

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ВОЛЖСКОГО БАСЕЙНА ПО СТЕПЕНИ НАГРУЗКИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ НА ОСНОВЕ БАСЕЙНОВОГО ПРИНЦИПА (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ)

© 2007 А.А. Королев¹, Г.С. Розенберг², Д.Б. Гелашвили¹, А.А. Панютин³, Д.И. Иудин¹

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород

² Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

³ Верхне-Волжское УГМС, г. Н. Новгород

Разработаны алгоритмы оценки антропогенной нагрузки сточными водами, проведена оценка нагрузки сточными водами подбассейнов р. Волга на территории Верхней Волги.

Введение

Антропогенные нагрузки на бассейн водосбора являются непосредственной причиной антропогенного изменения состояния водных экосистем, это отражается в изменениях показателей среды и биоты, связанных с изменением трофики водного объекта. Для формирования целостных представлений об антропогенном воздействии на гидросферу и, в частности, анализа пространственного распределения нагрузки сточными водами необходимо применение интегрального междисциплинарного подхода основанном на бассейновом принципе экологического зонирования территории. На практике отчетливо просматривается тесная связь между нагрузками на территорию водосбора и теми показателями, которые определяют состояние водной экосистемы. Таким образом, по меткому замечанию современного крупнейшего гидробиолога и эколога Р. Маргалефа, «...химический состав речной воды является индикатором здоровья сухопутных экосистем на водосборном бассейне, также как состав мочи служит показателем здоровья человека» [1]. Таким образом, для правильной оценки состояния водной экосистемы и направления протекающих процессов, необходимо рассматривать в единой системе территорию водосборного бассейна и водный объект.

Целью работы явилась комплексная оценка уровня антропогенной нагрузки сточными водами на территории субъектов федерации, как природно-антропогенные объекты, на основе бассейнового принципа.

Материал и методы

Исходными данными для проведения работы послужили сведения государственного федераль-

ного статистического наблюдения по использованию вод, содержащихся в форме 2 ТП (водхоз) 2004 и 2005 гг. по Нижегородской, Костромской и Владимирской областям и Республики Чувашия. Определение длины водных объектов и площадей их водосборов осуществлялось по данным работы [2] и топографическим картам субъектов федерации. Для расчета площади водосбора и объема среднегодового стока использовались формулы из [3, 4]. Данные по среднему многолетнему стоку брались из таблиц, приведенных в работе [2]. Для ряда водотоков, включенных в форму 2 ТП (водхоз), такие данные в работе [2] отсутствуют. В этом случае в качестве метода оценки объема стока применяли метод аналогий, заключающийся в том, что объем стока с бассейна реки, на которой отсутствуют гидрологические наблюдения, определяется по аналогии с данными исследованного бассейна, с учетом метеорологических характеристик [5].

Результаты и их обсуждение

Алгоритмы расчета коэффициентов нагрузки на водоток и бассейн загрязненными сточными водами. Для расчета нагрузки загрязненными сточными водами на водные объекты с учетом бассейнового принципа были использованы следующие коэффициенты.

Нагрузка водного объекта (водотока) загрязненными сточными водами - это величина, характеризующая отношение объема сточных вод, сбрасываемых в водоток к среднегодовому стоку реки в этом створе [6].

$$k_g = q_g / W, \quad (1)$$

где k_g - коэффициент нагрузки, q_g - суммарный объем загрязненных сточных вод, сбрасываемых

в водоток, тыс. м³/год, W - среднегодовой сток реки, тыс. м³/год.

Суммарный объем загрязненных сточных вод, сбрасываемых, например, населенным пунктом, рассчитывается по формуле

$$q_{\sigma} = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (2)$$

где q_i - объем сточных вод, сбрасываемых в водоток i -м точечным источником, $i = 1, n$.

Для расчета коэффициента нагрузки загрязненными сточными водами на речной подбассейн использовалось следующее уравнение:

$$K_{\sigma} = \frac{\sum_{j=1}^m a_j k_{\sigma j}}{\sum_{j=1}^m a_j}, \quad (3)$$

где $k_{\sigma j}$ - коэффициент нагрузки загрязненными сточными водами на j -й водоток, входящий в состав подбассейна, $j=1, m$, m - число водотоков в подбассейне, a_j - весовой коэффициент j -го водотока.

Вклад сточных вод в загрязнение водотока снижается при их разбавлении, т.е. при увеличении водного стока W , который, в свою очередь, линейно зависит от площади речного подбассейна. Поэтому в качестве весового коэффициента мы использовали величину обратную площади подбассейна

$$a_j = F_j^{-1}, \quad (4)$$

где F_j^{-1} - площадь подбассейна j -го водотока. Таким образом, уравнение (4) учитывает экологическую емкость бассейна водного объекта.

На первой стадии работы был получен перечень водотоков субъектов федерации, являющихся приемниками стоков по форме 2ТП (водхоз), с основными гидрографо-гидрологическими характеристиками. Кроме того, были созданы линейные гидрографические схемы речных сетей субъектов федерации с выделением подбассейнов притоков рек Волги и Оки. Подбассейны

выделяли с указанием главной реки подбассейна, всего выделено 17 подбассейнов в Нижегородской области, 11 - для Владимирской области, 13 - для Костромской области и 8 - для Республики Чувашия.

В случае, если для водного объекта отсутствовали линейные или площадные характеристики, эти данные рассчитывались с помощью фрактальной модели. Фрактальная геометрия, созданная Mandelbrot (1975), в настоящее время является теоретической базой [7, 8] эмпирических зависимостей, установленных гидрологами в прошлом веке [3]. Полученная нами зависимость площади водосбора от длины водотока аппроксимируется уравнением

$$F = 0,95L^{1,57}. \quad (5)$$

Следующим этапом работы был расчет коэффициентов нагрузки загрязненными сточными водами на водотоки и подбассейны рек Волги и Оки. В соответствии с алгоритмами расчетов (1) и (3) были вычислены коэффициенты нагрузки, соответственно, на водоток (k_{σ}) и подбассейн (K_{σ}). Для оценки экологического состояния подбассейна нами предложена диагностическая табл. 1, качественные показатели которой («категории» и «характеристика») заимствованы из работы В.А. Скорнякова [9].

Поддиапазоны шкалы значений коэффициента нагрузки сточными водами были выбраны с использованием функции желательности Харрингтона [10]. В табл. 2-5 приведены значения коэффициентов нагрузки на подбассейн общим объемом сточных вод, рассчитанные по формуле (3). При расчете коэффициента нагрузки загрязненными сточными водами на водоток (k_{σ}) было установлено, что для ряда водных объектов общий объем сбрасываемых загрязненных сточных вод превышает их среднегодовой сток. Другими словами, эти водотоки, в первом приближении, можно рассматривать как «сточные каналы».

Таблица 1. Диагностическая таблица оценки экологического состояния речного подбассейна

Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Коэффициент нагрузки (K_{σ}) сточными водами на речной подбассейн	
	Значение	Характеристика нагрузки
I	0,00-0,20	Очень слабая
II	0,20-0,37	Слабая
III	0,37-0,63	Умеренная
IV	0,63-0,80	Значительная
V	0,80-1,00	Большая
VI	> 1	Очень большая

В табл. 2-5 систематизирована полученная информация о выделенных экспертным путем подбассейнах на исследуемой территории; приведены расчетные значения коэффициентов на-

Таблица 2. Параметры антропогенной нагрузки общим объемом сточных вод на подбассейны р. Волги на территории Нижегородской области

Номер подбассейна	Подбассейн реки	Коэффициенты нагрузки на подбассейны (K_6) общим объемом сточных вод	Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Характеристика нагрузки
1	Ветлуги	2,086	VI	Очень большая
2	Керженец	0,062	I	Очень слабая
3	Кудьмы	0,194	I	Очень слабая
4	Линда	0,022	I	Очень слабая
5	Мокши	0,310	II	Слабая
6	Суры	0,103	I	Очень слабая
7	Тешы	0,039	I	Очень слабая
8	Узолы	0,015	I	Очень слабая
9	Малые реки левобережья Оки, «Подбассейн Клязьмы»	4,076	VI	Очень большая
10	Малые реки правобережья Оки, «Подбассей Велетьмы»	1,720	VI	Очень большая
11	Малые реки правобережья Оки, «Подбассейн Б.Кутры»	4,024	VI	Очень большая
12	Малые реки «Подбассейн Горьковского вдхр.»	0,037	I	Очень слабая
13	Малые реки левобережья Волги, «Подбассейн Ватомы»	0,035	I	Очень слабая
14	Малые реки правобережья Волги, «Подбассейн Левинки»	0,875	V	Большая
15	Малые реки правобережья Волги, «Подбассейн Рахмы»	0,311	II	Слабая
16	Малые реки правобережья Волги, «Подбассейн Сундовика»	0,126	I	Очень слабая
17	Малые реки правобережья Волги, «Подбассейн Хмелевки»	0,008	I	Очень слабая

Примечание: Жирным шрифтом выделены подбассейны, антропогенная нагрузка на которые характеризуется выше умеренной; то же в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Параметры антропогенной нагрузки общим объемом сточных вод на подбассейны р. Оки на территории Владимирской области

Номер подбассейна	Подбассейн реки	Коэффициенты нагрузки на подбассейны (K_6) общим объемом сточных вод	Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Характеристика нагрузки
1	Клязьма (Сунгирь)	0,572	III	Умеренная
2	Ушна	0,058	I	Очень слабая
3	Гусь	0,516	III	Умеренная
4	Илевна	0,003	I	Очень слабая
5	Оз. Святое	0,077	I	Очень слабая
6	Виша	0,086	I	Очень слабая
7	Черниченка	0,0004	I	Очень слабая
8	Унжа	0,014	I	Очень слабая
9	Ручей Безымянный	0,052	I	Очень слабая
10	Мотра	0,0001	I	Очень слабая
11	Сабля	0,018	I	Очень слабая

грузки общим объемом сбрасываемых сточных вод на конкретный подбассейн, соответствующие этим коэффициентам категории подбассейнов по степени и характеристики нагрузки.

Таблица 4. Параметры антропогенной нагрузки общим объемом сточных вод на подбассейны р. Волги на территории Костромской области

Номер подбассейна	Подбассейн реки	Коэффициенты нагрузки на подбассейны (K_6) общим объемом сточных вод	Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Характеристика нагрузки
1	Ветлуга	0,016	I	Очень слабая
2	Кострома	0,027	I	Очень слабая
3	Унжа	0,015	I	Очень слабая
4	Немда	0,010	I	Очень слабая
5	Мера	0,005	I	Очень слабая
6	Покша	0,046	I	Очень слабая
7	Солоница	0,033	I	Очень слабая
8	Желвата	0,001	I	Очень слабая
9	Кешка	0,025	I	Очень слабая
10	Ключевка	1,772	IV	Очень большая
11	Кубань	0,014	I	Очень слабая
12	Н.Кострома	0,127	I	Очень слабая
13	Стежера	0,014	I	Очень слабая

Таблица 5. Параметры антропогенной нагрузки общим объемом сточных вод на подбассейны р. Волги на территории Республики Чувашии

Номер подбассейна	Подбассейн реки	Коэффициенты нагрузки на подбассейны (K_6) общим объемом сточных вод	Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Характеристика нагрузки
1	Свияга	0,0043	I	Очень слабая
2	Цивиль	0,0195	I	Очень слабая
3	Сура	0,0153	I	Очень слабая
4	Аниш	0,0078	I	Очень слабая
5	Б.Юнга	0,0005	I	Очень слабая
6	Белая Воложка	0,1061	I	Очень слабая
7	Сундырь	0,0059	I	Очень слабая
8	Чебоксарка	0,0068	I	Очень слабая

В табл. 6 проведено сравнение выделенных в 4-х субъектах федерации подбассейнов рек Волга и Ока по степени антропогенной нагрузки. Подбассейны, характеризующиеся «очень большой» степенью нагрузки сточными водами, имеются в Нижегородской и Костромской областях. Наиболее благополучная экологическая обстановка наблюдается в Республике Чувашия, все выделенные подбассейны р. Волги которой испытывают «очень слабую» нагрузку сточными водами.

Принципиально важным результатом работы явились, фактически заново полученные гидрологические характеристики водотоков и обоснование их корректировки на основе фрактальной модели. Выделение подбассейнов и количественная оценка нагрузки на них сточными водами позволило получить новую информацию об экологическом состоянии акваторий. Особое внимание следует обратить на проблемные водотоки, имеющиеся во многих подбассейнах и перегруженные сбросами загрязненных сточных вод. Дополнение данных по объемам сточных вод информацией по качественному и количественному составу загрязняющих веществ и ее обработка по предложенным алгоритмам позволит существенно повысить ценность анализа.

вание их корректировки на основе фрактальной модели. Выделение подбассейнов и количественная оценка нагрузки на них сточными водами позволило получить новую информацию об экологическом состоянии акваторий. Особое внимание следует обратить на проблемные водотоки, имеющиеся во многих подбассейнах и перегруженные сбросами загрязненных сточных вод. Дополнение данных по объемам сточных вод информацией по качественному и количественному составу загрязняющих веществ и ее обработка по предложенным алгоритмам позволит существенно повысить ценность анализа.

Таблица 6. Антропогенная нагрузка сточными водами на подбассейны Верхней Волги

Субъект федерации	Количество выделенных подбассейнов						
	Всего	В том числе с антропогенной нагрузкой сточными водами					
		Очень слабая	Слабая	Умеренная	Значительная	Большая	Очень большая
Нижегородская область	17	10 (58%)	2 (12%)	-	-	1 (6%)	4 (24%)
Владимирская область	11	9 (82%)	-	2 (18%)	-	-	-
Костромская область	13	12 (92%)	-	-	-	-	1 (8%)
Республика Чувашия	8	8 (100%)	-	-	-	-	-

Выводы

1. Получен уточненный перечень водотоков, отраженных в форме 2 ТП (водхоз), с указанием длины водотока, площади водосбора и среднегодового стока и выделены подбассейны рек Волга и Ока на территории Нижегородской, Владимирской, Костромской областей и Республики Чувашия.
2. С помощью фрактальной модели получены гидрографо-гидрологические характеристики водотоков Нижегородской, Владимирской, Костромской областей и Республики Чувашия, учтенных в форме 2 ТП (водхоз).
3. Предложены и обоснованы алгоритмы оценки нагрузки загрязненными сточными водами на водоток и речной бассейн и проведена экологическая оценка нагрузки сточными водами на бассейны рек Нижегородской, Владимирской, Костромской областей и Республики Чувашия.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (07-04-96610-Поволжье).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маргалев Р.* Облик биосферы. М.: Наука, 1992.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 10. Верхне-Волжский бассейн. Кн. 1. М.: Гидрометеоиздат, 1973.
3. *Нежиховский Р.А.* Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометеиздат, 1971.
4. *Чеботарев А.И.* Общая гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1975.
5. *Чеботарев А.И.* Гидрология суши и расчеты речного стока. Л.: Гидрометиздат, 1963.
6. *Селезнева А.В.* Совершенствование системы нормирования сброса загрязняющих веществ в водные объекты: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ульяновск, 2005.
7. *Федер Е.* Фракталы. М.: Мир, 1991.
8. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002.
9. *Скорняков В.А.* Учет распределения природных факторов и антропогенных нагрузок при оценке качества воды в реках // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. Вып. 1. М.: МГУ, 1999.
10. *Адлер Ю.Н., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.

ECOLOGICAL ZONING OF THE VOLGA BASIN TERRITORY ON THE SEWAGE LOADING DEGREE ON THE BASIN PRINCIPLE BASIS (BY THE TOP VOLGA EXAMPLE)

© 2007 A.A. Korolev¹, G.S. Rozenberg², D.B. Gelashvili¹, A.A. Panutin³, D.I. Iudin¹

¹N.I.Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, N. Novgorod

²Institute of the Volga Basin ecology of the Russian Academy of Science, Togliatti

³Top-Volga UGMS, N. Novgorod

Algorithms of an estimation of anthropogenous sewage loading are developed, the estimation of sewage loading of the top Volga tributaries basins carried out.