

# ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК 574.5 (262.5.05)

Е. В. СОКОЛОВ

Институт морской биологии Национальной академии наук Украины  
ул. Пушкинская, 37, Одесса, 65125

## **ТИПИЗАЦИЯ ЛИМАНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛОГО-МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

---

Проведена типизация лиманов северо-западного Причерноморья на основе гидролого-морфометрических характеристик с применением метода расширяющихся шкал и кластерного анализа. Представленную типизацию можно использовать для последующей гидроэкологической оценки лиманных экосистем.

*Ключевые слова:* гидролого-морфометрические показатели, типизация, лиманы северо-западного Причерноморья

По своим гидроэкологическим признакам лиманы северо-западного Причерноморья (СЗП) исключительно разнообразны и отличаются как генезисом, так и современными условиями развития [3].

Для возможности типизации и сравнительной характеристики лиманов СЗП актуальной является классификация на основе их гидроэкологических особенностей. Важным фактором типизации лиманов является характер связи с морем. По данному гидрологическому признаку лиманы делятся на три типа: *открытые*, т. е. свободно и постоянно сообщающиеся с морем через естественные проливы: Днепровский, Днестровский и Березанский лиманы, либо искусственные каналы: Григорьевский, Сухой лиманы; *закрытые*, отделённые от моря широкой пересыпью и имеющие фильтрационный тип связи с морем: Куяльницкий, Хаджибеевский, Солонец Тузлы; *эпизодически сообщающиеся с морем*: Тузловская группа (Шаганы, Бурнас, Алибей), Будакский, Дофиновский, Тилигульский лиманы [1].

Открытые лиманы были образованы в устьях крупных рек, сток которых в настоящее время весьма значителен и во многом определяет водный режим СЗП [4]. Общим и ключевым элементом гидрологического режима открытых лиманов является активный водообмен с морем. Именно этот процесс во многом определяет большие диапазоны колебания, и изменчивость во времени и пространстве солёности и ионного состава вод, что, в свою очередь, оказывает решающее влияние на биоту [5]. Закрытые лиманы с фильтрационным типом связи с морем в маловодную группу лет могут существенно усыхать и осолоняться в результате влияния засушливого климата и геоморфологических условий со значительным превышением слоя испарения над соответствующим слоем осадков и низким значением коэффициента поверхностного стока.

По типу солёности вод среди лиманов выделяют: олигогалинные (0,5 – 3‰): Сасык, Днестровский, Бугский, Днепровский, мейо-мезогалинные (3 – 8‰): Днестровский, Хаджибеевский, Днепровский, плейо-мезогалинные (8 – 15‰): Джантшейский, Малый Сасык, Шаганы, Карачаус, Алибей, Хаджидер, Курудюл, Бурнас, Будакский, Сухой, Малый

Аджалыкский (Григорьевский), Березанский, Днепровский, Большой Аджалыкский (Дофиновский), полигалинные(15 – 45‰), гипергалинные(> 45 ‰): Куяльницкий, Солонец Тузлы [4]. Как следует из классификации, отдельные лиманы могут принадлежать к различному типу солёности в зависимости от водности года и поступления в их акваторию морской воды.

Так же в гидроэкологической оценке важным аспектом при типизации лиманов является классификация их экосистем на основе гидролого-морфометрических характеристик акватории и водосборной площади, которые непосредственно влияют на составляющие водного и теплового баланса, газовый режим (процессы аэрации и дегазации) и поступление эоловых наносов [10]. Такая классификация может быть полезна для сопоставления и сравнительной оценки с гидрофизическими, гидрохимическими, гидробиологическими и антропогенными показателями.

Целью данной работы является типизация лиманов СЗП на основе гидролого-морфометрических характеристик для последующей гидроэкологической оценки их экосистем.

### Материал и методы исследований

Объектами исследования являлись лиманы СЗП, которые расположены в южной и средней полосе Причерноморской низменности между реками Дунай и Днепр в границах Одесской, Николаевской, а так же Херсонской областей (рис. 1).



Рис. 1. Лиманы северо-западного Причерноморья: 1 – Сасык; 2 – Джантшейский; 3 – Малый Сасык; 4 – Шаганы; 5 – Карачаус; 6 – Хаджидер; 7 – Алибей; 8 – Бурнас; 9 – Будакский; 10 – Днестровский; 11 – Кучурганский; 12 – Сухой; 13 – Хаджибеевский; 14 – Куяльницкий; 15 – Дофиновский; 16 – Григорьевский; 17 – Тилигульский; 18 – Солонец Тузлы; 19 – Березанский ; 20 – Бугский; 21 – Днепровский

Искусственная морфометрическая классификация на основе геометрических фигур для водоёмов Азово-Черноморского побережья, а так же влияние морфометрии на водный и тепловой балансы этих экосистем рассмотрено в работе [10]. Непосредственное влияние гидролого-морфометрических условий на интенсивность вещественно-энергетических процессов лимносистем получило определение «эффекта морфометрии» [9].

В данной статье для гидролого-морфометрической классификации рассматривались базовые параметры водоёмов – площадь водного зеркала ( $F$ , км<sup>2</sup>), водный объём ( $V$ , млн. м<sup>3</sup>), заполняющий котловину водоема, размер водосборной площади ( $F_{в-ра}$ , км<sup>2</sup>), средняя глубина

( $H_{cp,m}$ ), которые во многом определяют гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические особенности лимносистем.

При большом разбросе исходных параметров использовалась методика С. П. Китаева [2], который применял метод расширяющихся шкал с границами ( $L_i$ ), определяемыми по формуле:

$$L_i = n^x, \text{ где:} \quad (3.1)$$

$$x = \frac{\text{Log}(L_{\max} - L_{\min})}{\text{Log}(n)} \quad (3.2)$$

Здесь  $L_{\max}$  – максимальное значение показателя,  $L_{\min}$  – минимальное значение показателя,  $n$  – число градаций шкалы.

Так же для объединения лиманов в группы на основе интегрального учёта гидролого-морфометрических характеристик был применён кластерный анализ с использованием программного пакета Statistica.

Для описания конфигурации, размеров и особенностей строения лиманных геоэкосистем (водное ложе – водосборная площадь) использовались следующие гидролого-морфометрические характеристики: площадь водного зеркала ( $F$ , км<sup>2</sup>); объём воды ( $V$ , млн. м<sup>3</sup>); коэффициент извилистости береговой линии - отношение длины береговой линии к длине окружности круга, площадь которого равна площади водного зеркала лимана ( $\mu$ , б/р величина); удлинённость водного ложа – отношение длины к средней ширине, ( $k_L$ , б/р величина); размер водосборной площади ( $F_{в-ра}$ , км<sup>2</sup>); среднемноголетний условный водообмен с морем ( $D_m$ , б/р величина), которые рассчитывались по литературным данным [3–5, 7], а также с использованием данных SRTM в ГИС программах Global Mapper v14.0, Qgis v2.0.

Поскольку значение вышеперечисленных показателей между собой находятся в различных масштабах и шкалах, перед проведением кластерного анализа необходимо было привести эти показатели к единой безразмерной шкале от 0 до 1 – провести стандартизацию, с сохранением амплитуды колебания значений внутри каждого из них. Для этого применялись нормировочные функции [6, 8]. В качестве алгоритма кластеризации использовался метод Уорда, который даёт довольно компактные и хорошо разделённые кластеры. Поскольку кластерный анализ мы использовали для классификации на основе выделенных показателей без учёта приоритетности принятой в квалиметрической оценке, поэтому в равной степени учитывали различия по каждому из них и в качестве метрики использовали обычное евклидово расстояние.

### Результаты исследований и их обсуждение

Используя метод расширяющихся шкал, лиманы СЗП были типизированы по значениям: объёма водной котловины (табл. 1), водного зеркала (табл. 2), средней глубины (табл. 3) и площади водосбора (табл. 4). Для универсализации морфометрические характеристики лиманов приведены к пятибалльной шкале.

Таблица 1

Типизация лиманов СЗП по значению объёма водной котловины

Тип объёма	Диапазон значений, млн. м <sup>3</sup>	Лиманы
Очень малый	2 – 23	Малый Сасык, Дофиновский, Джантшейский, Солонец Тузлы, Хаджидер, Карачаус
Малый	24 – 144	Бурнас, Будацкий, Сухой, Григорьевский, Кучурганский, Куяльницкий, Шаганы, Алибей
Средний	145 – 530	Бугский, Березанский, Сасык, Хаджибеевский
Большой	531 – 1454	Днестровский, Тилигульский
Очень большой	1455 – 3200	Днепровский

Типизация лиманов СЗП по значению площади водного зеркала

Тип площади водного зеркала	Диапазон значений, км <sup>2</sup>	Лиманы
Очень малый	2 – 12	Малый Сасык, Сухой, Дофиновский, Григорьевский, Джантшейский, Солонец Тузлы, Хаджидер, Карачаус
Малый	13 – 52	Бурнас, Кучурганский, Будаковский, Куяльницкий
Средний	53 – 149	Березанский, Шаганы, Алибей, Хаджибеевский, Бугский, Тилигульский
Большой	150 – 333	Сасык, Днестровский
Очень большой	333 – 700	Днепровский

Таблиця 3

Типизация лиманов СЗП по значению средней глубины

Тип средней глубины	Диапазон значений, м	Лиманы
Очень малый	0,6 – 0,8	Малый Сасык, Дофиновский, Джантшейский, Солонец Тузлы, Хаджидер
Малый	0,81 – 1,3	Бурнас, Куяльницкий, Будаковский, Алибей, Карачаус, Шаганы
Средний	1,31 – 3,3	Днестровский, Сасык, Бугский, Кучурганский, Березанский
Большой	3,4 – 5	Тилигульский, Днепровский, Хаджибеевский
Очень большой	5,1 – 7,7	Сухой, Григорьевский

Таблиця 4

Типизация лиманов СЗП по значению площади водосбора

Тип площади водосбора	Диапазон значений, км <sup>2</sup>	Лиманы
Очень малый	8 – 118	Малый Сасык, Джантшейский
Малый	119 – 1924	Будаковский, Солонец Тузлы, Дофиновский, Карачаус, Шаганы, Григорьевский, Сухой, Бурнас, Хаджидер, Алибей, Березанский
Средний	1925 – 13940	Куяльницкий, Кучурганский, Хаджибеевский, Тилигульский, Сасык
Большой	13941 – 64769	Бугский
Очень большой	64770 – 550200	Днестровский, Днепровский

Как следует из представленной классификации, самыми крупными лиманами СЗП являются Днепровский и Днестровский. К небольшим лиманам относятся Малый Сасык, Дофиновский, Джантшейский, Хаджидер, Солонец Тузлы, Карачаус. Сухой и Малый Аджалыкский лиманы в связи с прокладкой судоходных каналов через их пересыпи превратились в глубоководные морские заливы.

На основании кластерного анализа интегрального учёта гидролого-морфометрических характеристик описывающих конфигурацию, размеры и особенности строения лимносистем, была получена дендограммасходства лиманов СЗП (рис. 2).

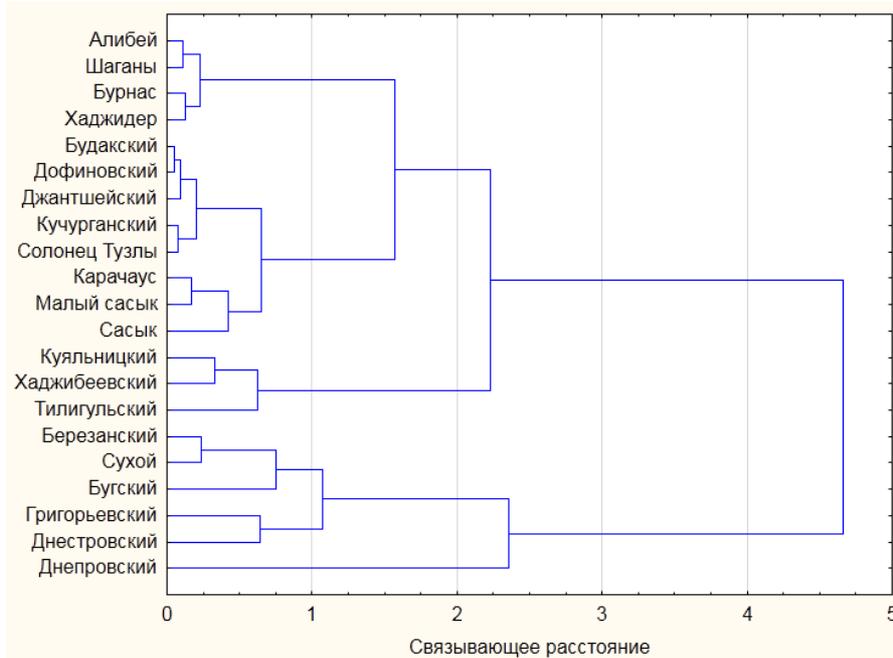


Рис. 2. Дендограмма сходства лиманов СЗП на основе гидролого-морфометрических показателей.

Используя дендограмму и график объединения (кластеризации), методом «k-средних» (рис. 3), доступных в программном пакете «Statistica», лиманы СЗП по гидролого-морфометрическим показателям были разделены на 5 групп (табл. 5).

Средние значения гидролого-морфометрических показателей для каждого кластера представлены на рис. 4. По горизонтали отложены участвующие в классификации показатели, по вертикали – их средние значения (в безразмерной шкале от 0 до 1) в разрезе полученных кластеров.

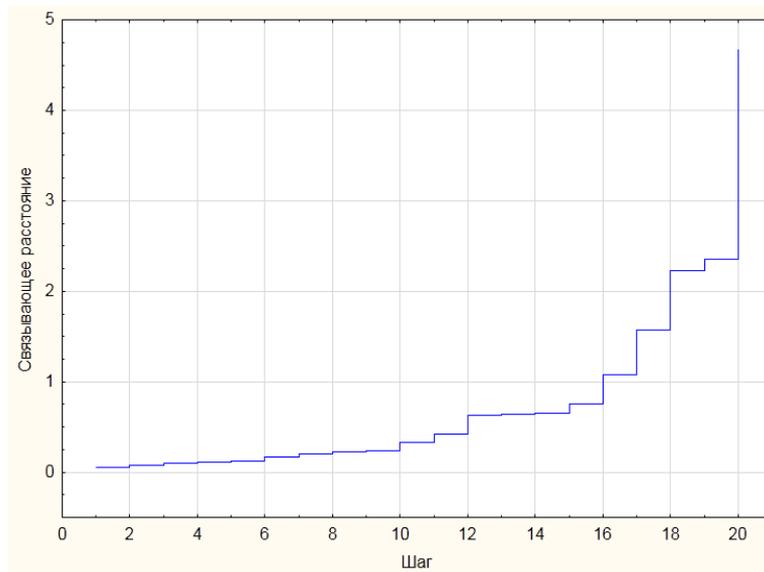


Рис. 3. График кластеризации лиманов СЗП на основе гидролого-морфометрических показателей, полученный методом Уорда.

Состав кластеров гидролого-геоморфологических показателей лиманов северо-западного Причерноморья

№ кластера	Лиманы СЗП
1	Куяльницкий, Тилигульский, Хаджибеевский
2	Будакский, Джантшейский, Дофиновский, Карачаус, Кучурганский, Малый Сасык, Солонец Тузлы
3	Днепровский
4	Алибей, Бурнас, Шаганы, Хаджидер, Сасык
5	Березанский, Бугский, Григорьевский, Днестровский, Сухой

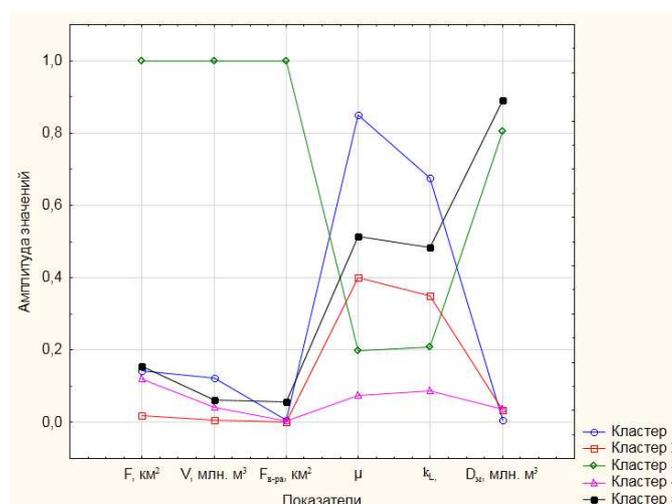


Рис. 4. График средних значений гидролого-морфометрических показателей кластеров: (F) – площадь водного зеркала, км<sup>2</sup>, (V) – объём воды, млн. м<sup>3</sup>; (H<sub>ср</sub>) – средняя глубина, м; (μ) – коэффициент извилистости береговой линии, б/р величина; (κ<sub>L</sub>) – удлинённость водного ложа, б/р величина; (F<sub>в-ра</sub>) – площадь водосбора, км<sup>2</sup>, (D<sub>м</sub>) – среднемноголетний объём поступления морской воды, б/р величина.

Кластер 1 объединяет лиманы эстуарного типа с удлинённым ложем и извилистой береговой линией закрытого (фильтрационного) типа связи с морем. Этот кластер характеризуется средними значениями площади водного зеркала и водосборного бассейна, а также объёма водной котловины наименьшими значениями водообмена с морем. Характерной особенностью кластера являются максимальные значения коэффициента извилистости за счёт многочисленных кос, отмелей и особенностей овражно-балочной системы вдоль побережья (в наибольшей степени это свойственно Тилигульскому лиману) и максимальные значения коэффициента удлинённости водного ложа. Такие геоморфологические особенности береговой линии обуславливают сопряжённость процессов водосборной площади и акватории, поскольку определяют зону (мощность) их контакта. Большие значения удельного водосбора – отношение площади водосбора к площади водного зеркала 35:1 – также способствует аллохтонному влиянию на внутриводёмные процессы лиманов этого кластера. Накопление терригенного материала с водосборной площади в устьевой части лиманов привело к образованию мощных песчаных пересыпей между акваторией и взморьем.

Кластер 2 объединяет малые лагунно-эстуарные лиманы закрытого типа гидрологической связи с морем. Кластер характеризуется наименьшими значениями (на порядки более) площади водного зеркала, площади водосбора и объёма водной котловины, средними значениями коэффициентов извилистости и удлинённости водного ложа, а так же

закритим – фільтраційним типом зв'язи з морем. Малі розміри, мелководність, закритий тип зв'язи з морем, слабе розвиток гідрографічної мережі, засушливий клімат регіону обумовлюють значительний прогрів і усихання лиманів цього кластера в літній період, особливо в маловодну групу літ, що призводить до погіршенню їх гідроекологічних умов.

Кластер 3 включає великий естуарний лиман відкритого типу гідрологічної зв'язи з морем. В цей кластер вошёл найбільш великий лиман СЗП – Дніпровський, що володіє максимальними значеннями площі водного дзеркала і водосборного басейна, а так же об'ємом водної котловини, значительно перевищуючі відповідні значення інших лиманів регіону. Водне ложе характеризується невеликим значенням коефіцієнтів извилистости і удлинённости среди других кластерів. Великі розміри водоёма і вільний водообмін з морем обумовлюють високу асиміляційну здатність його екосистеми по відношенню до потокам речовини і енергії. Благоприятної гідродинаміки сприяє велике значення співвідношення площі водного дзеркала до середньої глибини – коефіцієнт відкритості водного ложа. При цьому великий водосборний басейн обумовлює суттєвий вплив аллохтонних процесів на внутріводоемні.

Кластер 4 включає лагунно-естуарні лимани округлої і еліпсоїдної форми закритого типу зв'язи з морем. Кластер характеризується середніми значеннями водного дзеркала, малими значеннями об'єму водної котловини (в зв'язі з малими глибинами), водообміну з морем через піщані пересипи і площею водосборного басейна (виключення складає лиман Сасык з розвинутою гідрографічною мережею – р. Сарата і р. Когильник). Так же характерною особливістю є найменші значення коефіцієнта извилистости берегової лінії і удлинённости водного ложа, внаслідок округлої і еліпсоїдної форми акваторій. Основу кластера складають лимани лагунного типу з високим співвідношенням площі водного дзеркала до середньої глибини, що сприяє значительному теплообміну і вертикальному перемішуванню водних мас.

Кластер 5 включає естуарні лимани відкритого типу зв'язи з морем. Кластер характеризується середніми значеннями водного дзеркала, об'єму водної котловини (в зв'язі з високими глибинами), і площею водосборного басейна, розвинутою береговою лінією і удлинённостью водного ложа, а так же великими значеннями водообміну з морем. Слід відзначити, що лимани цього кластера суттєво відрізняються між собою розмірами водної котловини і водосборного басейна. Вони об'єднані в першу чергу по причині вільного водообміну оскільки значення цього показателя для даного типу лиманів на порядок і більше вище ніж для лиманів закритого-фільтраційного типу гідрологічної зв'язи з морем. Входячі в кластер Григор'євський і Сухий лимани з мелководних маючих фільтраційний тип зв'язи з морем були перетворені в глибоководні затоки, що виконують функцію портових акваторій, вільно зв'язані з морем в результаті дноуглубительних робіт. Однак штучне збільшення об'єму лиманів при незмінному і невеликому значенні площі водного дзеркала привело до формуванню періодичної стратифікації водних мас в придонному шарі.

### Выводы

В результаті кластерного аналізу лиманів северо-западного Причорномор'я розділені на 5 кластерів (груп): перший кластер – лимани естуарного типу з удлинённым ложем і извилистой береговою лінією закритого (фільтраційного) типу зв'язи з морем; другим кластер – малі лагунно-естуарні лимани закритого типу гідрологічної зв'язи з морем; третій кластер – великий естуарний лиман відкритого типу зв'язи з морем; четвертий кластер – лагунно-естуарні лимани округлої і еліпсоїдної форми закритого типу зв'язи з морем; п'ятий кластер – естуарні лимани відкритого типу зв'язи з морем.

1. *Актуальні проблеми лиманів северо-западного Причорномор'я: Колективна монографія / під ред. Тучковенко Ю. С., Гопченко Е. Д. — Одеса: ТЭС, 2011. — 224 с.*
2. *Китаев С.П. Екологічні основи біопродуктивності озер різних природних зон / С.П.Китаев. — Л.: Наука, 1984. — 206 с.*

3. *Лиманно-устьевые* комплексы Причерноморья: географические основы хозяйственного освоения / под ред. Швец Г.И. — Л.: Наука, 1988. — 304 с.
4. *Северо-западная часть Чёрного моря: (биология и экология)* / Под ред. Зайцев Ю. П., Александров Б. Г. и др. — Киев: Наукова думка, 2006. — С. 351—356.
5. *Тимченко В.М.* Эколого-гидрологические исследования водоемов северо-западного Причерноморья / В.М. Тимченко. — Киев: Наукова думка, 1990. — 240 с.
6. *Хамханова Д.Н.* Основы квалиметрии / Д.Н. Хамханова. — Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. — 141 с.
7. *Швец Г.И.* Каталог річок і водойм України / Г.И. Швец, М.І. Ігошин. — Одеса: Астропринт, 2003. — 392 с.
8. *Шитиков В.К.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.
9. *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.
10. *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.

*Є. В. Соколов*

Морський біологічний інститут НАН України

#### ТИПІЗАЦІЯ ЛИМАНІВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я НА ОСНОВІ ГІДРОЛОГО-МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Приведена найбільш поширена типізація і класифікація лиманів північно-західного Причорномор'я на основі гідрологічного зв'язку з морем і солоності води. Проведено типізацію лиманів на основі гідролого-морфометричних характеристик із застосуванням методу розширення шкал. Здійснено кластерний аналіз на основі інтегрального обліку гідролого-морфометричних характеристик, що описують конфігурацію, розміри та особливості будови лімносистем. Отримано дендограму подібності лиманів північно-західного Причорномор'я і виділені 5 кластерів, що докладно описані.

*Ключові слова:* лимани північно-західного Причорномор'я, гідролого-морфометричні показники, типізація

*E. V. Sokolov*

Marines Biology Institute National of Academy of Sciences of Ukraine

#### TYPIFICATION OF THE NORTHWESTERN BLACK SEA'S ESTUARIES BASED ON HYDROLOGICAL AND MORPHOMETRICAL CHARACTERISTICS

Typification of the Northwestern Black Sea's estuaries was carried out on the basis of hydrological and morphometrical characteristics using the method of expanding scales and cluster analysis. Represented typification can be used for the next hydroecological assessment of the estuaries' ecosystems.

*Keywords:* estuaries of the Northwestern Black Sea, hydrological and morphometrical indices, typification

Рекомендує до друку

Надійшла 26.11.2014

В. В. Грубінко