

УДК: 504.4.054

И. А. Шахман<sup>1</sup>, А. Н. Быстрянцева<sup>2</sup>

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ НИЗОВЬЯ  
р. ИНГУЛЕЦ**

Проведена оценка экологического состояния вод низовья р. Ингулец по методике расчета комплексных показателей в соответствии с рыбохозяйственными нормативами. Проанализирована способность водной экосистемы низовья р. Ингулец к саморегуляции и самовосстановлению (экологическая надежность) во времени и пространстве.

*Ключевые слова:* рыбохозяйственное использование, комплексный показатель, оценка экологического состояния, экологическая надежность.

Провозглашение Украиной курса на евроинтеграцию стало мощным стимулом для использования европейского опыта реализации водной политики, а именно осуществление перехода от административно-территориального к бассейновому принципу управления водными ресурсами. Примером реки, которая в результате антропогенной нагрузки утратила способность к саморегуляции и самовосстановлению, является правый приток Днепра — р. Ингулец, расположенная в пределах Криворожского железорудного бассейна. В результате сброса многочисленными предприятиями Кривбаса высокоминерализованных сточных вод произошло нарушение гидрохимического баланса реки [3—5] и ее рыбохозяйственное значение было утрачено. Сложные экологические условия нанесли огромный ущерб водным биоресурсам, негативно повлияли на воспроизведение ценных промысловых рыб (леща, тарани, судака) на нерестилищах низовья р. Ингулец, площадь которых составляет около 3 тыс. га, и привели к исчезновению некоторых видов гидробионтов [3].

Результаты предварительной оценки качества воды по гидрохимическим показателям [4] по разным методикам существенно различаются, что свидетельствует о недостаточности использования лишь одной методики для полного обоснованного вывода относительно экологического состояния водной экосистемы р. Ингулец.

Целью работы является оценка экологического состояния низовья р. Ингулец по комплексным показателям, которая включает анализ экологиче-

ской устойчивости и экологической надежности водного объекта, в соответствии с рыбохозяйственными нормативами.

**Материал и методика исследований.** Исходными данными для оценки экологического состояния нижнего течения р. Ингулец являются результаты аналитического контроля вод подразделениями Государственной экологической инспекции в Николаевской (2001—2014 гг.) и Херсонской (2013—2014 гг.) областях. Оценка выполнена по комплексному показателю экологического состояния (КПЭС) [2]. Для водных объектов рыбохозяйственного использования среднее значение КПЭС рассчитывается по формуле:

$$\text{КПЭС}_{\text{ср}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \text{КПЭС}_i, \quad (1)$$

где  $m$  — количество блоков показателей качества вод (значений КПЭС<sub>*i*</sub>).

В первый блок входят показатели, не имеющие эффекта совместного действия, в остальные — показатели, которые этим эффектом обладают.

Для первого блока комплексный показатель рассчитывается по формуле:

$$\text{КПЭС} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{ПЭС}_i, \quad (2)$$

где  $n$  — количество показателей в первом блоке; ПЭС<sub>*i*</sub> — показатель экологического состояния, рассчитанный для  $i$ -го показателя качества.

Значения ПЭС<sub>*i*</sub> рассчитываются с учетом коэффициента весомости ( $a_i$ )  $i$ -го показателя и нормы (предельно допустимой или минимально допустимой), который связан с классом опасности. Если степень опасности с увеличением номера класса (кл) возрастает, то  $a_i = \text{кл}$ , если же степень опасности с увеличением номера класса уменьшается, тогда  $a_i = 1/\text{кл}$ . Если класс опасности не указан, то принимается класс на один разряд ниже минимально опасного. По санитарным нормам эффектом суммарного действия обладают вещества 1-го и 2-го класса опасности с одинаковыми лимитирующими показателями вредности (ЛПВ), по рыбохозяйственным — с одинаковыми ЛПВ без учета класса. Экологическое состояние водного объекта классифицируется следующим образом:

— если  $\text{КПЭС}_{\text{мин}} < 0$  и  $\text{КПЭС}_{\text{ср}} < 0$ , экологическое состояние участка реки оценивается как неустойчивое;

— если  $\text{КПЭС}_{\text{мин}} < 0$  и  $\text{КПЭС}_{\text{ср}} > 0$ , экологическое состояние вод оценивается в среднем как устойчивое с очагами неустойчивости;

— если  $\text{КПЭС}_{\text{мин}} > 0$  и  $\text{КПЭС}_{\text{ср}} > 0$ , экологическое состояние вод оценивается как устойчивое.

При квалификации экологического состояния по двум первым пунктам необходимо проведение природозащитных мероприятий.

Полученные результаты позволяют провести оценку экологической надежности экосистемы [2]. Экологическая надежность (ЭН) — способность экосистемы относительно полно самовосстанавливаться и саморегулироваться. При наличии совокупности измерений на разных участках реки или в разные моменты времени и при возможности рассмотрения этой совокупности как случайного статистического ряда полученные значения КПЭС<sub>ср</sub> можно использовать для анализа вероятности устойчивого состояния реки, т. е. вероятности превышения КПЭС<sub>ср</sub> нулевого значения, соответствующего границе устойчивости. Вероятность устойчивого состояния реки называется экологической надежностью (ЭН), которую определяют по формуле:

$$\text{ЭН} = 1 - \frac{\chi^2}{2N - M + 0,5\chi^2}, \quad (3)$$

где  $\chi^2$  — значение функции «хи-квадрат» при доверительной вероятности, принимаемой равной 0,9 [1];  $N$  — общее количество значений КПЭС<sub>ср</sub>;  $M$  — количество значений КПЭС<sub>ср</sub> ниже критического нулевого значения.

Распределение вероятностей «хи-квадрат» принято в связи с тем, что обычно количество обследуемых участков реки невелико. При большом значении  $N$  распределение «хи-квадрат» сводится к нормальному. Если расчет по формуле (3) дает отрицательные значения, то экологическая надежность принимается равной нулю. Исходя из того, что сложные технические системы считаются достаточно надежными при уровне надежности 0,90—0,95, используется следующая квалификация уровней надежности при доверительной вероятности 0,9: уровень высокий (ЭН  $\geq 0,9$ ), приемлемый (0,9 > ЭН  $\geq 0,8$ ), низкий (ЭН < 0,8) [2].

### *Результаты исследований и их обсуждение*

Выполнен расчет КПЭС вод для створа р. Ингулец — г. Снигиревка в соответствии с требованиями рыбохозяйственного водопользования за период 2001—2014 гг. Пример оценки экологического состояния с использованием КПЭС в указанном створе в 2014 г. приведен в табл. 1.

Сводные результаты оценки экологического состояния за период исследований даны в табл. 2.

За период исследований экологическое состояние низовья р. Ингулец оценивается как неустойчивое. Незначительное улучшение качества воды с 2010 г. объясняется внедрением на одном из крупнейших предприятий горно-металлургического комплекса Украины «АрселорМиттал Кривой Рог» системы экологического мониторинга сточных вод и современных очистных сооружений, а также осуществлением «промывки» русла р. Ингулец днепровской водой [5], перебрасываемой по каналу Днепр — Ингулец. По Регламенту «промывки» русла и оздоровления р. Ингулец Государственного

1. Оценка экологического состояния р. Ингулец — г. Снигиревка (2014 г.)

Лимитирующие показатели вредности ЛПВ	Показатели	$C_i$ мг/дм <sup>3</sup>	ПДК <sub>i</sub> мг/дм <sup>3</sup>	ПДК <sub>i</sub> — $C_i$	ПЭС	КПЭС
Общесанитарный	Взвешенные вещества	40,2	20,0	-20,2	-1,01	
	БПК <sub>5</sub>	4,9	3,0	-1,9	-0,63	
	pH	7,6	6,5—8,5	0,9	0,11	
	Растворенный кислород	11,4	6,0	5,4	0,90	
				Σ =	-0,63	-0,17
Токсикологический	Аммоний ион	0,43	0,50	—	0,86	
	Нитриты	0,071	0,08	—	0,89	
	АПAB	0,019	0,50	—	0,04	
	Железо	0,148	0,10	—	1,48	
	Медь	0,006	0,001	—	6,00	
	Никель	0,003	0,01	—	0,30	
	Марганец	—	0,01	—	—	
				Σ =	9,57	-8,57
Санитарно-токсикологический	Хлориды	1588,4	100	—	5,29	
	Сульфаты	823,5	300	—	8,24	
	Кальций	172,4	180	—	0,96	
	Нитраты	9,9	40	—	0,25	
	Хром	0,001	0,001	—	1,00	
				Σ =	15,74	-14,7
Рыбохозяйственный	Нефтепродукты	0,04	0,05	—	0,80	0,2
$КПЭС_{ср} = \frac{-0,17 - 8,57 - 14,74 + 0,20}{4} = -5,82; КПЭС_{мин} = -14,74$ <p>(экологическое состояние объекта неустойчивое)</p>						

водного агентства в течение апреля — июля осуществляется сброс воды с Карачуновского водохранилища общим объемом около 125,0 млн. м<sup>3</sup>. Ориентировочный срок вытеснения высокоминерализованной воды из русла (завершение промывки) — 15—25 июня. В период с 20 апреля по 30 июня обеспечивается работа Каховской ГЭС в базисном режиме с минимально возможными расходами, которые устанавливаются в рабочем порядке в зависимости от гидрологической ситуации в нижнем течении р. Днепр на период выталкивания соленой призмы из низовья р. Ингулец.

**2. Оценка экологического состояния низовья р. Ингулец — г. Снигиревка во времени (период наблюдений 2001—2014 гг.)**

Годы	Значения КПЭС		Экологическое состояние водного объекта
	КПЭС <sub>ср</sub>	КПЭС <sub>мин</sub>	
2001	-15,30	-31,00	Неустойчивое
2002	-15,30	-31,00	— « —
2003	-16,87	-31,00	— « —
2004	-14,04	-31,00	— « —
2005	-14,86	-31,00	— « —
2006	-19,09	-31,57	— « —
2007	-22,30	-42,53	— « —
2008	-20,01	-32,41	— « —
2009	-15,45	-31,00	— « —
2010	-7,88	-15,41	— « —
2011	-7,31	-16,31	— « —
2012	-7,78	-19,24	— « —
2013	-6,74	-13,77	— « —
2014	-5,82	-14,74	— « —

Предварительная оценка качества воды нижнего течения р. Ингулец по гидрохимическим показателям показала, что эти воды классифицируются как «очень грязные» и «катастрофически загрязненные», что не позволило сделать обоснованный вывод об экологическом состоянии водной экосистемы [4], поэтому, для периода наблюдений была выполнена оценка экологической надежности (ЭН), значение которой оказалось отрицательным (-0,34). В этом случае экологическая надежность принимается равной нулю, что соответствует низкому уровню саморегуляции и самовосстановления.

Оценка экологического состояния и экологической надежности водной экосистемы р. Ингулец по длине реки выполнена для 2013 и 2014 гг. Пример оценки в створе р. Ингулец — с. Дарьевка в 2014 г. по рыбохозяйственным нормам приведен в табл. 3.

Результаты оценки экологического состояния вод в наблюдений 2013 и 2014 г. представлены в табл. 4.

Экологическое состояние низовья р. Ингулец оценивается как неустойчивое. Изменения средних и минимальных значений коэффициентов демонстрирует улучшение качества воды на участке реки от с. Архангельского до с. Калининского. Фактором, определяющим увеличение КПЭС на ниже-расположенном участке (см. табл. 4), является высокая степень сельскохозяйственного использования прилегающей территории. Дальнейшее относи-

**3. Оценка экологического состояния р. Ингулец — с. Дарьевка (2014 г.)**

Лимитирующие показатели вредности ЛПВ	Показатели	$C_i$ мг/дм <sup>3</sup>	$ПДК_i$ мг/дм <sup>3</sup>	$ПДК_i - C_i$	ПЭС	КПЭС
Общесанитарный	Взвешенные вещества	18,2	20,0	1,80	0,090	
	БПК <sub>5</sub>	4,68	3,0	-1,68	-0,56	
	рН	8,37	6,5—8,5	0,13	0,015	
	Растворенный кислород	9,4	6,0	3,4	0,567	
				$\Sigma =$	0,112	0,03
Токсикологический	Аммоний ион	0,16	0,50	—	0,32	
	Нитриты	0,00	0,08	—	0,00	
	АПВ	0,05	0,50	—	0,10	
	Железо	0,32	0,10	—	3,20	
	Медь	0,00	0,001	—	0,00	
	Марганец	0,06	0,01	—	6,00	
				$\Sigma =$	9,62	-8,62
Санитарно-токсикологический	Хлориды	309,3	100	—	1,03	
	Сульфаты	347,8	300	—	3,48	
	Кальций	99,5	180	—	0,55	
	Нитраты	0,60	40	—	0,02	
	Хром	0,00	0,001	—	0,00	
				$\Sigma =$	5,08	-4,08
Рыбохозяйственный	Нефтепродукты	0,00	0,05	—	0,00	0,0
$КПЭС_{ср} = \frac{0,03 - 8,62 - 4,08 + 0,0}{4} = -3,17; КПЭС_{мин} = -8,62$ <p>(экологическое состояние объекта неустойчивое)</p>						

тельное улучшение показателей качества в районе с. Дарьевки (см. табл. 4) обусловлено «рассоливающим» влиянием днепровской воды [5]. Значение ЭН в 2013 и 2014 г. равно 0,70, что соответствует низкому уровню саморегуляции и самовосстановления.

**Заключение**

Экологическое состояние воды в нижнем течении р. Ингулец, оцененное по комплексному показателю за период наблюдений 2001—2014 гг. характеризует-

**4. Оценка экологического состояния низовья р. Ингулец по длине реки за 2013 и 2014 гг.**

Посты наблюдений	Комплексный показатель КПЭС				Экологическое состояние водного объекта	
	КПЭС <sub>мин</sub>	КПЭС <sub>ср</sub>	КПЭС <sub>мин</sub>	КПЭС <sub>ср</sub>	2013 г.	2014 г.
	2013 г.		2014 г.			
с. Архангельское	-11,24	-4,72	-7,45	-3,57	неустойчивое	неустойчивое
с. Калининское	-7,76	-3,50	-7,94	-3,53	— « —	— « —
г. Снигиревка	-13,27	-6,62	-14,74	-5,74	— « —	— « —
с. Дарьевка	-10,16	-3,72	-8,62	-3,17	— « —	— « —

ся как неустойчивое. Количественные показатели экологической надежности во времени и пространстве (по длине реки) ниже 0,8, что соответствует низкому уровню саморегуляции и самовосстановления водных ресурсов. Осуществляемые ежегодные промывки р. Ингулец путем подачи днепровской воды через канал Днепр — Ингулец не приводят к нормализации химического состава воды и возможности использования реки в рыбохозяйственных целях. Рекомендуется разработка природоохранных мероприятий, направленных, прежде всего, на уменьшение объемов сточных вод в самом источнике их образования, а также внедрение замкнутых систем выпуска продукции, что позитивно повлияет на восстановление способности водной экосистемы к саморегуляции и приведет к улучшению условий существования биоты в реке.

\*\*

*Виконана оцінка екологічного стану вод за методикою розрахунку комплексних показників екологічного стану для пониззя р. Ингулець відповідно до рибогосподарських нормативів за період спостережень 2001—2014 рр. Проведена оцінка здатності водної екосистеми пониззя Ингульця до саморегуляції і самовідновлення у часі та просторі (за довжиною річки).*

\*\*

*Estimation of ecological water state by method of calculation of complex indexes of ecological state in the lower reach of the Ingulets River by fishery standards during the observation period 2001—2014 was carried out. Estimation of ability of the aquatic ecosystem of the lower reach of the Ingulets River to self-purification and restoration in time and space (along the river stream) is executed.*

\*\*

1. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятности и математической статистике. — М.: Высш. шк., 1979. — 400 с.
2. Тимченко З. В. Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. — Симферополь: Доля, 2002. — 152 с.
3. Хільчевський В. К., Кравчинський Р. Л., Чунар'єв О. В. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу. — К.: Ніка-Центр, 2012. — 180 с.

4. *Шахман І. О., Лобода Н. С.* Оцінка якості води у створі р. Інгулець — м. Снігурівка за гідрохімічними показниками // Укр. гідрометеор. журн. — 2016. — № 17. — С. 123—135.
5. *Шерстюк Н. П.* Вплив промивки р. Інгулець на перебіг гідрохімічних процесів та встановлення рівноваг // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2014. — Т. 2. — С. 28—37.

<sup>1</sup>Херсонский государственный  
аграрный университет

<sup>2</sup>Херсонский государственный университет

Поступила 16.03.17