

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СУШИ (часть III)**  
(Оценка устойчивости водотоков к внешним воздействиям)

**Дмитриев В.В.** – доктор географических наук, проф. СПб ГУ

В восьмом выпуске информационно-исследовательского сборника нами обобщены некоторые классификации и типизации, используемые в экологическом мониторинге водных объектов суши для характеристики сапробности, качества воды, выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Там же приведены пять практических работ для освоения теоретического материала, которые могли быть положены в основу подготовки самостоятельных экологических исследований на водных объектах.

В десятом выпуске сборника, в статье, предназначенной как для преподавателей, так и для студентов, школьников-старшеклассников, подготовленных к работе на водных объектах, речь шла о возможности оценки уязвимости водоема по физико-географическим, климатическим условиям и параметрам его гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов к внешним воздействиям. При этом отмечалось, что оценку устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов необходимо проводить именно для водоемов, а не для водотоков, как это пытались делать некоторые участники экологических олимпиад в своих работах.

**Водоемы и водотоки**

Постоянное или временное скопление бессточных или с замедленным стоком вод в естественных или искусственных понижениях земной поверхности (естественное или искусственное скопление текучих и/или стоячих вод) образует особую форму сосредоточения воды на поверхности Земли, которую обычно называют водоемом. Иногда, например, в ГОСТ 17.1.02-77, различают водоем в узком значении как место скопления стоячих вод (озеро, водохранилище, пруд и др.) и водоток (река, канал, ручей и др.). Термин водный объект используют для характеристики любой формы сосредоточения воды (снега, льда) на поверхности суши (иногда с добавлением почвенных и подземных вод), для изучения которых применяются гидрологические способы измерения и анализа. Под водным объектом понимается сосредоточение вод на поверхности суши в формах ее рельефа либо в недрах, имеющее границы, объем и черты водного режима. В на-

стоящее время водные ресурсы определяют как запасы поверхностных и подземных вод, находящихся в водных объектах, которые используются или могут быть использованы. Гидрологическим режимом называются закономерные изменения состояния водного объекта во времени, обусловленные физико-географическими свойствами бассейна и, в первую очередь, его климатическими условиями.

Гидрологический режим проявляется в виде многолетних, сезонных и суточных колебаний элементов гидрологического режима явлений и процессов (например, колебания уровня, расходов, температуры воды и т.п.), которые характеризуют гидрологический режим водного объекта. Широко употребляются в гидрологии и смежных науках также такие понятия, как гидрохимический режим и гидробиологический режим. Ниже речь пойдет о способности природных систем сохранять параметры режимов или менять их в результате изменения естественных условий или антропогенных воздействий.

#### **Устойчивость. Основные определения.**

Основные авторские понятия, связанные с устойчивостью природных систем приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### **Основные определения, связанные с устойчивостью (по В.В. Дмитриеву, 1995, 2000)**

	<b>Понятие</b>	<b>Авторское определение понятия</b>
<b>1</b>	<b>Устойчивость системы к воздействию</b>	Способность системы сохранять квазипостоянными свои свойства и параметры режимов в условиях действующих внутренних и внешних возмущений
<b>2</b>	<b>Уязвимость системы</b>	Утрата системой (отсутствие у системы) способности сохранять квазипостоянными свои свойства и параметры режимов в условиях действующих внутренних и внешних возмущений
<b>3</b>	<b>Изменчивость системы</b>	Свойство системы менять характеристики своего функционирования вследствие изменений собственных параметров или при внешних возмущениях
<b>4</b>	<b>Чувствительность системы</b>	Способность системы реагировать на незначительные по величине воздействия
<b>5</b>	<b>Период релаксации системы</b>	Время, необходимое для приведения системы в равновесное состояние из неравновесного после действия внутреннего или внешнего возмущающего фактора

	<b>Понятие</b>	<b>Авторское определение понятия</b>
<b>6</b>	<b>Пределы устойчивости системы (верхний и нижний)</b>	Количество возмущающего фактора в единицах его измерения, которое приводит систему к необратимым изменениям. Применительно к такому фактору как температура, Б. Небел (1993) ввел понятие диапазона устойчивости (интервал температур от минимальной до максимальной, при которых еще возможен рост организма). Точки, ограничивающие интервал, он называет пределами устойчивости. Между зоной оптимума и пределами устойчивости, по его мнению, расположена стрессовая зона в рамках диапазона устойчивости по данному фактору
<b>7</b>	<b>Инертность</b>	Способность системы сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени
<b>8</b>	<b>Пластичность</b>	Способность системы накапливать результаты внешних воздействий, не изменяя при этом до определенного предела кардинально своих свойств и режима
<b>9</b>	<b>Восстанавливаемость</b>	Способность системы возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия на нее
<b>10</b>	<b>Упругость</b>	Свойство системы полностью возвращаться в исходное состояние после прекращения внешнего воздействия
<b>11</b>	<b>Буферность или буферная емкость</b>	Способность системы сохранять присущее ей состояние и в определенной мере нейтрализовывать направленные на нее внешние воздействия

Оценка устойчивости водотоков к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Под устойчивостью водного объекта к изменению параметров режимов будем понимать его способность сохранять квазипостоянными свои свойства и параметры режимов в условиях действующих на него внешних и внутренних нагрузок. Тогда уязвимыми к изменению параметров режимов будут объекты, не способные сохранять указанные свойства на определенном временном интервале функционирования. Позволим себе еще раз напомнить о том, что оценка уязвимости или устойчивости к изменению свойств природной системы не сводится только к учету одного какого-либо свойства. Она получается как результат учета многих свойств, характеризующихся большим набором параметров оценивания, среди которых физико-географические и климатические условия и характер антропогенного воздействия являются определяющими. Исследование этих свойств и их изменчивости расширяет кругозор исследователя, обуславливает необходимость формирования у него эколого-географического мышления. Необходимо также заметить, что уязвимость (устойчивость) водных экоси-

стем циклического (озера, слабо-проточные водоемы, пруды) и транзитного (реки, сильно проточные водоемы) типов обусловлена разными природными механизмами. Устойчивость первого типа можно назвать адаптационной, устойчивость второго типа – регенерационной. Если в первом случае важнейшим свойством природной системы является ее способность сохранять исходное состояние или плавно переходить в другое состояние, сохраняя при этом внутренние связи (инертность, пластичность), то во втором случае на первое место выходит способность системы многократно восстанавливать свои свойства, возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия (восстанавливаемость). К этому можно добавить, что биотические и абиотические составляющие экосистемы по механизмам устойчивости также различаются между собой. Устойчивость первых достигается физико-механическими и химическими процессами переноса, разбавления, сорбции, миграции вещества; устойчивость вторых обусловлена способностью адаптации организмов к воздействию как в результате внутренней резистентности биохимической организации, так и за счет способности к биохимическому разложению токсичных соединений и изменению удельных скоростей обменных процессов в экосистеме под влиянием воздействия (Дмитриев, 2000). Еще раз заостряем внимание на том, что при получении выводов о степени уязвимости (устойчивости) водного объекта не следует отождествлять устойчивость с экологическим благополучием. При высоком загрязнении водного объекта он может оказаться достаточно устойчивым к антропогенному воздействию, но это не свидетельствует о его благополучии.

### **Балльно-индексный метод оценки устойчивости и уязвимости водотоков**

Метод основан на последовательном суммировании индексов для соответствующих признаков оценивания, разрядов и баллов по таблицам; получения суммарной балльной оценки и нахождению в итоге класса и подкласса уязвимости водотока (таблицы). Таким образом, сначала необходимо последовательно просуммировать индексы, затем разряды в соответствии с примечаниями к каждой таблице. После этого по сумме разрядов найти баллы уязвимости (семейство уязвимости), прибавить к ней баллы качества воды (род уязвимости) и по полученной сумме баллов найти класс и подкласс уязвимости водотока (комбинация семейств и родов).

Рассмотрим подробно этапы оценивания. Сначала находим значения индексов (1, 2 или 3) по каждому из трех признаков по табл. 2, суммируем все три найденных значения индекса и по примечанию к таблице находим разряд водоема по физико-географическим признакам.

**Классификация водотоков по физико-географическим признакам  
(ГОСТ 17.1.1.02-77)**

Признаки(индекс)	1	2	3
Географическая зона	недост. увлажнения	избыт. и переменные увлажнения	переменные увлажнения
Сезон года	зима	лето-осень	—
Период действия водотока	постоянный	—	временный

Примечание. Водоток с суммой индексов от 3 до 4 относится к 1 разряду, от 5 до 7 – ко 2 разряду.

К зоне недостаточного увлажнения относится равнинная территория, расположенная южнее изолинии 0,5 л/с\*км<sup>2</sup> в соответствии с картой 30-суточного стока 80%-ной обеспеченности за летне-осенний период. Затем находим значения индексов (1, 2 или 3) по каждому из четырех признаков по табл. 3, суммируем все три найденных значения индекса и по примечанию к таблице находим разряд водоема по первой группе гидрологических признаков, характеризующих маловодную фазу.

Таблица 3

**Классификация водотоков по характеру маловодной фазы**

Признаки (индекс)	1	2	3
Продолжительность низкого стока, мес.	>2	2	<2
Характер стока, категория	устойчивый	средний	прерывистый
Продолжительность ледостава, мес.	>5	5–2	<2
Продолжительность отсутствия стока, мес.	>1	1	<1

Примечание. Водоток с суммой индексов от 2 до 5 относится к 1 разряду, от 6 до 12 – ко 2 разряду.

После этого находим значения индексов (1, 2 или 3) по каждому из трех признаков по табл. 4, суммируем все три найденных значения индекса и по примечанию к таблице находим разряд водоема по второй группе гидрологических признаков, характеризующих температурный и водный режимы.

Таблица 4

**Классификация водотоков по гидрологическому режиму**

Признаки (индекс)	1	2	3
Скорость течения, м/с	>1	0,2–1	<0,2
Колебания уровня, м	>2	1–2	<1
Температура воды, °С	>15	10–15	<10

Примечание. Водоток с суммой индексов от 3 до 4 относится к 1 разряду, от 5 до 7 – ко 2 разряду, от 8 до 9 – к третьему разряду.

Затем находим значения индексов (1, 2 или 3) по каждому из двух признаков по табл. 5, суммируем два найденных значения индекса и по примечанию к таблице находим разряд водоема по группе гидрологических признаков, характеризующих размер и водность водотоков.

Таблица 5

**Классификация водотоков по размеру и водности**

Признаки (индекс)	1	2	3	4
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	>50000	2000-50000	2000-50000	<2000
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	>100	5-100	<5	<5

Примечание. Водотоки с суммой индексов 2 и 3 относятся к 1 разряду, 4 и 5 – к 4 разряду, от 6 до 7 – к 6 разряду.

Затем суммируем полученные по таблицам 2 – 5 разряды и входим в левую часть табл. 6 (семейство уязвимости). Полученной сумме разрядов здесь ставится в соответствие определенное количество баллов. Запоминаем их для дальнейших расчетов. Обратите внимание, что класс водотока в табл. 6 обозначен римской цифрой, он отражает физико-географические и гидрологические особенности водотока. Подкласс водотока обозначен большими буквами А и Б, он отражает степень оптимальности условий формирования водности и качества воды. Оптимальными условиями являются не экстремальные условия, для которых сумма разрядов может быть наименьшей (А), а наиболее благоприятные для формирования водности и качества воды промежуточные условия (Б). Водотоки с благоприятными условиями формирования будем считать менее уязвимыми (более устойчивыми) по сравнению с водотоками с неблагоприятными условиями, поэтому в табл. 6 им ставится в соответствие меньшее количество баллов. Чем меньшее количество баллов получено на данном этапе, тем более устойчива речная система к изменению параметров режимов.

**Балльная оценка устойчивости водотоков к изменению физико-географических, гидрологических параметров, качества воды. Семейство устойчивости (класс по ГОСТ 1.1.02-77). Род устойчивости по качеству воды. Основные комбинации семейств и родов для отмеченных (\*) баллов качества воды.**

Обозначение	Сумма разрядов	Баллы	Качество воды	Баллы	Обозначение	Сумма
IA	3-5	14	Очень грязная и грязная (*)	1	IA1	15
					IA2	19
					IA3	29
IB	6-7	8	Загрязненная	3	IB1	9
					IB2	13
					IB3	23
IIA	8	20	Умеренно загрязненная (*)	5	IIA1	21
					IIA2	25
					IIA3	35
IIB	9-10	16	Чистая	8	IIB1	17
					IIB2	21
					IIB3	31
IIIA	11	26	Очень чистая	15	IIIA1	27
					IIIA2	31
					IIIA3	41
IIIB	12-13	22			IIIB1	23
					IIIB2	27
					IIIB3	37

Примечание.

(\*) возможно деление качества воды на большее количество классов. В этом случае соответственно увеличится количество комбинаций семейств и родов. Для покомпонентной оценки качества воды можно воспользоваться приведенными в выпуске 8 настоящего сборника (Дмитриев, 1999) классификациями качества воды или наиболее простой из них, приведенной в таблице 7.

Таблица 7

**Классификация загрязненности водных объектов по химическим параметрам (по Былинкиной, Драчеву, Ицковой; цит. по Зенину, Белоусовой, 1988)**

Параметры	Класс качества	Растворенный кислород			БПК5 мгО/л	ХПК мгО/л	Аммонийный азот, мг/л
		% насыщение		Абс. содержание			
		Лето	Зима- 95				
I	Очень чистые	9	13-14	100	0.5-1.0	1	<0.05
II	Чистые	8	11-12	80	1.1-1.9	2	0.1
III	Умеренно загрязненные	6-7	9-10	70	2.0-2.9	3	0.2-0.3
IV	Загрязненные	4-5	4-5	60	3.0-3.9	4	0.4-1.0
V	Грязные	1-5	2-3	30	4.0-10.0	5-15	1.1-3.0
VI	Очень грязные	0	0	0	>10	>15	>3.0

Качество воды оценивается на покомпонентной или на многокритериальной основе (Дмитриев и др., 1996, 1997) с указанием, по какому (каким) критерию выполнена оценка. После этого снова входим в таблицу 6 (род устойчивости по качеству воды) и по качеству воды выбираем соответствующие баллы (от 1 до 15). Складываем их с баллами, полученными ранее, и получаем итоговое число баллов. В правой части табл.6 приводятся только основные комбинации семейств и родов для отмеченных (\*) классов качества воды. В табл.8 приводятся результаты обобщения комбинаций и граничные значения баллов между классами устойчивости с учетом того, что первый класс характеризуется минимальной уязвимостью (максимальной устойчивостью), а последний класс максимальной уязвимостью (минимальной устойчивостью).

Таблица 8

**Классы устойчивости водотоков**

Класс устойчивости	Баллы	Обозначения комбинаций
I (макс.)	9-19	IB1, IB2, IA1, IB1, IB1
II	21-29	IB3, IA3, IB2, IA1, IA2, IB2, IB1, IA1
III (мин.)	31-41	IB3, IA3, IB3, IA3, IA2, IA3

### **Практическое задание:**

1. Оценить устойчивость нескольких водотоков Северо-Запада России к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Для этого выбрать водоемы, найти параметры режимов, необходимые для оценки устойчивости по балльно-индексной методике; определить количество баллов и класс устойчивости водоема.

2. Ответьте на вопрос, при каких изменениях параметров водотоки могут изменить свою устойчивость. Оцените тенденцию изменения устойчивости за последние годы.

### **Используемая литература**

1. Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды. Л., ГМИ, 1991, 423 с.
2. Дмитриев В.В. Оценка экологического состояния водных объектов суши/ Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. Гатчина. 1999, с. 200–217.
3. Дмитриев В.В. Оценка экологического состояния водных объектов суши (часть II). Уязвимость водной экосистемы / Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. Гатчина. 2000, с. 284–296.
4. Дмитриев В.В. Оценка экологического состояния природных объектов. Что такое экологическая оценка и как построить интегральный показатель состояния природной экосистемы / Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. Гатчина. 2001, с. 225–237.
5. Снакин В.В., Мельченко В.Е., Бутовский Р.О. и др. Оценка состояния и устойчивости геосистем. М., ВНИИ природа, 1992, с. 127.