

УДК 504.4.054 + 504.06 + 556

В.М. Удод, М.Ю. Яцив

**КОМПЛЕКСНЫЕ КРИТЕРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРИВОДОЕМНЫХ
ПРОЦЕССОВ**

Национальный университет строительства и архитектуры,
г.Киев, Украина

Разработаны современные методы экологического контроля состояния гидроэкосистем бассейнов рек для обеспечения их устойчивого развития, оценки самовосстановливающих свойств водных экосистем, которые являются отражением внутриводоемных процессов. Впервые для проведения экологического контроля гидроэкосистем предложен индекс развития последних.

Ключевые слова: оценка качества поверхностных вод, самоочищение вод, экологический контроль гидроэкосистем.

Введение. Социально-экономическое развитие неразрывно связано с использованием воды, потребление которой происходит в растущих масштабах (глобальное водоснабжение за последние 20 лет увеличилось почти в 10 раз). Вместе с тем поверхностные водотоки, являющиеся источником воды для питьевого и хозяйственного использования, в результате действия техногенных факторов количественно и качественно истощены. Так, по данным Всемирного фонда природы [1], всего за 30 лет (1970 – 2000 гг.) произошло "уничтожение" (трансформация) 6% гидроэкосистем, которые использовали для питьевого водоснабжения. Антропогенное превращение водных экосистем привело к изменению гидрологических, гидрохимических, биологических и бактериологических показателей. В связи с этим возникла необходимость установить лимитирующие факторы, которые нарушают эколого-безопасное развитие экосистем, с учетом [2, 3]: бассейнового принципа исследования поверхностных рек; установления научных закономерностей изменения гидрохимических показателей на основе

© В.М. Удод, М.Ю. Яцив, 2013

данных экологического мониторинга за долгосрочный период; применения современных методов по определению класса загрязненности воды рек; определения критериев эффективности внутриводоемных процессов (устойчивость к антропогенной нагрузке, экологический уровень самоочищения); создания современных комплексных критериев экологической оценки внутриводоемных процессов, потому что они являются отражением самоочищения и саморегуляции гидроэкосистем; создания в практических целях геоинформационных технологий для сопровождения природоохранных мероприятий.

Именно по такому принципу были проведены наши исследования.

Для оценки возможностей использования воды из водных объектов для потребностей населения и экономики используют соответствие химического состава воды предельно допустимым концентрациям (ПДК) вредных веществ как критерий безопасных условий водопользования [4 – 6]. Однако система нормирования ПДК уже длительное время подвергается аргументированной критике, поскольку давно наметилась тенденция подходить к оценке состояния водных ресурсов не из потребностей каждого природопользователя, а с точки зрения сохранения структуры и функциональных особенностей всей водной экосистемы в целом для предотвращения ее деградации. То есть имеет место экологическое нормирование качества воды, что свидетельствует о необходимости разработки новых подходов к характеристике водных экосистем. В то же время определение ПДК_{рх} по рыбохозяйственным категориям можно считать определенным шагом на пути к экологическому нормированию состояния водной среды [7], что учитывает не только критерии человеческой деятельности, но и в некоторой степени допускает ограничение действия на гидробионтов.

При исследовании водных систем часто используют комплексные оценки загрязненности поверхностных вод [3, 4, 8]. К ним относятся индекс загрязненности воды (ИЗВ), комбинаторный индекс загрязненности воды (КИЗ) и экологический индекс (ЭИ) [3]. Индексы – это формализованные показатели загрязненности воды, которые обобщают более широкие группы естественных показателей, учитывают разные стороны водного объекта. Оценки такого рода могут успешно использоваться при наблюдении за динамикой изменений качества воды и ее наглядной интерпретации [3].

Однако следует отметить, что способы определения эффективности внутриводоемных процессов, которые отражают потенциал

самоочищения водоемов и являются необходимой информацией при использовании воды гидроэкосистем для потребностей централизованного водоснабжения [2, 3], исследованы недостаточно.

Цель данной работы – комплексная экологическая оценка (с использованием данных, полученных по нормативным методам) состояния экосистем на примере бассейна р. Прут (Украина), которые бы отвечали основным принципам устойчивого развития природных систем за счет:

- критериев, указывающих на изменение жизненной среды человека (антропоцентрический подход) и угрожающих его здоровью, учитывая тот факт, что ПДК поллютантов регламентирует только изолированное действие нормативного вредного агента и не предусматривает определение состояния внутриводоемных процессов (эколого-гигиенический подход);

- разработки экологических индексов определения состояния гомеостатичности водных экосистем и самовосстанавливающей их способности в природных условиях и в условиях антропогенной нагрузки (экосистемный подход) и др.

Именно с учетом основных принципов исследований, отмеченных выше, были осуществлены все наши экспериментальные работы. Исходными данными являлись:

- информационная база данных гидрологических, гидрохимических, некоторых биологических показателей, в которую вошли материалы из отраслевого государственного архива гидрометслужбы Украины для 14 створов (в том числе трех притоков) бассейна р. Прут (за 1955 – 2008 гг.);

- база статистических данных антропогенной нагрузки, в которую вошли сведения относительно водопользования в бассейне р. Прут (за 1991, 1994, 1997, 1999, 2001, 2004, 2007 гг.).

Результаты и их обсуждение. Обработано около 2100 отдельных показателей состояния воды и выявлены научные закономерности развития гидроэкосистем бассейна р. Прут. В частности, определены пространственно-временные изменения качества поверхностных вод [8, 10, 11] по всему исследуемому бассейну, а также лимитирующие факторы развития водных экосистем, что отразилось на кратности превышения некоторых показателей воды (Табл. 1).

Таблица 1. Кратность превышения ПДК (для водоемов рыбохозяйственного назначения) некоторых загрязняющих веществ в воде р. Прут по створам за 1996 – 2008 гг.

Створ	Нефте-продукты	Фенолы летучие	СПАВ	Fe _{общ}	Cu	Zn	Cr ⁶⁺	ХПК, мгО/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
	мг/дм ³											
ПДКрх												
	0,05	0,001	0,1	0,05	0,001	0,01	0,001	15	3	0,5	0,08	40
0,5 км выше г. Коломья	0,78	2	0,25	3,7	12	3,3	2	0,70	0,77	0,52	0,18	0,00
0,5 км ниже г. Коломья	1	2	0,32	5,54	13	7,7	3	0,77	0,87	0,65	0,26	0,00
0,5 км выше г. Яремча	3,66	4	0,07	8	9	1,5	3	1,42	1,24	1,23	0,08	0,01
В пределах г. Яремча	3,74	4	0,58	10,84	12	1,8	7	1,75	1,15	1,50	0,16	0,01
1 – 3,5 км выше г. Черновцы	1,06	3	0,24	4,24	8	2,6	3	0,63	0,73	0,63	0,26	0,01
1 – 3 км ниже г. Черновцы	1,24	4	0,42	8,96	13	4,5	5	0,82	0,87	1,02	0,35	0,01
7 км ниже г. Черновцы	1,32	3	0,36	8	11	4,2	5	0,82	0,90	0,94	0,35	0,01

За весь исследуемый период осуществлено определение отдельно и в сравнении разных методик оценки качества поверхностных вод на примере р. Прут [11]. Сравнивая полученные данные, можно констатировать, что оценка качества поверхностных вод по методике Гидрохимического института (г. Москва, Россия) является наиболее "жесткой". Так, вода бассейна р.Прут по значению КИЗ относится преимущественно к грязной, по ЭИ – к достаточно чистой, по ИЗВ – к умеренно загрязненной.

Проведен долгосрочный (10 лет) прогноз гидрохимического состава поверхностных вод бассейна р. Прут посредством линейных выравнивающих функций. В большинстве исследуемых створов для таких показателей качества воды, как минерализация, содержание меди, цинка, характерен рост, т.е. ухудшение качества вод, а содержание таких веществ, как синтетические ПАВ, азот амонийный, фосфаты, и суммарные показатели БПК₅ и ХПК имеют тенденцию к снижению [8, 10].

Предложена методика определения индекса развития гидроэкосистемы (ИРГ) – комплексного показателя, который оценивает уровень благополучия водной экосистемы.

Принимая во внимание опыт мировой практики [12, 13], был разработан [3] набор индикаторов, которые разносторонне раскрывают состояние развития гидроэкосистемы. В зависимости от целевой направленности выделены три группы экологических индикаторов, характеризующих состояние развития гидроэкосистемы, хозяйственную деятельность человека, которая влияет на устойчивое развитие гидроэкосистем, и действия, направленные на улучшение состояния гидроэкосистем (рисунок).

ИРГ является результатом объединения комплекса показателей. Первый этап определения ИРГ – расчет промежуточных индексов по каждому из показателей, которые должны выражаться от единицы до нуля. Для этого нужно для каждого из них установить пороговые значения – наилучшее (оптимальное) и наихудшее и использовать следующую формулу:

$$I_i = I_{\text{худш}} + \frac{(I_{\text{лучш}} - I_{\text{худш}}) \cdot (P_i - P_{\text{худш}})}{P_{\text{опт}} - P_{\text{худш}}},$$

где P_i – фактическое значение показателя, который описывает i -тую характеристику развития гидроэкосистемы; $P_{\text{худш}}$ и $P_{\text{опт}}$ – соответ-

ственно наилучшее и наилучшее значения данного показателя; $I_{\text{худш}}$ и $I_{\text{лучш}}$ – крайние значения промежуточных индексов. Для всех показателей, кроме стойкости гидроэкосистемы, $I_{\text{лучш}} = 1$, $I_{\text{худш}} = 0$. В этом случае формула приобретает вид:

$$I_i = \frac{\Pi_i - \Pi_{\text{худш}}}{\Pi_{\text{опт}} - \Pi_{\text{худш}}}.$$

Следующим этапом расчета ИРГ является определение индексов по направлениям (см. рисунок):

$$I_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m I_i,$$

где I_j – индекс по направлению; m – количество индексов по показателям, которые входят в данное направление; I_i – индекс по показателям.

Далее рассчитываем индексы по составляющим следующим образом:

$$I_l = \frac{1}{3} I_{\text{vj}} + \frac{2}{3} I_{\text{kj}},$$

где I_l – индекс по составляющим; I_{vj} – индекс по направлению "количество воды"; I_{kj} – индекс по направлению "качество воды"; $1/3$ и $2/3$ – весовые коэффициенты.

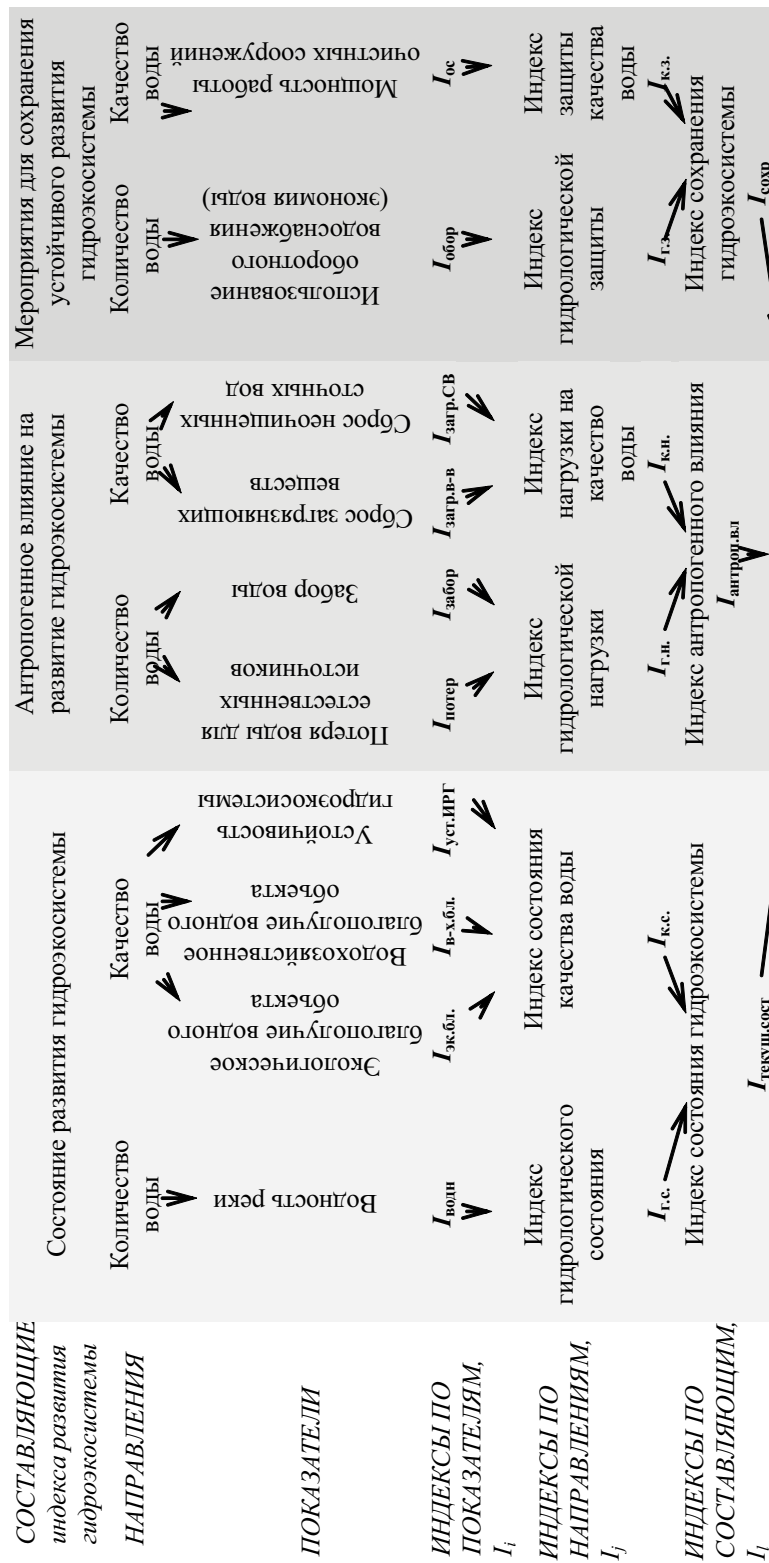
Обобщенный ИРГ рассчитываем как среднеарифметическое индексов по составляющим:

$$\text{ИРГ} = \frac{1}{3} \sum_{l=1}^3 I_l.$$

В общем виде эту формулу можно записать как

$$\text{ИРГ} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\Pi_i - \Pi_{\text{худш.}}}{\Pi_{\text{опт.}} - \Pi_{\text{худш.}}},$$

где α_i – коэффициент, который учитывает значимость данного показателя.



Структура и состав индекса развития гидроэкоисистем

В соответствии со значениями ИРГ можно использовать классификацию уровня развития гидроэкосистем: к регионам с высоким уровнем развития гидроэкосистем относятся те, в которых $ИРГ > 0,8$; к регионам со средним уровнем развития – $0,4 < ИРГ < 0,8$; к регионам с низким уровнем развития – $ИРГ < 0,4$ [3].

Третьим индикатором в направлении "качество воды" составляющей "состояние гидроэкосистем" (см. рисунок) является устойчивость гидроэкосистемы к влиянию загрязняющих веществ антропогенного происхождения. Следует отметить, что устойчивость экосистемы – это ее способность при негативном внешнем действии сохранять структуру и функции и возобновлять их при потере части компонентов экосистемы. При превышении же некоторой критической величины внешнего действия экосистема теряет устойчивость, истощается способность к самовосстановлению, что может привести к ее разрушению. То есть данный показатель учитывает такое свойство водной экосистемы, как самоочищение, которое является одним из самых важных среди разных природных факторов формирования качества поверхностных вод и состояния водных экосистем.

Чтобы обеспечить эколого-безопасное развитие гидроэкосистем, следует контролировать их способность к самовосстановлению. Для этого можно воспользоваться показателем устойчивости, который количественно характеризует процесс сопротивления экосистемы негативному внешнему действию, и рассчитывается как отношение уровня антропогенных нарушений к уровню антропогенной нагрузки, приводящей к изменениям состояния компонентов природной среды гидроэкосистемы за определенный промежуток времени [3, 4].

Уровень антропогенных нарушений можно представить количеством (концентрацией) загрязняющих веществ в воде водоема. Антропогенная нагрузка на гидроэкосистемы – это, прежде всего, сброс в водный объект загрязняющих веществ со сточными водами.

Показатель (индекс) устойчивости гидроэкосистем относительно загрязняющих веществ можно рассчитать как

$$I_{уст} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{уст.i} ;$$

$$I_{\text{уст.}i} = \frac{\frac{C_{n.i} - C_{\phi.i}}{C_{n.i}}}{\frac{Q_{n.i} - Q_{\phi.i}}{Q_{n.i}}} = \frac{Q_{n.i}(C_{n.i} - C_{\phi.i})}{C_{n.i}(Q_{n.i} - Q_{\phi.i})},$$

где $I_{\text{уст.}i}$ – индекс устойчивости гидроэкосистемы к влиянию i -того загрязняющего вещества; n – количество загрязняющих веществ, по которым определяется индекс; $C_{n.i}$ – концентрация i -того вещества в воде водоема в расчетный период, мг/дм³ (г/м³); $C_{\phi.i}$ – фоновая концентрация i -того вещества в воде водоема, мг/дм³ (г/м³); выражение

$\frac{C_{n.i} - C_{\phi.i}}{C_{n.i}}$ характеризует меру изменения (загрязненность) гидроэко-

системы i -тым веществом; $Q_{n.i}$ – количество i -того вещества, которое попадает в водоем со сточными водами в расчетный период, г (кг); $Q_{\phi.i}$ – количество i -того вещества (фоновое, минимальное), попадающего в водоем со сточными водами в период с минимальной (предельной)

нагрузкой г (кг); выражение $\frac{Q_{n.i} - Q_{\phi.i}}{Q_{n.i}}$ характеризует меру мощности

(интенсивность) антропогенного влияния на гидроэкосистему i -тым

веществом. Если $C_{n.i} = C_{\phi.i}$, то принимается $\frac{C_{n.i} - C_{\phi.i}}{C_{n.i}} = 0,01$.

Степень экологически безопасного развития всего бассейна реки – по всем створам, на которых ведется мониторинг, можно определить следующим образом:

$$I_{\text{уст}}^{\text{бас}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m I_{\text{уст.}j},$$

где $I_{\text{уст}}^{\text{бас}}$ – индекс устойчивости гидроэкосистемы для всего бассейна реки; m – количество створов в бассейне исследуемой реки, по которым определяется индекс; $I_{\text{уст.}j}$ – индекс устойчивости гидроэкосистемы в j -том створе реки.

При помощи данной методики можно проанализировать степень чувствительности гидроэкосистемы к влиянию разных загрязняющих веществ (Табл. 2). Так, водная экосистема бассейна р. Прут наиболее

чувствительна к влиянию взвешенных веществ (г.г. Черновцы, Яремча, Коломыя).

Таблица 2. Классификация устойчивости водной экосистемы соответственно значениям $I_{уст}$

Значение $I_{уст}$	Характеристика гидроэкосистемы
$0 \leq I_{уст} \leq 0,5$	Гидроэкосистема очень устойчива к антропогенному влиянию. Высокий потенциал самовосстанавливающей способности системы
$0,5 < I_{уст} \leq 1,0$	Гидроэкосистема достаточно устойчива к антропогенному влиянию. Достаточный потенциал самовосстанавливающей способности системы
$1,0 < I_{уст} \leq 5,0$	Гидроэкосистема чувствительна к антропогенному влиянию. Низкий потенциал самовосстанавливающей способности системы, потеря способности системы к самовосстановлению, начало ее деградации
$5,0 < I_{уст} \leq 10,0$	Гидроэкосистема очень чувствительна к антропогенному влиянию. Деградация экосистемы, кризисное состояние самовосстанавливающего механизма

Примечание. Теоретически при расчетах возможны значения $I_{уст} \rightarrow \infty$, однако для удобства пользования классификацией ограничим значение $I_{уст} \leq 10,0$. То есть, если в результате расчета получаем $I_{уст} > 10,0$, принимаем $I_{уст} = 10,0$.

Отдельно изучено определение самовосстанавливающих способностей гидроэкосистем. В качестве индикаторов способности водоема к самоочищению были выбраны широко применяемые показатели БПК_{полн}, ХПК [2, 3]. Процессы самоочищения в водной экосистеме характеризуют ее уровень экологически безопасного развития. В существующих методиках определения этих процессов используются характеристики изменений концентраций растворенного кислорода, БПК воды [2]. В то время, когда в воде присутствуют продукты метаболизма исходных соединений, биологически трудноокисляемые соединения, эти методики в полной мере не учитывают все факторы, которые влияют на процессы самоочищения, и поэтому в количественном отношении дают заниженные или завышенные результаты.

Оценка самоочищения воды именно от трудноокисляемых органических веществ является наиболее показательной, поскольку не всегда

при снижении БПК, а соответственно и ХПК, происходит уменьшение разницы между ними. В то же время снижение количества трудноокисляемых органических веществ, как правило, гарантирует снижение количества и легкоокисляемых веществ.

Для оценки эффективности процесса самоочищения воды от трудноокисляемых соединений E_c воспользуемся формулой

$$E_c = \frac{R}{\text{ХПК}_{\text{нач}} - \text{БПК}_{\text{нач}}},$$

где R – количество субстрата, использованного для пластических целей (в единицах ХПК):

$$R = \text{ХПК}_{\text{нач}} - \text{БПК}_{\text{нач}} - (\text{ХПК}_{\text{кон}} - \text{БПК}_{\text{кон}}),$$

здесь $\text{ХПК}_{\text{нач}}$ – химическое потребление кислорода воды в начальном створе реки (начальное ХПК неочищенной воды), $\text{ХПК}_{\text{кон}}$ – то же в конечном створе (конечное ХПК очищенной воды), мгО/дм³; $\text{БПК}_{\text{нач}}$ – полное биохимическое потребление кислорода воды в начальном створе реки (начальное $\text{БПК}_{\text{полн}}$ неочищенной воды), $\text{БПК}_{\text{кон}}$ – то же в конечном створе (конечное $\text{БПК}_{\text{полн}}$ очищенной воды), мгО₂/дм³ [14].

Полученные данные свидетельствуют, что вода в конечном створе исследуемого участка или водного бассейна в результате биохимического самоочищения будет содержать тем меньше органического субстрата, чем большая его часть может быть использована для энергетических целей (т.е. чем больше будет приходиться субстрата на $\text{БПК}_{\text{нач}}$) и для пластических целей – на прирост биомассы микроорганизмов водоема.

Предложена классификация интенсивности самоочищения воды р. Прут соответственно значениям E_c :

$E_c = 0 \dots 0,3$ – процессы самовосстановления на данном участке реки (в бассейне реки) имеют низкий уровень интенсивности;

$E_c = 0,3 \dots 0,7$ – средний уровень интенсивности самоочищения;

$E_c = 0,7 \dots 1,0$ – высокий уровень интенсивности самоочищения.

Эффективность самоочищения воды в бассейне р. Прут изменяется в очень широких границах (Табл. 3).

Таблица 3. Эффективность процессов самоочищения воды на участке р. Прут (ниже г. Черновцов)

Показатель	Дата отбора проб												
	04.04.86	03.06.88	02.01.90	26.04.91	30.01.92	08.04.93	15.06.94	29.04.96	01.11.00	14.10.01	26.07.02	08.10.04	01.02.05
ХПК _{нач}	17	41,4	25,6	29,4	20,8	17,7	11,5	13,1	9,64	10,0	20,8	4,3	4,8
БПК _{полн.нач}	10,04	4,30	11,6	5,00	7,14	4,00	2,94	3,14	1,71	4,86	11,3	1,14	3,43
ХПК _{кон}	16,30	20,0	19,0	23,0	15,3	17,1	7,80	13,0	7,71	8,00	18,4	3,20	3,00
БПК _{полн.кон}	8,86	3,84	11,0	3,86	7,00	4,00	2,90	3,0	1,29	4,29	10,9	0,86	2,86
E_c	-0,07	0,56	0,43	0,22	0,39	0,04	0,43	0,00	0,19	0,28	0,21	0,26	0,90

При $E_c < 0$ (когда снижение БПК существеннее, чем снижение ХПК) вероятно дополнительное загрязнение между створами реки. При $E_c = 0$ (когда снижении БПК и ХПК одинаковое) снижение ХПК происходит за счет снижения БПК (ведь БПК – часть ХПК).

Отношение $\text{БПК}_{\text{полн}}/\text{ХПК}$ (часть биохимически окисляемого органического вещества от общего его количества) использовали как индикатор способности водоема к самоочищению:

$\text{БПК}_{\text{полн}}/\text{ХПК} = 0 \dots 0,3$ – низкая способность;

$\text{БПК}_{\text{полн}}/\text{ХПК} = 0,3 \dots 0,7$ – средняя способность;

$\text{БПК}_{\text{полн}}/\text{ХПК} = 0,7 \dots 1,0$ – высокая способность.

Среди всех измерений по бассейну р. Прут преобладает низкая способность к самоочищению – 60,76%; случаев со средней способностью – 35,6% и только 3,64% измерений имеют высокую способность.

Данные показатели не отображают степени чистоты водоема, а характеризуют, насколько интенсивно проходят внутриводоемные процессы на исследуемом участке реки или во всем водном бассейне.

Выводы. Таким образом, проведена комплексная экологическая оценка гидроэкосистем бассейна р. Прут. Дана сравнительная характеристика существующих методов оценки состояния гидроэкосистем. В условиях использования речной воды для централизованного водоснабжения важное значение имеет определение эффективности внутриводоемных процессов. Предложена методика определения уровня развития гидроэкосистем, апробация которой осуществлена по 14 створам бассейна р. Прут за 1955 – 2008 гг.: изучено > 2000 отдельных показателей качества воды и за семь лет показателей относительно антропогенного загрязнения поверхностных вод. Состояние развития гидроэкосистемы бассейна р. Прут в пункте наблюдения п.г.т. Куты (р. Черемош) находится на границе между удовлетворительным и угрожающим ($\text{ИРГ} = 0,37 - 0,57$), а в пунктах наблюдения Черновцы, Яремча, Коломыя (р. Прут), п.г.т.Верховина (р. Черемош) гидроэкосистемы имеют благоприятное состояние – ИРГ соответственно 0,62 – 0,72; 0,72 – 0,85; 0,63 – 0,76, 0,60 – 0,93. Относительно измерений самовосстанавливающей способности воды по бассейну р. Прут преобладает низкая способность к самоочищению – 60,76%; случаев со средней способностью – 35,6% и только 3,64% измерений имеют высокую способность к самоочищению.

Резюме. Розроблені сучасні методи екологічного контролю стану гідроекосистем басейнів річок для забезпечення їх сталого розвитку; оцінки самовідновних властивостей водних екосистем, які є віддзеркаленням внутрішньоводоймних процесів. Вперше для проведення екологічного контролю гідроекосистем запропоновано індекс їх розвитку.

V.M. Udod, M.Y. Yatsiv

COMPLEX CRITERIA OF ECOLOGICAL ESTIMATION OF EFFICIENCY OF WATER-INSIDE PROCESSES

Summary

Modern methods of ecological control of river basin water ecosystem for providing steady development and estimation of restoration properties of water ecosystems developed, they are the reflection of water-inside processes. For the first time index of water ecosystem development is offered for ecological control providing.

Список использованной литературы

- [1] *Воробьёв А.Е., Дьяченко В.В., Вильчинская О.В., Корчагина А.В.* Основы природопользования. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2006. – 539 с.
- [2] *Удод В.М., Поляков В.Л., Яців М.Ю.* // Пробл. водопостачання, водовідведення та гідраліки. – 2009. – Вип.12. – С. 5 – 13.
- [3] *Удод В.М., Яців М.Ю.* // Екол. безпека та природокористування. – 2011. – Вип.7. – С. 136 – 154.
- [4] *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
- [5] *Goncharuk V. V.* // J. Water Chem. and Technol. – 2007. – **29**, N4. – P. 163 – 196.
- [6] *Яцик А.В.* Водогосподарська екологія : У 4 т., 7 кн. – К.: Генеза, 2003. – Т.1, кн. 1/2. – 400 с.
- [7] *ДСТУ 4808-2007.* Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правил вибирання. – К.: Держспоживстандарт України, 2007.

- [8] *Яців М.Ю.* // Пробл. водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2008. – Вип.11. – С. 52 – 64.
- [9] *Методика* розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейну малих річок України / УНДІВЕП; Розр.: А.В. Яцик, Л.Б. Бишовець, О.М. Петрук та ін. – К.: ДМП "Полімед", 2007. – 71 с.
- [10] *Удод В.М., Яців М.Ю.* // Екол. безпека та природокористування. – 2008. – Вип.2. – С. 145 – 161.
- [11] *Удод В.М., Трофімович В.В., Яців М.Ю.* // Там же. – 2010. – Вип.5. – С. 84 – 93.
- [12] *Тарасова Н.П., Кручинина Е.Б.* // Материалы Междунар. конф. "Устойчивое развитие: природа – общество – человек" (Москва, 2006 г.) – М., 2006. – Т. 1. – С. 127–144.
- [13] *Human Development Report 2007/2008. Fighting climate change: Human solidarity in a divided world.* Published for the United Nations Development Programme (UNDP). – New York: Palgrave Macmillan Houndmills, Basingstoke, 2007. – 384 p.
- [14] *Родзиллер И.Д.* Прогноз качества воды водоемов – приемников сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984. – 263 с.

Поступила в редакцию 20.09.2012 г.