

шиеся открытые потоки. – Л.: Гидромете-
оиздат, 1968. – 284 с.

6. Романов А. В. Обратные задачи математического моделирования неустановившегося движения воды в реках. – М.: Научный мир, 2008. – 2008. – 184 с.

7. Романов А. В. Обратные задачи математического моделирования трансформации волн паводков и половодья // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 8. – С. 91–99.

8. Романов А. В. О технологии идентификации одномерной модели неустановившегося движения воды в сложном речном русле // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 4. – С. 37–41.

9. Doherty J., Skahill B. E. An advanced regularization methodology for use in

watershed model calibration // Journal of Hydrology. – 2006. – V. 327. – P. 564–577.

10. Moore C., Wöhling T., Doherty J. Efficient regularization and uncertainty analysis using a global optimization methodology // Water Resources Research. – 10.1029/2009WR008627. – 2010.

Материал поступил в редакцию 12.03.12.

Романов Алексей Викторович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник

Тел. 8(499) 795-20-18

E-mail: alexey.romanov@tmcot.ru.

Ильнич Виталий Витальевич, кандидат технических наук, профессор

Тел. 8-903-269-51-74, 8(499) 976-17-45

E-mail: vv_ilinitch@mail.ru.

УДК 502/504:556

В. Н. МАРКИН

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕК ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ

Экологическое состояние водных объектов во многом зависит от внешнего воздействия, величина которого не должна превышать допустимых пределов. В этом случае экосистема сохраняет свою устойчивость. Определение допустимых воздействий – задача, связанная с оценкой экологического состояния водного объекта при разных уровнях внешнего воздействия.

Рассмотрен вопрос оценки экологического состояния рек и их устойчивости к загрязняющему воздействию. Для этой цели использован метод соответствия параметров, который позволяет связать гидрохимические и гидробиологические параметры водного объекта с гидрологическими. Это дает возможность оценить изменение качества воды для лет разной водности и экологическое состояние водного объекта при разном уровне загрязнения.

Загрязнение, качество воды, водный объект, экологическое состояние.

The ecological condition of water objects depends on the external influence which size shouldn't exceed admissible limits. In this case an ecosystem keeps the stability. Definition of admissible influences is a difficult problem that is connected with an estimation of an ecological condition of water object being under different levels of external influence.

In the work the question of an ecological condition estimation of the rivers and their stability to polluting influence is considered. For this purpose the method of «Conformity of parameters», which allows to connect hydrochemical and hydrobiological parameters of water objects with the hydrological, is used. It gives an opportunity to estimate change of water quality in years of different flow, and an ecological condition of water object under different level of pollution. That defines novelty of the work.

Pollution, water quality, water object, ecological condition.

Экологическое состояние водных экосистем во многом определяется их устойчивостью к внешним воздействиям, т. е. способностью сохранять параметры и структуру, находясь под влиянием антропогенного воздействия, например загрязнения. Оценка экологического состояния водных объектов с разным уровнем загрязнения позволяет определить допустимые нагрузки и

достаточность проводимых или планируемых водоохранных мероприятий.

Экологическое состояние экосистемы можно разделить на зоны, которые выделяются по степени изменения процессов саморегуляции водных объектов [1–3]. Зоны характеризуются обратимостью или необратимостью процессов, протекающих внутри водного объекта (табл.1).

Таблица 1

Связь качества воды и характеристик состояния водных экосистем

Показатель	Класс качества воды					
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
Состояние	Олиготрофное	Мезотрофное		Эвтрофное		Гиперэвтрофное
Обратимость процессов	Обратимые		Пороговая стадия	Необратимые		

Зона обратимых изменений характеризуется способностью водной системы, находящейся под влиянием антропогенного воздействия, сохранять свои свойства и состав без изменений. Увеличение антропогенного воздействия выводит систему на пороговый уровень. Состав и свойства системы в этом случае претерпевают определенные изменения, но она способна восстановиться при снижении нагрузки. Восстановление сопровождается снижением биопродуктивности и видового состава. Дальнейшее увеличение воздействия переводит систему в зону необратимых изменений, когда она утрачивает способность вернуться в естественное исходное состояние даже после снятия нагрузки. Изменения, происходящие в ней, существенны и необратимы, что означает деградацию данной системы.

для природных (естественных или приемлемых) условий $f^{ест}(\varphi)$ и условий, учитывающих антропогенное воздействие, $f^{ант}(\varphi)$. Площадь перекрытия данных функций $\Delta P = \int f^{ест}(\varphi)d\varphi - \int f^{ант}(\varphi)d\varphi$ представляет собой вероятность сохранения естественного состояния и интерпретируется как степень сохранности экосистемы. Величина ΔP позволяет с помощью классификационной таблицы оценить состояние водного объекта, допустимость внешнего антропогенного воздействия и достаточность водоохранных мероприятий (табл. 2).

Таблица 2

Классификация состояний экологической системы

Степень сохранности, ΔP			
< 35	35...60	60...80	>80
Кризисное	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	Хорошее

Антропогенное влияние не должно выводить систему за пределы пороговой зоны, что и определяет уровень допустимого воздействия, а класс качества «умеренно загрязненной» воды следует считать приемлемым.

Оценка качества воды в водных объектах и их экологического состояния основана на использовании некоторых показателей, в частности комплексных показателей качества воды [4]. Обосновано это тем, что такие показатели прямо или косвенно связаны с гидробиологическими и гидрологическими показателями, поскольку характеризуют один и тот же водный объект. Комплексные показатели достаточно адекватно отражают состояние среды обитания водных организмов, а

Оценка допустимого воздействия – задача очень сложная из-за разнообразия по видам, интенсивности, масштабам и продолжительности влияния, которое человек оказывает на природные системы. Решение задачи возможно с помощью метода, предложенного В. В. Шабановым [4]. Суть его заключается в сопоставлении функции распределения фактора среды

значит, экологическое состояние водного объекта [5].

Автором рассмотрены вопросы изменения состояния системы в зависимости от уровня загрязненности воды. Уровень загрязненности воды задавался для условий среднего по водности года (50 % обеспеченности) величиной индекса загрязнения воды (ИЗВ_{50%}) в пределах от 0,5 (принимается в качестве естественного фона) до 3. Данный показатель представляет собой усредненную кратность превышения нормативных значений химических показателей, используемых для расчета индекса загрязнения воды. В годы разной водности загрязненность воды оценивают путем пересчета величины ИЗВ_{P%}:

$$\text{ИЗВ}_{P\%} = \frac{\text{ИЗВ}_{50\%} \cdot K_p^{50\%}}{K_p^{P\%}},$$

где $K_p^{50\%}$ – модульный коэффициент стока обеспеченностью 50 %; $K_p^{P\%}$ – модульный коэффициент стока для года заданной обеспеченности P % (модульные коэффициенты принимаются в зависимости от коэффициентов вариации стока $C_v = 0,3; 0,5; 1,0$ при $C_s = 2C_v$).

При этом сделано допущение, что объем загрязнений остается постоянным в разные по водности годы. Это справедливо при поступлении загрязнений от таких источников, как промышленность, коммунально-бытовое хозяйство, сельскохозяйственное водоснабжение, на долю которых приходится более 60 % общего объема загрязнений, сбрасываемых в поверхностные водные объекты.

Использование расчетной формулы позволяет построить кривые обеспеченности показателя ИЗВ_{P%}, которые используются для определения соответствия качества воды определенному классу и для оценки степени сохранности.

Оценка изменения качества воды. Если качество воды в средний по водности год соответствует классу «чистая» (ИЗВ_{50%} = 0,5 – естественный уровень загрязнения воды при $C_v = 0,3$, рис. 1), то система сохраняет данное качество практически в все годы ($P = 0,001 \dots 99$ %). При общей загрязненности на уровне ИЗВ_{50%} = 1 (уровень предельно допустимых концентраций) вода соответствует классу «чистая» в годы с обеспеченностью меньше 50 % и классу «умеренно загрязненная» для лет с водностью более 50 %.

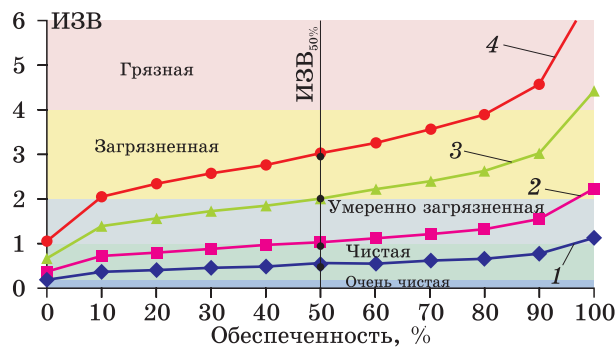


Рис. 1. Кривые обеспеченности индекса загрязнения воды при коэффициенте вариации стока $C_v = 0,3$: 1 – ИЗВ_{50%} = 0,5; 2 – ИЗВ_{50%} = 1; 3 – ИЗВ_{50%} = 2; 4 – ИЗВ_{50%} = 3

Повышение коэффициента вариации стока до $C_v = 0,5$ приводит к некоторому снижению диапазона обеспеченности, в котором сохраняется исходное качество воды. Классу «чистая» вода соответствует в диапазоне 10...90 % (рис. 2). Загрязненность на уровне ИЗВ_{50%} = 1 позволяет сохранить приемлемое качество (не хуже класса «умеренно загрязненная») с вероятностью 90 %. Дальнейшее повышение общего уровня загрязнения приводит к тому, что вероятность сохранения приемлемого качества становится менее 50 %.

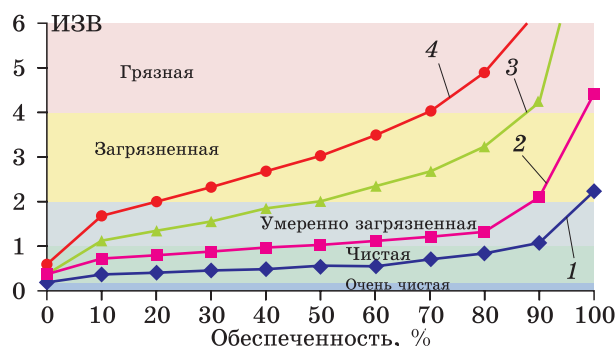


Рис. 2. Кривые обеспеченности индекса загрязнения воды при коэффициенте вариации стока $C_v = 0,5$: 1 – ИЗВ_{50%} = 0,5; 2 – ИЗВ_{50%} = 1; 3 – ИЗВ_{50%} = 2; 4 – ИЗВ_{50%} = 3

Увеличение вариации стока ($C_v = 1$) приводит к тому, что вода остается чистой в диапазоне от 20 до 70 %. Возможно ухудшение качества воды в очень маловодные годы. Вероятность сохранения приемлемого уровня качества воды быстро снижается (85, 70, 50 и 35 %) при увеличении уровня загрязненности (соответственно при ИЗВ_{50%} = 0,5; 1; 2; 3).

Оценка изменения состояния водной экосистемы. Состояние экосистемы ($C_v = 0,3$) резко ухудшается при общей

загрязненности на уровне $ИЗВ_{50\%} = 2$ и практически соответствует «катастрофическому» уровню при $ИЗВ_{50\%} = 3$. Степень сохранности оценивают соответственно как 50 и 10 %, что соответствует эвтрофной стадии развития, характеризующейся необратимыми процессами (рис. 3).

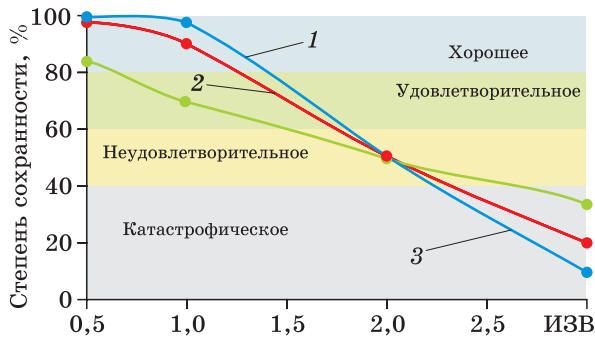


Рис. 3. Изменение состояния экосистемы, определяемое по степени сохранности речной системы в зависимости от разного уровня загрязненности в средний по водности год при разных значениях коэффициента вариации стока C_v : 1 – $C_v = 1$; 2 – $C_v = 0,5$; 3 – $C_v = 0,3$

Если $C_v = 0,5$, то состояние резко ухудшается при загрязненности на уровне $ИЗВ_{50\%} = 2$ и оценивается как «катастрофическое» при уровне $ИЗВ_{50\%} = 3$, что также соответствует эвтрофной (и даже гиперэвтрофной) стадии развития, характеризующейся необратимыми процессами.

Состояние системы ($C_v = 1$) оценивают как «хорошее» только при загрязненности на уровне $ИЗВ_{50\%} = 0,5$ (см. рис. 3). Повышение уровня загрязненности до 2 и 3 приводит к выводу системы соответственно в состояние «неудовлетворительное» и «катастрофическое».

Выводы

«Удовлетворительное» состояние водной экосистемы сохраняется (при разных значениях C_v) в разные по водности годы при средней загрязненности воды менее 2 ПДК ($ИЗВ_{50\%} \leq 1,5...1,8$).

Вариация стока существенно влияет на степень сохранности системы. При низких значениях C_v речная система более чувствительна к уровню загрязнения. Чем больше значение коэффициента вариации, тем выше сопротивляемость системы загрязняющему воздействию (на

рис. 4 видно, что с ростом C_v диапазон изменения степени сохранности снижается с 90 до 50 %).

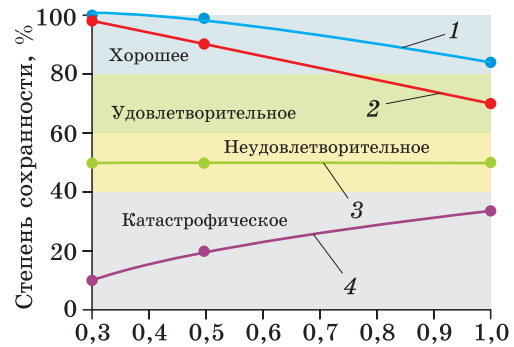


Рис. 4. Изменение состояния экосистемы, определяемое по степени сохранности речной системы в зависимости от коэффициента вариации стока C_v при разных уровнях загрязненности в среднемноголетних условиях: 1 – $ИЗВ_{50\%} = 0,5$; 2 – $ИЗВ_{50\%} = 1$; 3 – $ИЗВ_{50\%} = 2$; 4 – $ИЗВ_{50\%} = 3$

1. Дмитриев В. В. Оценка экологического состояния водных объектов суши. Уязвимость водной экосистемы // Экология. Безопасность. Жизнь. – 2000. – С. 284–296.

2. Зуева Н. В. Оценка экологического состояния малых рек Северо-Запада России на основе структурных характеристик сообществ макрофитов (на примере Ленинградской области): автореф. дис. ... канд. биол. Наук. – СПб: Санкт-Петербургский госуниверситет, 2007.

3. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2-х книгах. – М.: Наука, 2005. – Кн. 1. – 281 с.; Кн. 2. – 337 с.

4. Шабанов В. В, Маркин В. Н. Методика эколого-водохозяйственной оценки водных объектов: монография – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – 154 с.

5. Алимов А. Ф. Территориальность у водных животных и их размеры // Известия АН. Сер. биолог. – № 1. – 2003. – С. 93–100.

Материал поступил в редакцию 21.04.11.
 Маркин Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, доцент
 Тел. 8-903-012-67-10