

УДК 502.51:504.5:628.3.

Антропогенная трансформация и самоочищающая способность малой реки

© 2012. А. С. Злывко, аспирант, С. М. Чеснокова, к.х.н., доцент,
И. А. Бородина, магистрант,

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
e-mail: alex_zlyvko@mail.ru, chesnokova_sm@mail.ru

В статье представлены результаты определения гидрохимических показателей, токсичности, степени эвтрофирования, нитрифицирующей способности, а также корреляционные зависимости между некоторыми параметрами воды в различных участках водотока.

The article presents the results of assessment of hydrochemical parameters, toxicity, the degree of eutrophication, nitrification ability, correlation between some parameters of water in different parts of the watercourse

Ключевые слова: кислородный режим, интенсивность нитрификации, эвтрофикация, токсичность, корреляционные зависимости

Keywords: oxygen regime, the intensity of nitrification, eutrophication, toxicity, correlations

Несмотря на значительный спад производства, антропогенная нагрузка на поверхностные воды в России за последние 50 лет возросла в среднем в два раза, а в некоторых регионах многократно [1]. Это вызывает необходимость оценки степени антропогенной трансформации водных объектов и их устойчивости к антропогенному загрязнению [2].

Значительную антропогенную нагрузку испытывают водные объекты урбанизированных территорий, так как являются основными приёмниками загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих с поверхностным стоком, со сточными водами коммунального хозяйства, промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Цель настоящей работы – комплексная оценка пространственно-временной динамики экосистемы малой реки, испытывающей длительное воздействие крупных птицефабрик, ливневых стоков селитебных и промышленных зон, определение уровня её антропогенной трансформации и выбор критерия для оценки её самоочищающей способности.

Задачи исследования:

- изучение пространственной динамики кислородного режима водотока;
- изучение динамики загрязнения соединениями биогенных элементов;
- изучение динамики загрязнения органическими соединениями;
- оценка уровня эвтрофирования различных участков водотока;
- оценка уровня токсичности воды в различных участках водотока;

- оценка интенсивности процессов нитрификации в различных участках водотока;
- изучение пространственной динамики кислотности водотока;
- выявление корреляционных зависимостей между различными гидрохимическими показателями водотока;
- обоснование выбора критерия для оценки самоочищающей способности эвтрофированных водных объектов.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования явилась река Содышка, протекающая по северо-западной окраине г. Владимира. Река Содышка – правобережный приток реки Рпень, длина водотока – 22 км, площадь водосбора – 82,7 км². Как и все реки Владимирской области, р. Содышка является равнинной рекой, по характеру питания и стока относится к восточно-европейскому типу с преобладанием снегового питания (60–80%) и преимущественно весенним стоком (60–70%). Несмотря на то, что за тёплое время года на территории области осадков выпадет больше, чем в зимний период, доля дождевого питания составляет всего 5–15%. Вклад подземного питания колеблется в пределах 15–20%. На летне-осеннюю межень приходится 25–30% годового стока, на зимнюю – только 5–10%. В настоящее время р. Содышка является водоёмом культурно-бытового водопользования. Вода реки интенсивно используется для полива в многочислен-

ных садовых товариществах, расположенных практически на всём протяжении водотока, а водохранилище – как зона активного отдыха жителей Октябрьского района города.

Кислородный режим водотока оценивали по степени насыщения воды кислородом (СНК) в контролируемых створах [3]. Уровень загрязнения органическими веществами и их качественный состав оценивали по величине перманганатной (ПО) и бихроматной (ХПК) окисляемости [4].

Уровень трофности различных участков водотока определяли по соотношению концентрации азота минерального к концентрации фосфора минерального [5], токсичность вод – по выживаемости рачков *Daphnia magna* Straus [6] и по величине изменения биOLUMИнесценции лиофилизированных люминесцентных бактерий «Эколюм» с помощью биOLUMИнометра «Биотокс-10М». Оценка токсичности с этим тест-объектом основана на определении величины изменения биOLUMИнесценции бактерий при действии токсичных веществ, содержащихся в исследуемой воде, по сравнению с контрольной пробой. Уменьшение величины биOLUMИнесценции пропорционально токсическому эффекту. Количественная оценка параметра тест-реакции выражается в виде безразмерной величины – индекса токсичности Т: менее 20 – вода не токсична; от 20 до 49 – вода токсична; более 50 – вода сильно токсична [7]. Интенсивность процессов нитрификации ($I_{\text{нитр}}$) оценивали по отношению концентрации азота нитратного к концентрации азота общего минерального:

$$I_{\text{нитр}} = N(\text{NO}_3^-) \cdot 100 / N(\text{мин.}) \quad [8].$$

Для определения доли легко- ($OB_{\text{л.о.}}$) и трудноокисляемых ($OB_{\text{т.о.}}$) органических веществ в водотоке нами использовались соотношения:

$$OB_{\text{л.о.}} = (ПО/ХПК) \cdot 100\% \\ OB_{\text{т.о.}} = (ХПК-ПО/ХПК) \cdot 100\%.$$

Концентрацию нитратного и нитритного азота определяли потенциометрически с использованием нитрат- и нитрит- селективных электродов на универсальном иономере Эксперт-001, аммонийный азот определяли фотометрически по окраске комплекса с реактивом Несслера, фосфаты – по окраске восстановленной фосфорно-молибденовой кислоты, общее железо – по окраске роданидного комплекса, для работы использовали фотометр КФК-3. Кислотность воды (рН) измеряли потенциометрически на универсальном

иономере Эксперт-001 в системе стеклянного и хлоридсеребряного электродов.

Все анализы выполнены в аккредитованной лаборатории физико-химических методов анализа кафедры экологии Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых.

Результаты и обсуждение

Качественный состав воды в водотоке в последние десятилетия формируется преимущественно за счёт антропогенных факторов. Основными источниками загрязнения вод реки являются ОАО «Птицефабрика Центральная», ОАО «Птицефабрика Юрьевецкая», ОАО «Владимирский моторно-тракторный завод», МУП «Владимирводоканал», ливневые стоки с коллективных садов, окрестных деревень, а также жилого массива и промзоны Октябрьского района г. Владимира. В истоке р. Содышка расположены очистные сооружения птицефабрики и промплощадка компостирования птицефабрики «Центральная». В пятидесятых годах прошлого столетия на реке была построена дамба. Образовалось водохранилище площадью 102 га, что привело к изменению гидрологического режима водотока и заилению дна. Кроме того, водоток испытывает значительную нагрузку от загрязнений, накопившихся в течение многих лет в виде иловых осадков.

В настоящее время в системе регионального экологического мониторинга поверхностных вод качество воды в водотоках оценивается по величине индекса загрязнения вод (ИЗВ) [3]. Уровень загрязнения воды в р. Содышка контролируется лишь в двух створах – исток и устье.

Динамика качества воды р. Содышка по ИЗВ в последнее десятилетие представлена в таблице 1 [9]. Как видно (табл. 1), в последнее десятилетие уровень загрязнения воды в истоке и устье остаётся стабильно высоким. С 1998 г. река превратилась из умеренно загрязнённой (3 класс) в очень загрязнённую (6 класс). Это свидетельствует о непрерывном возрастании антропогенной нагрузки на водоток и нарушении процессов самоочищения в экосистеме реки. В связи с этим возникает необходимость оценки самоочищающей способности водотока как меры допустимой антропогенной нагрузки на данный водный объект [2].

Приоритетными загрязняющими веществами, поступающими в водоток, являются соединения азота, фосфаты и органические вещества различной природы (табл. 2).

Пространственная динамика загрязнения соединениями биогенных элементов и органическими веществами также свидетельствует о нарушении самоочищающей способности экосистемы водотока, что, по-видимому, связано со значительным превышением скорости поступления загрязняющих веществ с водосборного бассейна над скоростью их трансформации экосистемой водотока и подавлением деятельности микробоценоза токсичными веществами различного происхождения.

Высокий уровень загрязнения вод аммонийным азотом и органическими веществами приводит к значительному расходу в воде кислорода, затрачиваемого на их окисление и нарушению кислородного режима водотока.

К числу главных факторов, определяющих интенсивность процессов самоочищения, относится кислородный режим. Кислородный режим определяется уровнем загрязнения воды органическими и неорганическими веществами. Содержание кислорода в воде чистых равнинных рек и водохранилищ вне участков цветения на глубине до 0,6 м составляет 75–95% полного насыщения. Эта величина не влияет на жизнедеятельность микробоценоза. Дефицит кислорода, влияющий на

процессы самоочищения, возникает при величине насыщения ниже 60% [10].

Из таблицы 2 видно, что только в наименее загрязнённых участках водотока (створы 1 и 4) степень насыщения воды кислородом незначительно выше 60%. На этих же участках наиболее интенсивно происходят процессы нитрификации. На остальных участках реки степень насыщения кислородом изменяется от 54% до 62%, а интенсивность процессов нитрификации – от 18,9% до 43,8%.

Полученные данные свидетельствуют о наметившейся тенденции закисления водотока, что связано с высоким уровнем загрязнения аммонийным азотом и органическими соединениями. Кислотный и кислородный режимы водотока восстанавливаются лишь в водохранилище, что связано со значительным разбавлением загрязнённой воды.

Процессы самоочищения в водных объектах в значительной степени зависят от природы загрязняющих органических веществ. Трудноокисляемые соединения – СПАВ, нефтепродукты, пестициды, фенолы токсичны для микробоценоза и подавляют процессы самоочищения. В таблице 3 представлены данные по содержанию в воде р. Содышка лег-

Таблица 1

Динамика качества воды р. Содышка по ИЗВ (1998–2088 гг.)

Название створа	Класс качества воды										
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Исток, с. Семёновское	3	4	4	5	6	7	5	5	6	6	6
Устье, п. Сновицы	3	4	5	4	3	7	5	5	5	6	6

Таблица 2

Основные гидрохимические показатели воды в р. Содышка

Гидрохимические показатели	Створы					
	1. Исток	2. До ПФ	3. После ПФ	4. До плотины (вдхр)	5. После плотины	6. Устье
рН	7,10	6,60	6,50	7,10	6,70	6,80
Жёсткость общая, мг-экв/л	1,80	1,80	1,90	2,30	2,40	2,40
Степень насыщения кислородом, %	74	60	54	80	62	57
Перманганатная окисляемость, мг O ₂ /л	8,0	10,20	8,90	8,10	10,40	8,50
ХПК, мг O ₂ /л	136	209	240	104	216	224
NO ₃ ⁻ , мг/л	3,90	3,50	15,50	1,70	2,50	12,30
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,75	0,70	4,20	0,35	0,30	1,40
N(NH ₄ ⁺), мг/л	6,40	1,40	4,30	6,67	0,83	4,52
Fe (общее), мг/л	0,10	0,44	0,46	0,50	0,18	0,16
I _{нитр} , %	86,40	43,80	18,90	94,30	33,30	38,50

Примечание: ПФ – птицефабрика.

Таблица 3

Качественный состав органических веществ, загрязняющих р. Содышка

Створы	Содержание органических веществ, %	
	легкоокисляемые	трудноокисляемые
1. Исток	5,9	94,1
2. До ПФ	4,9	95,1
3. После ПФ	3,7	96,3
4. До плотины (вдхр)	7,8	92,2
5. После плотины	4,8	95,2
6. Устье	3,8	96,2

Таблица 4

Трофность различных участков р. Содышка

Створ	Отношение $N_{мин} / P_{мин}$	Степень эвтрофирования.
1. Исток	7,28 : 0,25	α -мезотрофный
2. До ПФ	2,2 : 0,23	эвтрофированный
3. После ПФ	7,8 : 1,4	эвтрофированный
4. До плотины (вдхр)	7,1 : 0,12	α -мезотрофный
5. После плотины	1,4 : 0,1	эвтрофированный
6. Устье	7,3 : 0,46	эвтрофированный

коокисляемых природных и трудноокисляемых веществ антропогенного происхождения, рассчитанных по величине перманганатной и бихроматной окисляемости.

Очевидно, что основной вклад в загрязнение вод реки Содышка вносят органические вещества антропогенного происхождения.

В таблице 4 представлена динамика трофности воды в исследованных участках водотока по соотношению азота минерального к фосфору минеральному. Данные таблиц 2 и 4 свидетельствуют о том, что значительную нагрузку экосистема реки испытывает по соединениям азота, главным образом по аммонийному азоту.

Практически на всём протяжении водоток эвтрофирован. Снижение водности реки при аномальных погодных условиях, даже при неизменной антропогенной нагрузке, может привести к переходу эвтрофных участков к политрофным и к полнейшей деградации экосистем водотока.

Высокие уровни трофности и загрязнения веществами антропогенного происхождения

привели к токсификации вод на всех исследованных участках водотока (табл. 5).

Наиболее чувствительными из используемых тест-объектов оказались лиофилизированные люминесцентные бактерии (препарат «Эколюм»).

Применение корреляционного анализа для выявления зависимости интенсивности процесса нитрификации ($I_{нитр}$) от гидрохимических показателей водотока в различных участках (рис. 1) и между отдельными гидрохимическими параметрами позволило установить, что на интенсивность нитрификации наиболее значимое влияние оказывают кислотность воды ($r=0,92$) и содержание в воде легкоокисляемых и трудноокисляемых веществ (r соответственно равны 0,91 и -0,91). Меньшее влияние на процессы нитрификации оказывает кислородный режим (степень насыщения воды кислородом) ($r=0,69$). Обнаружена обратная зависимость между степенью насыщения воды кислородом и ХПК ($r = -0,98$) и удовлетворительная прямая зави-

Таблица 5

Токсичность воды различных участков р. Содышка

Створ	По выживаемости <i>Daphnia magna</i>	По величине изменения биолюминесценции бактерий «Эколюм»
1. Исток	Средне токсична	Токсична
2. До ПФ	Средне токсична	Высоко токсична
3. После ПФ	Высоко токсична	Высоко токсична
4. До плотины (вдхр)	Средне токсична	Токсична
5. После плотины	Средне токсична	Высоко токсична
6. Устье	Высоко токсична	Высоко токсична

Таблица 6

Величина $I_{нитр}$ в водоёмах с различной степенью загрязнения

Степень загрязнения	$I_{нитр}$, %
Очень чистые	99–97
Чистые	96–95
Умеренно загрязнённые	95–85
Загрязнённые	85–65
Очень загрязнённые	60–40
Очень грязные	30–10

Таблица 7

Оценка уровня загрязнения воды в р. Содышка по интегральным показателям

Показатель	Створы					
	1	2	3	4	5	6
Уровень загрязнения	1	2	3	4	5	6
ИЗВ	6 очень загр.	–	–	–	–	6 очень загр.
$N(NH_4^+)$, мг/л	6,4 очень грязн.	1,4 грязн.	4,3 очень грязн.	6,8 очень грязн.	0,8 загр.	4,8 очень грязн.
СНК, %	74,0 умер загр.	60,0 загр.	54,0 грязн.	80,0 чистые	62,4 загр.	57,0 грязн.
ХПК мг, O_2 /л	136 сильно загр.	209 очень сильно загр.	240 очень сильно загр.	104 сильно загр.	216 очень сильно загр.	224 очень сильно загр.
T, токсичность	46 токсична	68 высоко токсична	81 высоко токсична	39 токсична	72 высоко токсична	76 высоко токсична

Примечание: – нет данных.

симось между ХПК и концентрацией в воде нитрат-ионов ($r = 0,65$).

Сильная зависимость обнаружена между токсичностью и величиной ХПК ($r = 0,96$), а также токсичностью и степенью насыщения воды кислородом ($r = -0,95$). Удовлетворительная корреляция наблюдается между токсичностью и содержанием в воде трудноокисляемых органических веществ.

Данные таблицы 2 и применение корреляционного анализа позволяют сделать вывод о том, что интенсивность процессов нитрификации может быть использована как интегральный показатель уровня антропогенной трансформации водотоков, загрязняемых соединениями биогенных элементов и органическими веществами антропогенного происхождения, а также для оценки их самоочищающей способности. Исходя из анализа полученных данных, нами предлагается следующая классификация качества воды по интенсивности процессов нитрификации (табл. 6).

Допустимой, с нашей точки зрения, необходимо принять антропогенную нагрузку, при которой интенсивность процессов нитрификации снижается до 60–65%.

В таблице 7 представлены результаты оценки степени загрязнения воды в исследованных участках водотока по различным критериям. Из таблицы следует, что наблюдается удовлетворительное совпадение результатов оценок по интенсивности процесса нитрификации, ИЗВ, ХПК и концентрации аммонийного азота.

Исходя из этого, для оперативной оценки антропогенной трансформации и самоочищающей способности водотоков, загрязнённых сточными водами животноводческих комплексов и коммунального хозяйства, стоками с сельхозугодий и урбанизированных территорий, можно использовать такие интегральные показатели как интенсивность процессов нитрификации и токсичность воды с биотестом «Эколюм».

Выводы

Исследование динамики гидрохимических и гидробиологических показателей малой реки, испытывающей длительное воздействие крупных птицефабрик, ливневых стоков урбанизированных территорий показало, что:

- экологическая ёмкость экосистемы водотока ограничена, что вызвало переход качества воды за ограниченный промежуток времени от загрязнённой (3-й класс) к очень загрязнённой (6-й класс), т. е. происходит интенсивная антропогенная трансформация водотока;
- экосистема водотока утратила способность к самоочищению на большей части исследованных участков. Процессы самоочищения протекают лишь в водохранилище вследствие значительного разбавления загрязнённой воды;
- произошла токсификация экосистемы водотока – на всём протяжении реки вода токсична;
- вследствие токсификации экосистемы водотока в ней подавлены процессы нитрификации и биотрансформации органических веществ;
- для оценки самоочищающей способности водотоков с высоким уровнем загрязнения аммонийным азотом и другими соединениями биогенных элементов, предложено использовать интенсивность нитрификации и токсичность воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ ГК № П970 от 27.05.2010.

Литература

1. Долгоносов Б.М. Проблемы обеспечения качества воды в природотехнологическом комплексе водоснабжения // Инженерная экология. 2003. №5. С. 2–14.
2. Трифонова Т.А., Сенатов А.С. Оценка предельно допустимой техногенной нагрузки на водотоки малого речного бассейна // Геоэкология. 2008. № 4. С. 322–330.
3. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Под ред. Т.В. Гусевой. М.: ФОРУМ: ИНФА-М. 2007. 192 с.
4. Фрумин Г.Т. Экологическая химия и экологическая токсикология. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2000. 198 с.
5. Сиренко Л.А. Эвтрофирование континентальных водоёмов и некоторые задачи по его контролю // Научные основы контроля качества воды по гидробиологическим показателям. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 213 с.
6. ФР.1.39.2007.03222 «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний».
7. Методические рекомендации «Определение токсичности воды и водных экстрактов из объектов окружающей среды по интенсивности биолюминесценции бактерий». ГК СЭН РФ. М. 1996. 38 с.
8. Биелек П., Кудеяров В.Н. Экологические проблемы накопления нитратов в окружающей среде // Всесоюзная конференция: Тезисы докл. Пушкино. 1989. С. 11.
9. «О состоянии окружающей среды и здоровья населения Владимирской области в 2008 году» / Под ред. А.А. Мигачёва. 2009. 117 с.
10. Синельников В.Е. Механизмы самоочищения водоёмов. М.: Стройиздат, 1980. 111 с.