

УДК 504.064

*С.С. Рижков, д-р техн. наук, професор, В.Л. Тимченко, д-р техн. наук, доцент,  
О.Л. Гіржева, канд. сільгосп. наук, І.В. Тимченко, канд. техн. наук  
(Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв)*

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИБЕРЕЖНИХ ДІЛЯНОК АКВАТОРІЇ ЛИМАННОГО КАНАЛУ

Запропоновано багатofакторний підхід до оцінки категорії екологічної небезпеки прибережних районів та акваторії суднохідного Дніпро-Бузького лиманного каналу для вирішення задач підвищення екологічної безпеки функціонування промислової зони Миколаївської області. Наведено сформовані фактори оцінки категорії небезпеки акваторії лиману, алгоритм та логіко-структурну схему процесу формування категорій небезпеки на прикладі району морського торгового порту, карту-схему з візуалізацією результатів районування лиманного каналу. Запропонований підхід дає змогу зменшити середню похибку оцінки та сформувавши попередній план розподілу матеріальних ресурсів на заходи з забезпечення екологічної безпеки.

**Ключові слова:** екологічна небезпека, суднохідний канал, фактори впливу, антропогенне навантаження, районування.

### Постановка проблеми

Функціонування промислових об'єктів на прибережній території Чорноморського басейну пов'язане з постійною техногенною небезпекою для довкілля. Зокрема, Дніпро-Бузький суднохідний лиманний канал характеризується: інтенсивним судноплаством, розташуванням крупних суднобудівних заводів (Чорноморського суднобудівного заводу, заводу „Океан” та ін.), морських терміналів (морського торгового порту, порту „Ніка-Тера” та ін.), Миколаївського глиноземного заводу; перевищенням допустимої концентрації деяких забруднювачів в багатьох точках акваторії та, разом з тим, має статус рибогосподарської водойми, а також охоплює рекреаційні та природоохоронні об'єкти.

Все це обумовлює важливість та необхідність вирішення задач екологічної безпеки функціонування промислових об'єктів з забезпеченням оптимізації заходів з запобігання забрудненням водного середовища лиману.

В статті запропоновано підхід до оцінки рівнів екологічної небезпеки прибережних районів та акваторії Дніпро-Бузького лиманного каналу для визначення характеристик антропогенного навантаження різних ділянок акваторії та подальшої оптимізації розподілу ресурсів на заходи із забезпечення екологічної безпеки й формування сценаріїв розвитку аварійних ситуацій, а також створення бази даних альтернативних схем їх ліквідації.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні електронні карти, зокрема на базі геоінформаційних систем [1], включають шари рівнів чутливості до антропогенного навантаження [1-3], які дають змогу програвати різні сценарії розвитку аварій з прогнозуванням можливих наслідків, вирішувати задачі екологічно безпечного розташування промислових об'єктів [3]. Прикладом, таких карт є розроблені українським науковим центром екології моря ESI-карти (за значенням ESI-індексу, індексу чутливості берегової смуги до нафтових забруднень) для берегової смуги Чорного моря [1]. Разом з тим карти призначені для локального застосування та вирішують деякі чіткі задачі.

**Метою роботи** є розробка підходу до оцінки категорії екологічної небезпеки прибережних районів та акваторії Дніпро-Бузького лиманного каналу з урахуванням характеру промислової діяльності окремих районів суднохідного каналу.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Запропонований підхід до оцінки категорії екологічної небезпеки базується на експертному оцінюванні та Байєсовому методі. Оцінка проводиться на основі інформації про якісні та кількісні характеристики екологічного стану окремих ділянок акваторії та берега (до 100 м) лиману, розташування промислових та небезпечних об'єктів, а також статистичної інфор-

мації про найбільш ймовірні небезпечні ситуації. Дані про екологічний стан ділянок акваторії включають таку інформацію: антропогенне навантаження (наявність трубопроводів скиду стічних вод, додаткових джерел забруднення нафтопродуктами, СПАР та ін.), небезпечні місця, морський трафік, зони відповідальності ДСНС, екологічну чутливість берегової смуги до нафтового забруднення (ESI – індекс), геоморфологічну характеристику берегової смуги, дані про вітро-хвильову навантаженість узбережжя, категорію водного об'єкта та цінність морської акваторії, наявність статусу природоохоронного об'єкта та ін.

Оцінка категорії безпеки проводиться поетапно:

Етап 1. Оцінка рівнів екологічної безпеки за сформованими факторами впливу на навколишнє середовище (табл.1).

Етап 2. Визначення вагового коефіцієнта кожного фактора з урахуванням поставленої задачі, серед яких:

1. Оцінка прогнозованих наслідків аварійної ситуації будь-якого характеру при її розповсюдженні на акваторії водного об'єкта.

2. Вибір ефективної схеми ліквідації наслідків аварійної ситуації.

3. Формування оптимального розподілу матеріальних ресурсів на заходи з забезпечення екологічної безпеки функціонування промислових об'єктів на різних ділянках прибережної зони.

Етап 3. Розробка сценаріїв розвитку аварійних ситуацій та визначення координат максимальних концентрацій забруднювальних речовин й досягнення гранично допустимих [4].

Етап 4. Нанесення на карту водного об'єкта основних джерел антропогенного навантаження та категорій безпеки виділених ділянок.

Оцінка рівнів екологічної безпеки проводилась за такими факторами (табл.1).

**Таблиця 1**

*Фактори оцінки категорії безпеки ділянки акваторії лиману*

Фактори	Рівень безпеки	Ваговий коефіцієнт
1. ESI – індекс [1]:		
штучні конструкції та портові споруди	1	4
скально-глибові навали	2	
мілкопіщані пляжі	3	
крупнопіщані пляжі	4	
піщане-галькові пляжі	5	
гравійні та щебені пляжі, кам'яна насип	6	
підсихаюча мілина	7	
плоскі гравійно-піщані пляжі з крупними валами водоростей та трав	8	
захищений підсихаючий берег	9	
заростаючі заболочені землі	10	
2. Місця скиду стічних вод:		
ні	0	6
очищені	1	
частково очищені	5	
неочищені	10	
3. Небезпечні об'єкти (затонулі судна та ін., скальні виступи):		
так	10	3
ні	0	

*Продовження таблиці 1*

4. Батиметричні умови району (відстань від берега, км): до 5 5,1-10 більше 10	10 8 7	1
5. Точки водозабору: так ні	10 0	9
6. Населенні райони (кількість населення, осіб) ні до 500 500-1000 1000-2000 >2000	0 1 3 6 8	4
7. Промислові об'єкти: так ні	10 0	3
8. Категорія ділянки водного об'єкту [5]: господарсько-побутового використання питного водокористування рибогосподарського використання II категорії рибогосподарського використання I категорії рибогосподарського використання вищої категорії	4 6 7 8 10	7
9. Ступінь природоохоронності або рекреаційності прибережної території [6] немає рекреаційна територія резерват заказники національні (народні і природні) парки заповідники	0 2 4 6 8 10	8
10. Характеристика забрудненості вод відносно чисті слабко забруднені помірно забруднені брудні дуже брудні	1 3 6 8 10	8
11. Стоянка суден (кількість) ні до 3 3-5 5-10 більше 10	0 3 5 8 10	6

Ваговий коефіцієнт розраховується методом аналізу ієрархій Сааті [7,8], на базі якого розроблено програму розрахунку, що дає змогу визначати вагові коефіцієнти з урахуванням цілей використання отриманих категорій небезпеки. Зокрема, в табл.1 наведені вагові коефі-

цієнти для задачі оцінки прогнозних наслідків аварії будь-якого характеру при її розповсюдженні на акваторії водного об'єкта (поверхневих вод).

Розрахунок категорії небезпеки  $R$  проводиться за кожним фактором в діапазоні  $[0;10]$ , за умови «0» – найбільш безпечне, «10» – найбільш небезпечне, як:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i x_i}{\max x_i \cdot \omega_i} \cdot 10, \quad (1)$$

де  $x_i$  – рівень небезпеки,  
 $\omega_i$  – ваговий коефіцієнт,

$\max x_i$  – максимальний рівень небезпеки ділянки акваторії каналу за  $i$ -тим фактором.

Узгодженість експертів перевірена за оцінкою узгодженості (ОУ) [8], та становить 10% (при допустимій 20%). При низькій узгодженості експертів для формування підсумкової оцінки небезпеки використовується Байєсова схема [9], що дає можливість відкинути некоректні експертні рішення.

При цьому оцінки визначаються з залученням  $m$  зовнішніх експертів, які приймають незалежне рішення. Професійна кваліфікація експертів  $P(R_{int1}), \dots, P(R_{intm})$  визначається заздалегідь та виступає апіорною ймовірністю. Колективне рішення приймається на користь  $R_{int}$  – оцінки  $k$ -го експерта згідно з Байєсовою формулою, яку можна записати у вигляді:

$$P(R_{int k} | A) = \max_{k=1, \dots, m} \frac{P(R_{int k}) \cdot P(A | R_{int k})}{\sum_{k=1}^m P(R_{int k}) \cdot P(A | R_{int k})}, \quad (2)$$

де  $A$  – комбінації приватних рішень  $m$  експертів;  $P(A | R_{int})$  – апостеріорна ймовірність відношення ситуації до однієї з  $k$ -оцінок,  $P(A | R_{int k}) = \frac{P(F_k) \cdot P(R)}{\sum_{k=1}^m P(F_k) \cdot P(R)}$ ;  $F_k$  – частота повторення  $k$ -ї

оцінки в вибірці з  $m$  оцінок;  $F_k = \frac{F}{m}$ ;  $F$  – кількість повторних оцінок;  $P(R_{int}(R))$  – відношення

оцінки експерта до розрахункової оцінки, що знаходиться в базі даних. При цьому приймається припущення, що отриманні ймовірності розподіляються за нормальним законом.

На рис. 1 наведено логіко-структурну схему формування людиною, що приймає рішення (ЛПР) категорії небезпеки на прикладі району морського торгового порту, де цифрами в колі наведено етапи процесу.

Етапи прийняття рішень: 1 – взаємодія ЛПР з базою даних (БД), 3 - взаємодія експертів з БД, 4 - формування запиту до зовнішніх експертів, 5 – визначення експертами рівнів небезпеки та порівняльних оцінок важливості факторів (етапи управляються людиною); 2 – вилучення інформації з блока „Порт”; 6 – перевірка узгодженості експертних оцінок, 7 – розрахунок рівнів небезпеки та вагового коефіцієнта, 8 – розрахунок інтегрованої категорії небезпеки (автоматизовані етапи).

Районування за категорією небезпеки проведене для акваторії та берега (до 100 м) Дніпро-Бузького лиману, який умовно розділено (з урахуванням специфіки промислових підприємств та населених пунктів) на 23 окремі ділянки.

На рисунку 2 наведено результати розрахунків категорії небезпеки для наступних ділянок (рис. 2а):

1. Район Чорноморського суднобудівного заводу (ЧСЗ),  $R=6$ .
2. Район суднобудівного заводу „Лиман” (Каботажна гавань),  $R=5$ .
3. Н.п. Мала Корениха, Радсад (Житловий масив\_1),  $R=7$ .
4. Миколаївський морський торговий порт (Порт),  $R=8$ .
5. Нафтоперевалочний комплекс (НПК),  $R=6$ .
6. Рейд морпорту (Рейд),  $R=4$ .

Та на рис.2б:

7. Миколаївський глиноземний завод (МГЗ),  $R = 7$ .
  8. Н.п. Каталіне, Прибузьке (Житловий масив\_6),  $R = 5$ .
  9. Н.п. Нова Галіцинівка, дачні ділянки (Житловий масив\_7),  $R = 5$ .
  10. Шламосховище МГЗ,  $R = 8$ .
  11. Н.п. Широка балка, Царське село (Житловий масив\_2),  $R = 7$ .
- Для інших ділянок:
12. ВАТ „Дамен Шипардс Океан”, суднобудівний завод (Океан),  $R = 7$ .
  13. Н.п. Новобогданівка (Житловий масив\_3),  $R = 5$ .
  14. Морський спеціалізований порт „Ніка-Тера” („Ніка-Тера”),  $R = 7$ .
  15. Дачні ділянки (Житловий масив\_4),  $R = 5$ .
  16. Порт „Октябрьськ”,  $R = 6$ .
  17. Очисні споруди, Галіцинівка (О.С.),  $R = 8$ .
  18. Н.п. Старобогданівка, Козирка (Житловий масив\_5),  $R = 5$ .
  19. Вихід в Дніпро-Бузький лиман (Квадрат\_1),  $R = 3$ .
  20. Ділянка лиману між Н.п.Олександрівка та островами Вербка (Квадрат\_2),  $R = 8$ .
  21. Ділянка лиману між Дмитрівкою та Васильєвкою (Квадрат\_3),  $R = 8$ .
  22. м. Очаків,  $R = 10$ .
  23. Чорноморка, вихід в Чорне море (Квадрат\_4),  $R = 8$ .

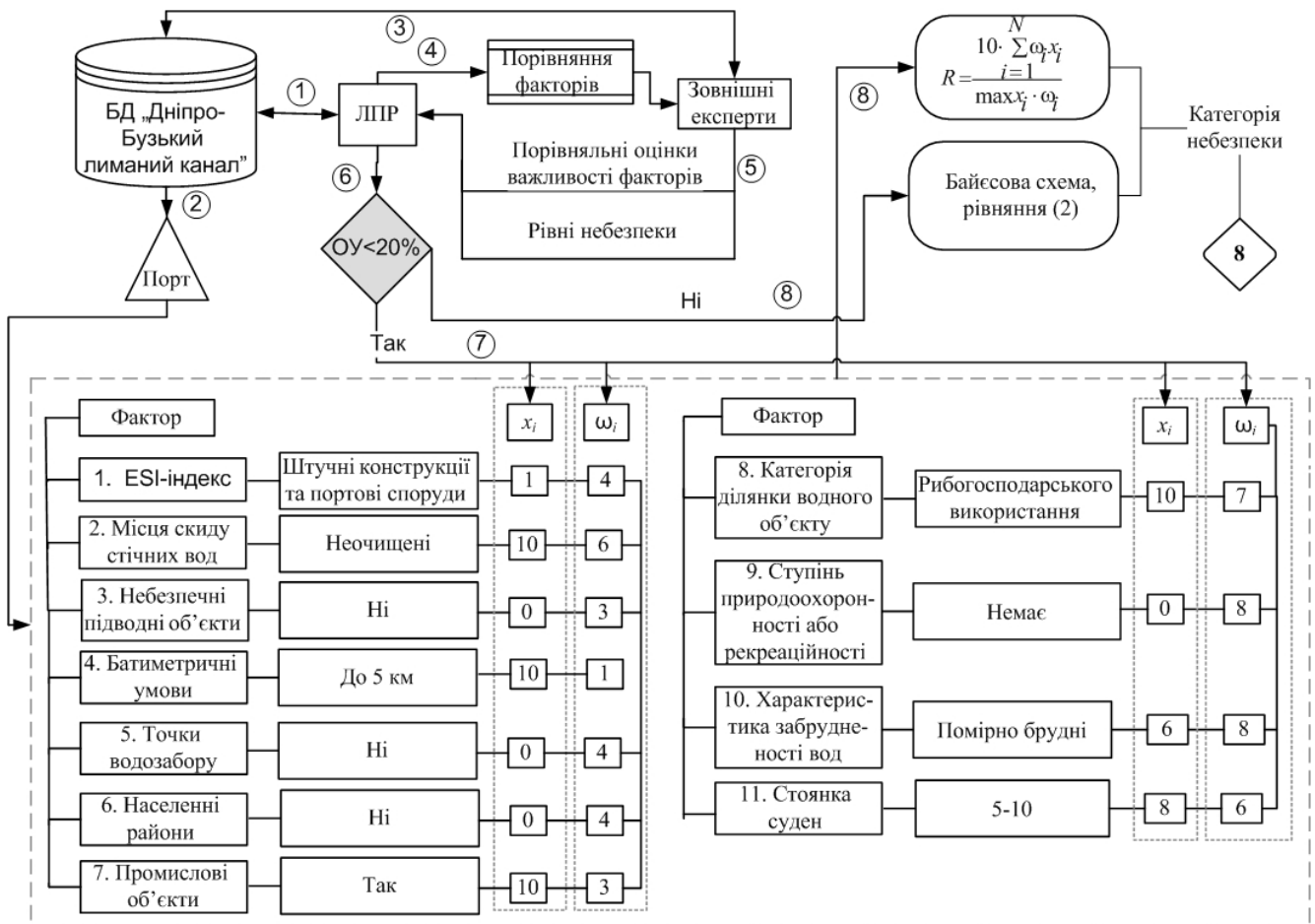
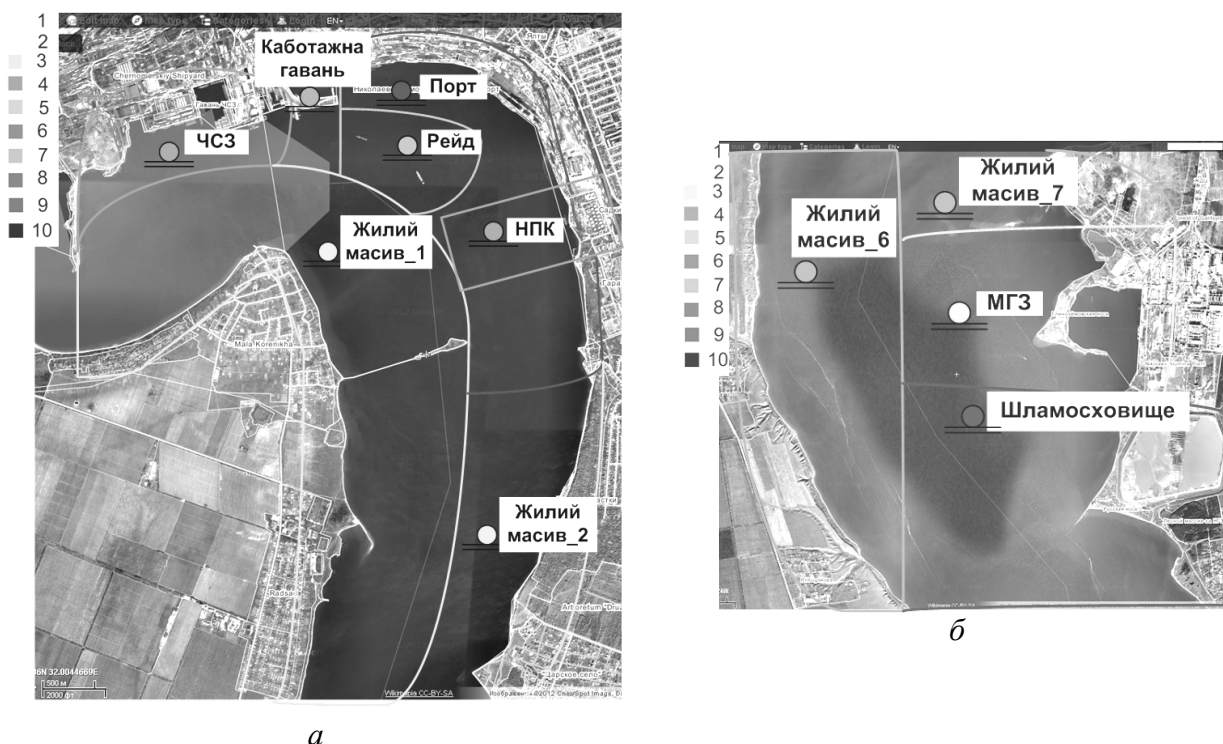


Рис. 1. Логіко-структурна схема визначення категорії небезпеки



*Рис. 2. Карта-схема районів лиману з візуалізацією категорій небезпеки*

Найбільш ймовірні екологонебезпечні ситуації в акваторії лиману пов'язані з: розливами нафти та нафтопродуктів [8]; забрудненням акваторії внаслідок перевантаження калійних та азотних добрив; забрудненням акваторії червоним шламом та бокситами. При розробці сценаріїв розглядаються окремо періоди: зимовий, літній, весняний, осінній (з притаманною цим періодам розою вітрів), найбільш ймовірні обсяги забруднень (згідно із статистичними даними подібних аварій та обсягами перевантаження) та використовуються математичні моделі розповсюдження нафтового забруднення [8], та модель перенесення забруднення в атмосфері й осідання на водну поверхню.

#### **Висновок**

Запропонований підхід до визначення категорії небезпеки окремих ділянок водної акваторії експертними методами, апробований на прикладі Дніпро-Бузького лиманного каналу, дає змогу здійснювати районування акваторії за категорією екологічної небезпеки з мінімальною похибкою (завдяки відкиданню некоректних оцінок), та надалі визначати прогнозні наслідки аварійної ситуації будь-якого характеру при її розповсюдженні на водній акваторії, формувати ефективні схеми ліквідації наслідків аварійної ситуації та оптимальний розподіл ресурсів на заходи. Розроблена комп'ютерна програма на основі цього підходу може використовуватися в регіональних та загальнодержавних центрах екологічного моніторингу, а також в якості тренажерної та допоміжної системи в штабі реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру.

#### **Література:**

1. **Карти** тематичні [Електронний ресурс] // УкрНЦЕМ. – 2012. – Режим доступу: <http://www.sea.gov.ua>.
2. **Литовченко І.В.** Суспільно-екологічне районування Полтавської області: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 11.00.02 «Економічна та соціальна географія» [Текст] / І.В. Литовченко. – К., 2008.
3. **Бендюг В.І.** Оцінка техногенної безпеки промислових підприємств: методологія та програмне забезпечення [Текст] / В.І. Бендюг // Зб. наук. пр. Луганського державного аграрного університету. – 2004. – № 40(52). – С. 366-374.

4. **Ryzhkov S.S.** Simulation modeling of the dynamics of pollutant spreading in the sea of estuary channel [Electronic resource] / S. Ryzhkov, I. Tymchenko, O. Girzheva // NUS Journal. – Mykolayiv, 2012. – №4. Access mode: <http://ev.nuos.edu.ua>.

5. Наказ «Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів»: від 20.07.2009 р. за N 389 [Електронний ресурс] / Мін-во охорони навколишнього природного середовища України. – К.– 2009. – Режим доступу:

6. Закон України „Про природно-заповідний фонд України” від 16.06.1992 № 2456-ХІІ 1 [Електронний ресурс] / Верховна рада України. – К.– 1992. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>.

7. **Саати Т.** Принятие решений – метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

8. **Тимченко І.В.** Вдосконалення системи комп’ютеризованого екологічного моніторингу перевантаження шкідливих рідин в акваторіях морських портів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» [Текст] / І.В. Тимченко. – М., 2010. – 21с.

9. **Файнзильберг Л. С.** Байесова схема принятия коллективных решений в условиях противоречий / Л. С. Файнзильберг // Проблемы управления и информатики. – 2002. – № 3. – С. 112 – 122.

*С.С. Рыжков, В.Л. Тимченко, Е.Л. Гиржева, И.В. Тимченко*

#### **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ УЧАСТКОВ АКВАТОРИИ ЛИМАННОГО КАНАЛА**

В статье предложен многофакторный подход к оценке категории экологической опасности прибрежных районов и акватории судоходного Днепро-Бугского лиманного канала для решения задач повышения экологической безопасности функционирования промышленной зоны Николаевской области. Приведены сформированные факторы оценки категории опасности участков акватории лимана, алгоритм и логико-структурная схема процесса формирования категории опасности на примере района морского торгового порта, карта-схема с визуализацией результатов районирования лиманного канала. Предложенный подход позволяет уменьшить среднюю ошибку оценки и сформировать предварительный план распределения материальных ресурсов на мероприятия по обеспечению экологической безопасности.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, судоходный канал, факторы воздействия, антропогенная нагрузка, районирование.

*S.S.Rizhkov, V.L. Timchenko, O. L. Girzheva, I.V. Tymchenko*

#### **THE DETERMINATION ALGORITHM OF ENVIRONMENTAL HAZARD CATEGORY OF THE WATER AREAS OF ESTUARY WATERSIDE**

The article proposes multivariate approach to assessing the environmental hazard category of watersides and water area of navigable Dnieper-Bug estuary channel. It's made in order to solve problems of increasing environmental safety of industrial zones functioning of Mykolaiv region. The formed factors of the category of the estuary water area evaluation are presented. The algorithm and logical framework of formation process of hazard categories on the example of Commercial Sea Port district and map-scheme with visualization results of zoning the estuary channel are also presented here. The suggested approach allows reducing the average estimation error and forming a preliminary plan for distribution of material resources for activities ensuring environmental safety.

**Keywords:** environmental safety, navigable channel, impact factors, human pressure, zoning.

