

**ОЦІНКА ПРИРОДНОЇ СТІЙКОСТІ ЛИМАНІВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ВІДПОВІДНО ДО ПРИНЦИПІВ ВОДНОЇ ДИРЕКТИВИ ЄС**

**Г.Г. Мінічева** доктор біологічних наук,  
**Є.В. Соколов** молодший науковий співробітник

*Одеська філія Інституту біології південних морів НАН України*

*Розглянуто поняття природної стійкості лиманів, як властивість екосистем зберігати рівновагу продукційно-деструкційних процесів під дією факторів зовнішнього середовища, пов'язане з габітусом і місцем розташування. Запропоновано кількісно виражати природну стійкість лиманів північно-західного Причорномор'я за допомогою індексу, розрахованого на основі гідролого-морфометричних характеристик, згідно з принципами прийнятими в кваліметрії, кількісній екології, а також у Водній Директиві ЄС. На основі величин індексів природної стійкості побудований ранжований ряд лиманів північно-західного Причорномор'я.*

**Ключові слова:** *лиманні екосистеми, природна стійкість, північно-західне Причорномор'я*

Численні лиманні екосистеми (ЛЕ) північно-західного Причорномор'я (ПЗП), є унікальними природно-антропогенними комплексами, однаково важливими як для природного функціонування перехідних геоекотонів, так і для господарської діяльності. З геоекологічних позицій вони є континентальним різновидом амфібіальних геоекосистем і невід'ємними структурно-функціональними складовими приморської смуги суші – геоекотона Чорноморського узбережжя [9]. Особливості будови і розміру водного ложа і водозбірної площі ЛЕ в сукупності з кліматичними умовами регіону визначають природну інтенсивність протікання в них біогеохімічних процесів. При цьому кожна з лиманних екосистем відчуває специфічний прес антропогенного навантаження, пов'язаний з особливостями господарської діяльності у водоймі і на її басейні. У зв'язку з цим оцінка екологічного статусу

ЛЕ, необхідної для моніторингу, охорони та екологічного менеджменту, повинна включати кількісну оцінку як антропогенної, так і природної складових.

Як інтегральний показник, що відображає властивості природної складової водної екосистеми, пропонується розглядати її природну стійкість (ПС). Цей показник характеризує зв'язок між гідролого-морфометричними параметрами ложа, водозбірної площі, географо-кліматичними умовами і потенційною природною інтенсивністю екологічних процесів, які можуть формуватися в конкретній локальній екосистемі. Відповідно до цього під ПС можна розуміти властивість водної екосистеми зберігати рівновагу продукційно-деструкційних процесів, які пов'язані з особливостями її габітусу та місця розташування. Вочевидь, що чим вище значення показника ПС, тим вища здатність водної екосистеми асимілювати антропогенні або природні аномальні потоки речовини і енергії, які надходять, без ознак екологічної кризи (втрата якості водного середовища, руйнування типової для водойми структури біотичного компонента). Кількісна оцінка «запасу природного здоров'я» водної екосистеми важлива для вирішення прикладних завдань, пов'язаних з можливо допустимим антропогенним пресом і обсягом використання її ресурсів. Можливість співвідносної оцінки двох складових екологічного статусу екосистеми – її природних властивостей (ПС) і реакції на антропогенний вплив може бути корисною для вирішення методологічних питань визначення «Доброго екологічного статусу» (Good Ecological Status – GES), які досі не знайшли остаточного рішення в розробці ідеології Водної Директиви ЄС [12].

Нині, незважаючи на різноманітність численних систем класифікації лімничних водойм та інтегральних індексів оцінки якості води, немає єдиної методики оцінки гідролого-морфометричного індексу, що визначає їх ПС. Публікації останніх років містять окремі аспекти та підходи до оцінки гідролого-морфометричних властивостей ПС водних і зокрема ЛЕ. Так, безпосередній вплив морфометрії водної улоговини на інтенсивність матеріально-енергетичних процесів озер описано в роботі О.Ф. Якушко та А.А.

Новик і отримало визначення «ефекту морфометрії» [8]. Класифікація водойм Азово-Чорноморського узбережжя на основі морфометричних характеристик, а так само їх вплив на водний і тепловий баланси цих екосистем докладно розглянуто в роботі [9]. Оцінка стійкості озерних екосистем на основі інтегрально-індексного методу запропонована В.В. Дмитрієвим та ін. [2]. Там же наводяться основні визначення, пов'язані зі стійкістю водних екосистем проти змін умов природного і антропогенного режимів.

**Метою нашого дослідження** є розробка методу кількісної оцінки ПС з використанням індексу природної стійкості (ІПС) для лиманів ПЗП з дотриманням принципів універсальної, відносної оцінки екологічного статус-класу, прийнятої у Водній Директиві ЄС і Морській Стратегії ЄС.

**Матеріал і методи дослідження.** Як об'єкт дослідження був обраний 21 лиман ПЗП, з різним природними властивостями. Пропонований метод оцінки ПС заснований на розрахунку ІПС, в якому закладені принципи, прийняті в кваліметрії [5], кількісної екології [7]. Використовуваний для розрахунку ІПС алгоритм передбачає нормування екологічних оціночних індексів до шкали [1-0] (Ecological Quality Ratio) і п'яти європейських стандартних класів (Bad, Poor, Moderate, Good, High) відповідно до вимог Водної Директиви ЄС [10] і Морської стратегії ЄС [11].

Для можливості порівняння показників з різними розмірностями і діапазонами значень, використовувались нормувальні функції із полярним значенням кожного з показників, що приводять їх у безрозмірний вигляд і інтервал від 0 до 1 [7]. Показники, значення яких при збільшенні призводить до зростання величини ІПС, нормувалися функцією виду:

$$q_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

Показники збільшення значень, які призводить до зниження ІПС, нормувалися за функцією:

$$q_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

де  $q_i$  - нормоване значення  $i$ -го показника для кожного з лиманів,  $x_i$  - чисельне значення  $i$ -го показника оцінюваного лиману,  $x_{\min}$  і  $x_{\max}$  відповідно мінімальні і максимальні значення  $i$ -го показника розглянутих лиманів.

При великому розкиді величин, функції (1) і (2) розраховувалися в логарифмічному вигляді. Така форма нормування забезпечує більш інформативний статистичний розподіл нормованих величин і отже дозволяє ефективніше використовувати вхідні дані оцінюваних показників [7].

Значимість кожного з показників, що входять до ІПС оцінювалася ваговими коефіцієнтами  $w_i$ , які розраховувались за допомогою парного зіставлення в матричній формі [5] з урахуванням коефіцієнта кореляції з первинною продукцією фітопланктону. При цьому виконувалася рівність:

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (3)$$

Як математичний вираз ІПС, використовувалась найбільш поширена форма інтегральних індексів у вигляді середньозваженої суми:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \cdot w_i \quad (4)$$

Для нормування розрахованих значень ІПС лиманів північно-західного Причорномор'я до шкали 1 – 0 згідно з вимогами Водної рамкової директиви розраховувався Ecological Quality Ratio (EQR): інтервал значень ІПС був розділений на 21 відрізок з кроком  $1/N$ , де  $N$  кількість лиманів. У результаті апроксимації була отримана залежність для розрахунку Ecological Evaluation Index (EEI).

Як емпіричні дані розрахунку ІПС використовувалися гідролого-морфометричні параметри лиманів ПЗП, розраховані за літературними даними [1, 3, 4, 6], а також за допомогою даних SRTM в програмах Google Earth pro, Global Mapper v14.0, всього було використано 168 значень вихідних параметрів. Гідролого-морфометричні характеристики індексу природної стійкості (ІПС): об'єм води ( $V$ ),  $m^3$ ; середня глибина ( $H_{cp}$ ); м; питомий водозбір ( $\Delta F = F_{в-ра}/F$ ); коефіцієнт звивистості берегової лінії ( $\mu = L/2\pi\sqrt{F}$ ); коефіцієнт ємності ( $C = H_{макс}/H_{cp}$ ); коефіцієнт глибинності ( $k_H = H_{cp}^3\sqrt{F}$ ); коефіцієнт подовження ( $k_L = L/B_{cp}$ ); умовний водообмін з морем ( $D_m = V/W_m$ ).

**Результати дослідження та їх аналіз.** При оцінці ІПС ЛЕ з усього різноманіття гідролого-морфометричних характеристик водойми необхідно виокремити найбільш суттєві, що впливають на швидкість екологічних процесів і кількісно оцінити їх внесок у формування природної інтенсивності продукційно-деструкційних процесів та пов'язаності. До основних показників, що визначають природну стійкість лиманів ПЗП (усередині однієї кліматичної зони) можна віднести:

- водообмін лиманної системи з морем, що зумовлює вимивання евтрофуючих, забруднювальних речовин і стабілізацію гідроекологічних процесів;
- ємність водної маси відносно матеріально-енергетичного потоку, яка визначається особливостями водної улоговини (обсягом води і розподілом глибин);
- вплив водозбірної площі на внутрішньо-водоємні процеси, що характеризують переважання в ЛЕ теригенних або лімнічних процесів, а так само ступінь акумуляції забруднювальних речовин;
- гідродинамічні процеси, від яких залежить речовинно-енергетичний обмін між різними ділянками водної улоговини.

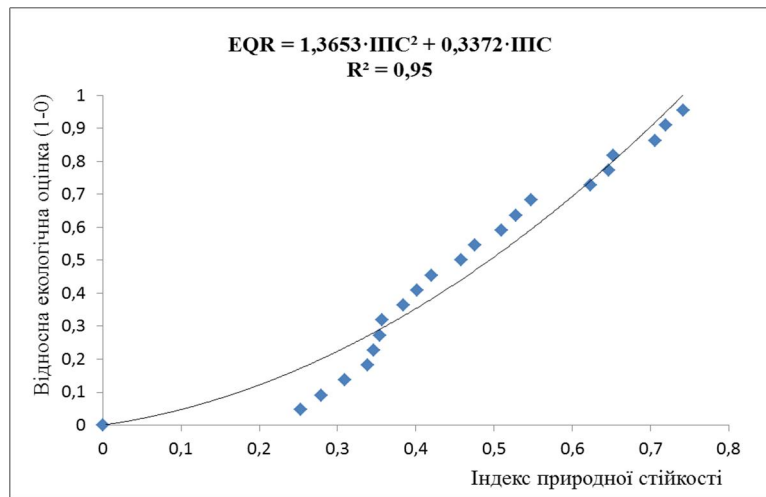
Використовуючи формули (1), (2), (3), (4) для двадцяти одного лиману ПЗП були розраховані ІПС, значення яких знаходяться у межах 0.253 – 0.739:

1. Хаджидер	0.253	12. Шагани	0.476
2. Дофинівський	0.279	13. Тилігульський	0.510
3. Солонець Тузли	0.310	14. Сасик	0.528
4. Малий Сасик	0.338	15. Хаджибеєвський	0.548
5. Куяльницький	0.346	16. Дністровський	0.623
6. Карачаус	0.354	17. Березанський	0.647
7. Джантшейський	0.357	18. Бузький	0.652
8. Кучурганський	0.384	19. Сухий	0.700
9. Бурнас	0.401	20. Дніпровський	0.720
10. Будакський	0.420	21. Григор'євський	0.739
11. Алібей	0.458		

Діапазон отриманих значень ІПС був апроксимований до шкали [1 – 0] для універсалізації кількісної оцінки цього показника і отримання рівняння, за допомогою якого можливий розрахунок показника відносної екологічної якості (Ecological Quality Ratio - EQR) (рис. 1).

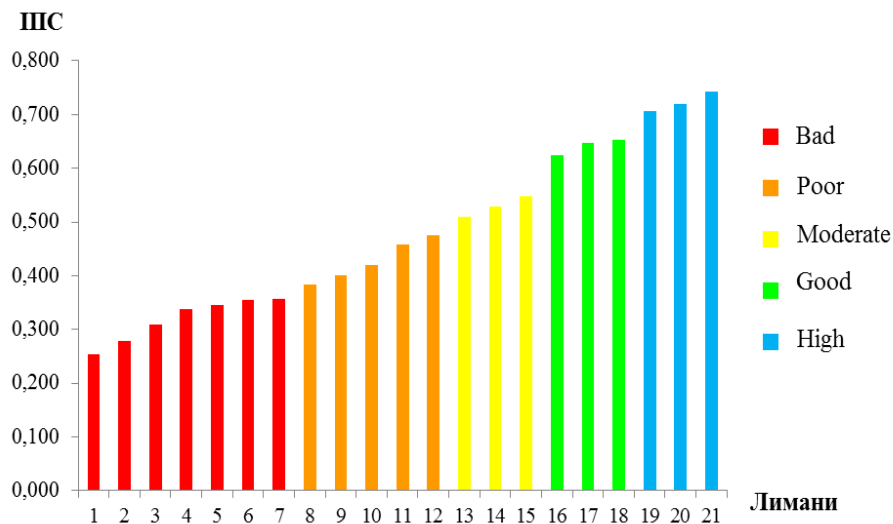
На основі коефіцієнтів отриманого рівняння (див. рис. 1) та регіональної експертної оцінки відомого екологічного стану лиманів ПЗП були встановлені межі для п'яти стандартних європейських статус-класів (Status Class):

ІПС	EQR	Status Class
$\text{ІПС} \leq 0.360$	$\text{EQR} \leq 0.300$	Bad
$0.361 \leq \text{ІПС} \leq 0.480$	$0.301 \leq \text{EQR} \leq 0.485$	Poor
$0.481 \leq \text{ІПС} \leq 0.550$	$0.486 \leq \text{EQR} \leq 0.610$	Moderate
$0.551 \leq \text{ІПС} \leq 0.699$	$0.611 \leq \text{EQR} \leq 0.899$	Good
$\text{ІПС} \geq 0.700$	$\text{ІПС} \geq 0.900$	High



**Рис. 1. Рівняння зв'язку показника відносної екологічної якості (EQR) та індексу природної стійкості (ПРС)**

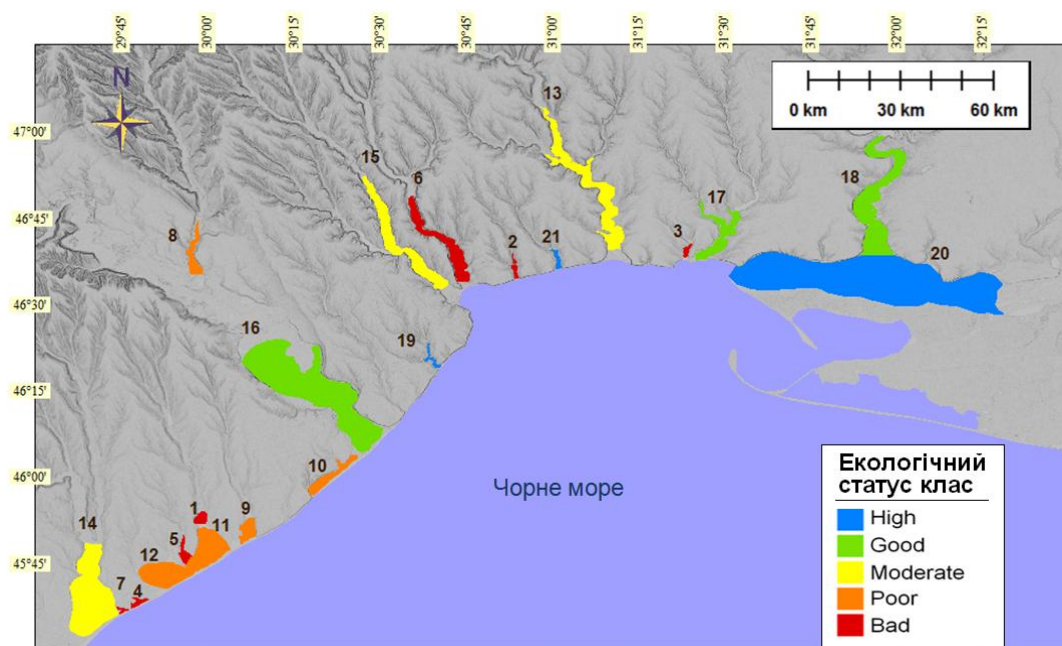
Значення ПРС досліджуваних лиманів були проранжовані відповідно до стандартів Водної Директиви ЄС (рис. 2). Структура розподілу 21-го лиману ПЗП згідно з статус-класом нині перебуває в такому співвідношенні: Bad - 33% (7); Poor - 24% (5); Moderate - 14% (3); Good - 14% (3); High - 14% (3).



**Рис. 2. Ранжируваний ряд лиманів північно-західного Причорномор'я за величинами ПРС:** 1 – Хаджидер; 2 – Дофинівський; 3 – Солонець Тузли; 4 – Малий Сасик, 5 – Карачаус; 6 – Куяльницький; 7 – Джаншейський; 8 – Кучурганський; 9 – Бурнас; 10 – Будацький; 11 – Алібей; 12 – Шагани, 13 – Тилігульський; 14 – Сасик; 15 – Хаджибеевський; 16 – Дністровський, 17 – Березанський; 18 – Бузький, 19 – Сухий, 20 – Дніпровський; 21 – Григор'євський

Картографічне ранжування лиманів ПЗП згідно з статус-класом ПРС показано на рис. 3.

Найвищий екологічний статус-клас (High) природної стійкості мають три лимани ПЗП: Григор'євський, Дніпровський і Сухий лимани. Ці водойми досить глибоководні і за типом гідрологічного зв'язку з морем є відкритими лиманами, які володіють вільним водообміном з морем. Григор'євський і Сухий лимани, на акваторіях яких нині розташовуються великі чорноморські порти «Південний» і «Іллічівськ» були перетворені в глибоководні затоки в результаті днопоглиблювальних робіт. Крім цього вони характеризуються незначним впливом водозбірної площі на внутрішні процеси – коефіцієнт умовного водообміну з водозбірної площі у них становить понад 10 років. Однак штучне збільшення обсягу лиманів при незмінному і невеликому значенні площі водного дзеркала призвело до порушення гідродинаміки в придонному шарі і як наслідок можливої температурної стратифікації. Про таку ситуацію свідчать високі значення коефіцієнта глибинності.



**Рис. 3 . Просторовий розподіл статус класів ІПС для лиманів ПЗП:**  
 14 – Сасик; 7 – Джантшейський; 4 – Малий Сасик; 12 – Шагани, 5 – Карачаус; 1 – Хаджидер;  
 11 – Алібей; 9 – Бурнас; 10 – Будакський; 16 – Дністровський ; 8 – Кучурганський;  
 19 – Сухий; 15 – Хаджибеєвський; 6 – Куяльницький; 2 – Дофинівський; 21 – Григор'євський;  
 13 – Тилігульський, 3 – Солонець Тузли; 17 – Березанський; 18 – Бузький;  
 20 – Дніпровський

Дніпровський лиман, на акваторії якого розташований порт Херсон найбільший в регіоні. Він має вільний водообмін з морем через природний канал у Пересипі, великий обсяг і площі водного дзеркала, з відносно



рівномірним розподілом глибин, що зумовлює його високу ємність до речовинно-енергетичного потоку. Підтримання глибини на підхідних каналах Херсонського порту, а також стік Дніпра забезпечують постійний інтенсивний водотік у Дніпровському лимані. До найбільш несприятливих дестабілізуючих чинників Дніпровської лиманної екосистеми можна віднести високе значення показника питомого водозбору, який характеризує значний вплив теригенних процесів на внутріводоємні.

Найнижчим екологічним статус-класом (Bad) природної стійкості характеризуються сім лиманів ПЗП: Хаджидер; Дофинівський; Солонець Тузли; Малий Сасик; Карачаус; Куяльницький; Джаншейський. Водойми цієї групи мілководні і мають фільтраційний тип водообміну з морем через піщаний пересип (або через піщаний пересип іншого лиману: Хаджидер, Карачаус). У літній період маловодної групи років ці лимани можуть значно всихати, і прогріватися, що сприяє погіршенню в них гідроекологічних умов. Про таку ситуацію свідчать низькі значення середньої глибини і коефіцієнта умовного водообміну з морем.

Сильне нагрівання і освітленість водойм стимулюють інтенсивне функціонування коротко циклічних автотрофів з високою екологічною активністю, які значно перевищують функцію детритофагів. При низькому водообміні, розбалансування продукційно-деструкційних процесів призводить до накопичення органічної речовини і виникнення одного з найпоширеніших для цього типу водойм процесів – евтрофікації. У таких умовах стратегічно важливим стають заходи гідрологічного менеджменту, спрямовані на стабілізацію прибуткової складової водного балансу і промивання лиманного ложа морською водою. На Дофинівському лимані (ІПС – 0.279) фермерським господарством «Восход» у 1997 р була здійснена спроба з'єднання лиману з морем через штучні гідротехнічні споруди. В результаті менеджменту водообміну збільшився об'єм води в лимані, та поліпшилися гідроекологічні умови, у водоймі припинилося масове цвітіння синьо-зелених водоростей. Однак постійний екологічний менеджмент, спрямований на компенсацію

низької природної стійкості водойми, потребує законодавчої та фінансової підтримки, що на сьогодні залишається до кінця невирішеним питанням. Незважаючи на це, інформація про критичні значення ІПС водних екосистем конкретного регіону, може використовуватися як інструмент виявлення «гарячих точок» і прийняття державного рішення про першочерговість проведення екстрених заходів для водних екосистем, що характеризуються мінімальним запасом природного «здоров'я».

Решта 11 лиманів ПЗП, які віднесені до середніх статус-класів природної стійкості (Poor, Moderate, Good) (див. рис.2), займають проміжне положення, відносно вже розглянутих майже благополучних та екологічно кризових ЛЕ. При прийнятті конкретних рішень про заходи охорони, використання або управління їх природними ресурсами значення ІПС можуть бути використані як кількісна характеристика небезпеки розбалансування продукційно-деструкційних процесів, які призводять до різного роду екологічно кризових ситуацій.

### **Висновки**

1. Індекси природної стійкості, розраховані на основі інтегрального обліку гідролого-морфометричних характеристик, дозволяють перейти до кількісної оцінки природного потенціалу екосистеми. Нормування цього показника до одиничної шкали і п'яти статус-класів відповідно до правил Водної Директиви ЄС, стандартизує цей показник до європейських вимог оцінки екологічного статусу водних екосистем.
2. Оцінка статус-класу природної стійкості 21 лиманої екосистеми північно-західного Причорномор'я виявила таку структуру процентного та абсолютного розподілу: Bad – 33% (7); Poor – 24% (5); Moderate – 14% (3); Good – 14% (3); High – 14% (3).
3. У групу лиманів з максимальною природною стійкістю (ІПС > 0.700), статус-клас – High увійшли глибоководні екосистеми Григор'євського, Дніпровського та Сухого лиманів, акваторії яких використовуються як портові і мають вільний водообмін з морем. Портовий менеджмент, пов'язаний з днопоглиблювальними

роботами сприяє підвищенню природної стійкості цих лиманів проти антропогенного навантаження.

4. У групу лиманів з мінімальною природною стійкістю ( $ІПС \leq 0.350$ ), статус-клас – *Vad* увійшли невеликі за обсягом і площею водного дзеркала екосистеми лиманів: Хаджидер, Дофінівський, Солонець Тузли, Малий Сасик, Карачаус, Куяльницький, Джаншейській. Низька природна стійкість цих екосистем робить їх найбільш чутливими до антропогенного впливу. Такий клас екосистем у першу чергу потребує заходів екологічного менеджменту, спрямованих на підвищення їх природної стійкості.

### Список літератури

1. Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья: географические основы хозяйственного освоения. – Л.: Наука, 1988. – 304 с.
2. *Примак Е.А.* Оценка устойчивости водоемов Европейского Севера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов / *Е.А. Примак, В.В. Дмитриев* // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. – 2006. – Вып. 54. – С. 408 – 417.
3. Северо-западная часть Чёрного моря: (биология и экология); под ред. Ю. П. Зайцев, Б. Г. Александров и др. –К.: Наукова Думка, 2006. – С. 351 – 356.
4. *Серебряков В.В.* Водно-болотные угодья Азово-Черноморского побережья Украины. Библиографический указатель 1970 –1999 гг. / *В.В.Серебряков, В.Р. Алексеенко* – К., 2000. – 202 с.
5. *Хамханова Д.Н.* Основы квалиметрии / *Д.Н. Хамханов* – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 141 с.
6. *Швебс Г.І.* Каталог річок і водойм України / *Г.І. Швебс, М.І. Ігошин, Е.Д. Гобченко.* – Одеса: Астропринт, 2003. – 392 с.
7. *Шитиков В.К.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / *В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко* – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
8. *Якушко О.Ф.* Проблемы экологической устойчивости ледниковых ложбинных озер Белорусского Поозерья / *О.Ф. Якушко, А.А. Новик* //

Вестник Белорусского государственного университета. – 2005. – № 1. – С. 55 – 59.

9. *Ястреб В.П.* К вопросу о классификации водоемов зоны сопряжения суши и моря Азово-Черноморского побережья / *В.П. Ястреб, В.А. Иванов, Т.В. Хмара* // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2007. – Вып. 15. – С. 326 – 346.
10. DIRECTIVE 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy, 23 October 2000. (WFD, 2000/60/EC).
11. DIRECTIVE 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of marine environmental policy, 17 June 2008. (MSFD, 2008/56/EC).
12. *Mark Everard.* Why does ‘good ecological status’ matter? *Water and Environment Journal.* Volume 26, Issue 2, pages 165–174, June 2012.

### **Оценка природной устойчивости лиманов северо-западного Причерноморья в соответствии с принципами Водной Директивы ЕС.**

Г.Г. Миничева, Е.В. Соколов.

Рассмотрено понятие природной устойчивости лиманов, как свойство экосистем сохранять равновесие продукционно-деструкционных процессов под действием факторов внешней среды, связанное с габитусом и местоположением. Предлагается количественно выражать природную устойчивость лиманов северо-западного Причерноморья, с помощью индекса, рассчитанного на основе гидролого-морфометрических характеристик, согласно принципам принятым в квалиметрии количественной экологии, а также Водной Директивы ЕС. На основе величин индексов природной устойчивости построен ранжированный ряд лиманов северо-западного Причерноморья.

**Ключевые слова:** лиманные экосистемы, природная устойчивость, северо-западное Причерноморье

### **Estimation of the Natural Resistance of Northwestern Prichernomorie Region’s Estuaries in Accordance with a Principles of EU WFD.**

G.G. Minicheva, E.V. Sokolov.

The concept of natural resistance is considered estuary as property of ecosystems to keep balance production-distracton processes under the action of

external factors of environment, related to the habitus and location. It is suggested to quantitative express the natural resistance of northwestern Prichernomie region's estuaries, by means of index, expected on the basis of hydrology-morphometric parameters, according to principles accepted in the qualimetry of quantitative ecology, and also EU WFD. On the basis of value of Natural Resistance Indexes the ranged row of estuaries of northwestern Prichernomie region's estuaries is built.

**Keywords:** *estuary ecosystems, natural rresistance, northwestern Prichernomie region's*