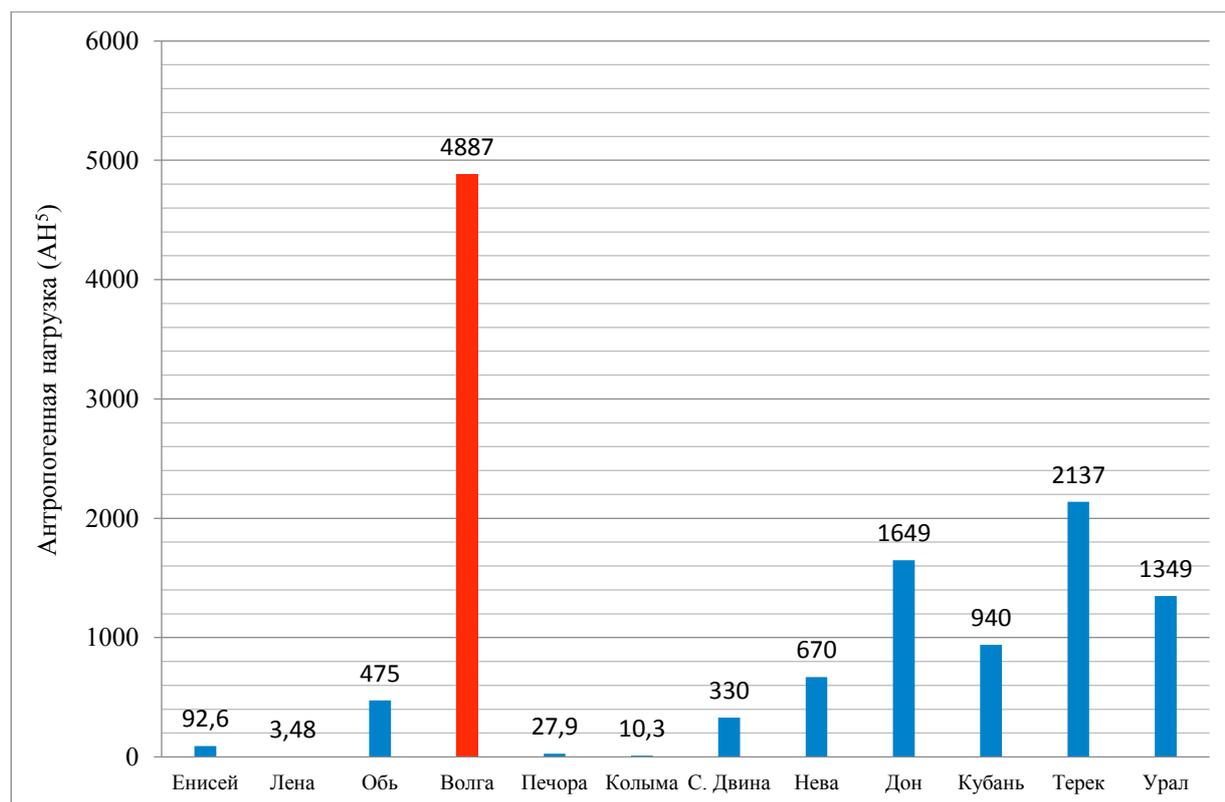


Рис. 4. Нормированная интегральная нагрузка ($АН^5$) от сброса загрязняющих веществ.

В дальнейшем по результатам расчета по предлагаемой технологии представляется возможным разработать классификацию и провести районирование рек России по величине дифференцированной и интегральной антропогенным нагрузкам. При охвате расчетами всех рек необходимо провести их ранжирование по величине антропогенной нагрузки с выделением приоритетных загрязняющих веществ в разрезе России, федеральных округов и субъектов РФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана экологическая технология оценки и анализа антропогенной нагрузки на реки от сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод, которая позволяет сравнивать между собой реки, отличающиеся по величине водного стока и расположенные в различных природно-климатических условиях. Технологию можно использовать как для всей реки, так и для оценки антропогенной нагрузки на водохозяйственные участки рек, что позволит расставить приоритеты в схемах комплексного использования и охраны водных ресурсов (СКИОВО) в отношении снижения антропогенной нагрузки на реки.

Адаптация технологии применительно к 12 рекам показала, что она позволяет ранжировать все реки России по величине дифференцированной и интегральной антропогенной нагрузки вне зависимости от размеров водосборной площади. При наличии данных о качестве речных вод становится возможным ранжировать реки по степени антропогенной нагрузки вне зависимости от расположения рек в различных природно-климатических условиях.

Результаты применения технологии показали, что среди 12 рек самую большую антропогенную нагрузку испытывает р. Волга. Интегральная нормированная нагрузка (АН⁵) для р. Волга больше: в 10 раз, чем на р. Обь, в 53 раза, чем на р. Енисей и в 1405 раз, чем на р. Лену. Особую тревогу вызывает загрязнение р. Волги нефтепродуктами, органическими и биогенными веществами.

Совершенно очевидно, что, в первую очередь, для р. Волга необходимо разрабатывать бассейновую программу поэтапного снижения антропогенной нагрузки и внедрять эффективные механизмы её реализации в Волжском бассейне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2019. Ростов-на-Дону, Росгидромет. ГХИ. 2020. 578 с.
2. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (приложение к ежегоднику). 2019. Ростов-на-Дону. Росгидромет. ГХИ, 2020. 150 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИИ–Природа, 2019. 290 с.
4. Антропогенное воздействие на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / отв. ред.: Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. М.: Наука. 2003. 367 с.
5. *Чертинский С.Н.* Теоретические вопросы нормирования при одновременном загрязнении водоемов несколькими веществами // Гигиена и санитария. 1957. № 8. С. 3-9.
6. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. А.В. Караушева. Л.; Гидрометеиздат. 1987. 287 с.
7. *Селезнев В.А.* Антропогенное воздействие на качество вод водохранилищ Волги // В сборнике: Институт Экологии Волжского Бассейна РАН. Тольятти, 1997. С. 33-36.
8. *Селезнев В.А.* Методология мониторинга и регулирования антропогенного воздействия на качество вод водохранилищ Волжско-Камского каскада // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Нижний Новгород. 1999. 47 с.
9. *Селезнева А.В.* Пространственная неоднородность антропогенной нагрузки на реки // Экология и промышленность России. 2007. № 12. С. 24-27.
10. *Селезнева А.В.* От мониторинга к нормированию антропогенной нагрузки на водные объекты. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН. 2007а. 107 с.

11. *Селезнева А.В.* Оценка техногенной нагрузки на водные экосистемы // В сборнике: Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Материалы VII Всероссийской конференции по водной экотоксикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова и школы-семинара Современные методы исследования и оценки качества вод, состояния водных организмов и экосистем в условиях антропогенной нагрузки. Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН. 2020. С.166-169.
12. *Селезнева А.В., Селезнев В.А., Беспалова К.В., Афанасьев С.В.* Технология регулирования сброса загрязняющих веществ в реки // В сборнике: Инновации и "зеленые" технологии. Региональная научно-практическая конференция: сборник материалов и докладов. Составители Т.С. Кобзарь, С.В. Сердюкова. 2018. С. 39-45.
13. Р 52.24.819-2014 Оценка антропогенной нагрузки на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей. Рекомендации. Ростов-на-Дону. ФГБУ "ГХИ". 2014. 35 с.
14. *Беспалова К.В.* Критерии нормирования антропогенной нагрузки с учетом природных особенностей водных объектов / В сб.: Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика). Материалы V Международной конференции молодых ученых. 2016. С. 209-216.
15. *Селезнев В.А., Селезнева А.В.* Оценка воздействия сточных вод Тольятти на качество вод Саратовского водохранилища // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 3. С. 356-360.
16. Воды России (состояние, использование, охрана) 1995. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 1996. 103 с.