

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ІВАНЮТА СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ**



**УДК 504.058; 504.064**

**НАУКОВІ ОСНОВИ ОЦІНКИ РИЗИКІВ І ЗАГРОЗ ЕКОЛОГІЧНІЙ БЕЗПЕЦІ  
РЕГІОНІВ УКРАЇНИ**

21.06.01 – екологічна безпека

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2017

## **Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Національному інституті стратегічних досліджень.

### **Науковий консультант:**

доктор технічних наук, професор

**Качинський Анатолій Броніславович,**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

професор кафедри інформаційної безпеки

### **Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор

**Зберовський Олександр Владиславович,**

Дніпродзержинський державний технічний університет,

завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища

доктор технічних наук, професор

**Волошкіна Олена Семенівна,**

Київський національний університет будівництва і архітектури,

завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

**Чумаченко Сергій Миколайович,**

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту,

начальник відділу моделювання надзвичайних ситуацій

науково-дослідного центру інноваційних технологій

Захист дисертації відбудеться «21» лютого 2017 р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.05 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, корпус 19, аудиторія 201/1.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «\_\_» січня 2017 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 26.002.05,  
кандидат технічних наук, доцент

О.І. Іваненко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** За сучасних умов на тлі загострення обстановки в східних регіонах України відбувається зростання загроз екологічній і техногенній безпеці держави, у т. ч. внаслідок порушення технологічного режиму функціонування численних потенційно небезпечних об'єктів (ПНО). Наявний в Україні комплекс гірничодобувних, хімічних, енергетичних об'єктів із значною кількістю промислово-міських агломерацій та високою щільністю населення зумовлює істотне зростання ризиків виникнення техногенних катастроф з масштабними негативними наслідками через загрозу руйнування ПНО, у т.ч. внаслідок воєнних дій, у місцях їх дислокації. З-поміж об'єктів критичної інфраструктури особливу загрозу становлять просторово розподілені залізничні колії, нафто- та газопроводи, мости, ПНО, магістральні електромережі, безпечна експлуатація яких має першочергове значення для соціально-економічного розвитку України.

За даними компанії *Swiss Re* в 2015 р. у світі сталося 353 катастрофічних подій, в результаті яких подій понад 26 тис. чол. загинули або пропали безвісти. Загальні економічні збитки від природних та техногенних катастроф у світі в 2015 р. склали 92 млрд доларів порівняно з 113 млрд доларів у 2014 р.

Україна не є виключенням з глобальних трендів. Загальна кількість надзвичайних ситуацій (НС) в нашій державі у 2015 р. збільшилася на 3,5 % порівняно з показником 2014 р. і становила 148. При цьому кількість постраждалих внаслідок НС у 2015 р. збільшилася на 41,5 % порівняно з попереднім роком і склала 962 чол. Обсяг економічних збитків від природних і техногенних катастроф в Україні у 2015 р. збільшився до 538,8 млн грн порівняно з 198,8 млн грн у 2014 р. Така ситуація разом із підвищенням уразливості населення у результаті демографічних, технологічних і соціально-економічних змін, що відбуваються в умовах поширення процесів урбанізації, погіршення стану довкілля, глобальних змін клімату може призвести до істотного зростання ризиків і загроз природного і техногенного походження та зниження рівня екологічної безпеки.

Враховуючи системні дослідження сучасного стану екологічної безпеки держави, можна дійти висновку про необхідність уточнення підходів до зниження ризику природних і техногенних катастроф як необхідної умови зміцнення потенціалу протидії держави для більш ефективного захисту населення, об'єктів інфраструктури та довкілля.

Концепція зниження ризику катастроф широко використовується в світі шляхом запровадження систематичних зусиль з аналізу та управління важливими факторами катастроф, у тому числі за рахунок зниження схильності до впливу таких факторів, зменшення уразливості населення, господарських об'єктів і довкілля, поліпшення рівня готовності до несприятливих подій.

Беручи до уваги складні соціально-економічні умови, в яких перебуває Україна, для підвищення рівня екологічної безпеки держави необхідно запроваджувати сучасні світові підходи щодо зниження ризику і на цій основі ухвалювати обґрунтовані рішення щодо запобігання і мінімізації негативних наслідків надзвичайних ситуацій і стихійних лих. Робота присвячена розробці

методів і програмно-технічних засобів, спрямованих на вирішення завдань оцінки ризиків і загроз екологічній безпеці регіонів держави.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного інституту стратегічних досліджень “Політичні аспекти проблем природокористування в Україні” (№ держреєстрації 0111U001564, 2011 р.), “Актуальні проблеми державної політики у сфері екологічної та техногенної безпеки в Україні та шляхи їх вирішення” (№ держреєстрації 0112U000848, 2012 р.), “Стратегічні пріоритети формування державної політики сталого розвитку: екологічні й природно-техногенні аспекти” (№ держреєстрації 0113U001155, 2013 р.), “Проблеми формування і реалізації державної екологічної політики в Україні: регіональний вимір” (№ держреєстрації 0114U003206, 2014 р.), а також “Вплив глобалізаційних процесів на функціонування енергетики України” (№ держреєстрації 0115U003483, 2015 р.). Крім того, робота виконувалася в рамках науково-дослідної тематики Інституту проблем національної безпеки за замовленням Ради національної безпеки і оборони України у період з 2007 по 2010 рр., зокрема, “Наукові засади системного забезпечення інформаційної безпеки в Україні” (№ держреєстрації 0109U004815), а також в рамках роботи “Удосконалення інформаційно-аналітичної підсистеми оцінки та прогнозування ризиків надзвичайних ситуацій на територіях підвищеної природно-техногенної небезпеки” (№ держреєстрації 0103U008873).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження було створення наукових основ оцінки актуальних ризиків і загроз екологічній безпеці регіонів держави, розробка нових методів оцінки рівня екологічної безпеки для основних елементів захисту регіонів: населення, господарських об'єктів і довкілля, визначення основних закономірностей формування загроз безпеці об'єктам критичної транспортної інфраструктури в регіонах України.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі завдання:

- дослідження тенденцій і характеру змін основних природних і техногенних загроз та їх впливу на стан екологічної безпеки регіонів України;
- розробка методу оцінки рівня безпеки регіонів держави для основних об'єктів їх захисту: населення, господарських об'єктів і складових довкілля;
- дослідження процесів формування та динаміки змінювання ризиків і збитків від загроз природного і техногенного походження;
- розробка методу комплексної оцінки ризику екологічній безпеці регіонів з урахуванням збитків для об'єктів їхнього захисту;
- розробка методу оцінки інженерно-геологічних загроз безпеці експлуатації об'єктів критичної транспортної інфраструктури регіонів;
- адаптація методів використання технологій геоінформаційних систем для оцінки ризиків і загроз екологічній безпеці;
- розробка програмних засобів оцінки загроз безпеці експлуатації об'єктів критичної транспортної інфраструктури з використанням технологій геоінформаційних систем;
- розробка методу оцінки рівня екологічної безпеки регіонів з використанням обґрунтованої системи індикаторів;

- розробка методики оцінки рівня техногенного навантаження регіонів України з урахуванням впливу критичної транспортної інфраструктури.

**Об'єктом дослідження** є процес формування та зміни ризиків і загроз екологічній безпеці регіонів держави.

**Предметом дослідження** є методи і засоби оцінки впливу природних і техногенних ризиків і загроз на стан екологічної безпеки регіонів держави.

**Методи дослідження.** У дисертації застосовувався комплекс аналітичних, експертних, числових і геоінформаційних методів, зокрема: системний аналіз для оцінки основних чинників формування загроз екологічній безпеці; методи теорії надійності, статистичні методи аналізу даних при проведенні оцінки рівня безпеки основних об'єктів захисту регіонів України; геоінформаційний аналіз при вирішенні задач оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури регіонів; методи теорії ймовірності та аналізу ризиків при проведенні оцінок ризику екологічній безпеці регіонів та узагальненні результатів; метод експертного оцінювання при визначенні індикаторів стану екологічної безпеки регіонів; геоінформаційний метод представлення та відображення інформації при розробці програмних засобів оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- удосконалено метод оцінки рівнів безпеки регіонів держави в частині застосування теорії надійності для аналізу функцій безпеки; встановлено, що траєкторія зміни функції безпеки в часі для основних об'єктів захисту регіону має форму гіперболи; проведено порівняльний аналіз рівня екологічної безпеки регіонів України;

- вперше визначено характер і швидкість зміни функцій безпеки для об'єктів захисту регіонів України на основі розрахунку динаміки зміни значень функцій безпеки в часі; встановлено, що залежність між швидкістю зміни функцій безпеки та рівнем безпеки регіонів має обернено пропорційний характер; проведено групування та ранжирування регіонів держави за рівнем швидкості зміни функцій безпеки;

- розроблено новий метод комплексної оцінки ризику екологічній безпеці регіонів, що враховує збитки від реалізації загроз для основних об'єктів захисту; встановлено, що найбільший внесок в загальний ризик екологічній безпеці регіонів формує ризик втрати та ушкодження довкілля; проведено групування регіонів за рівнем загального ризику екологічній безпеці;

- розроблено новий метод оцінки загроз інженерно-геологічного походження для безпеки об'єктів критичної транспортної інфраструктури регіонів; встановлено, що переважаючий вплив на їх безпеку здійснюють процеси регіонального підтоплення земель, в зонах активізації яких функціонує до 19,8 % магістральних залізничних шляхів і 21,5 % магістральних газопроводів; здійснено ранжирування регіонів за видами і рівнями загроз для безпеки їх критичної транспортної інфраструктури;

- здійснено програмну реалізацію методу оцінки загроз безпеці об'єктам критичної транспортної інфраструктури регіонів з використанням технологій геоінформаційних систем; розроблено і реалізовано графічний інтерфейс користувача, що забезпечує виконання послідовності дій з вибору регіону для

дослідження, вибору об'єкта критичної транспортної інфраструктури, вибору небезпечного екзогенного геологічного процесу, виводу результатів оцінки;

- розроблено алгоритм взаємодії програмних засобів оцінки загроз безпеці об'єктів транспортної інфраструктури регіонів держави з інформаційними ресурсами геоінформаційної складової, базами даних потенційно небезпечних об'єктів і небезпечних екзогенних геологічних процесів, що визначає послідовність виконання процесів оцінки, виводу та аналізу результатів;

- удосконалено і адаптовано методи, засоби і технології геоінформаційних систем для аналізу загроз від індивідуального та спільного впливу регіональної активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на безпеку просторово розповсюджених у складних природно-техногенних умовах міжнародних транспортних коридорів, магістральних автошляхів і газопроводів;

- розроблено новий метод оцінки стану екологічної безпеки регіонів, визначено систему індикаторів, що адекватно характеризують тенденції та характер змін основних ризиків і загроз природного і техногенного походження в регіонах України; встановлено, що загрози природного походження здійснюють визначальний вплив на стан екологічної безпеки більшості регіонів держави;

- розроблено нову методику оцінки рівня техногенного навантаження регіонів України з урахуванням щільності об'єктів критичної інфраструктури; встановлено, що на рівень геопросторового розподілу техногенного навантаження регіонів переважаючий вплив генерують магістральні залізничні шляхи, мостові комплекси та магістральні електромережі; проведено еколого-техногенне ранжирування регіонів України за рівнем техногенного навантаження.

**Практичне значення одержаних результатів.** Удосконалено методи оцінки рівня безпеки регіонів держави, що забезпечують підвищення обґрунтованості оцінок екологічного та ресурсного потенціалу регіонів України, можливість їх ранжирування за рівнем безпеки основних об'єктів захисту.

Розроблено методи оцінки загроз від індивідуального та спільного впливу активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на безпеку об'єктів критичної транспортної інфраструктури регіонів України. Визначено просторову уразливість магістральних газопроводів, залізничних шляхів, електромереж, міжнародних транспортних коридорів, що перебувають в зонах регіонального прояву інженерно-геологічних загроз і формують ризики виникнення надзвичайних ситуацій.

Розроблено програмні засоби оцінки загроз безпеці об'єктів критичної транспортної інфраструктури на регіональному рівні з використанням технологій геоінформаційних систем. Реалізовано засоби функціональної взаємодії програмних засобів з інформаційними ресурсами геоінформаційної складової, баз даних потенційно небезпечних об'єктів і критичної транспортної інфраструктури.

Розроблено графічний інтерфейс користувача, що забезпечує виконання послідовності дій оператора з оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури: вибору регіону для дослідження, вибору типу критичної транспортної інфраструктури, типу загрози, виводу результатів. Результати роботи розроблених програмних засобів надаються у вихідних формах на електронних і паперових носіях у картографічному, табличному і текстовому вигляді.

Створено бази даних електронних карт прояву актуальних загроз інженерно-геологічного походження та їх впливу на безпеку експлуатації магістральних залізничних шляхів і газопроводів в регіонах України.

Визначено комплекс індикаторів стану екологічної безпеки регіонів держави та розроблено методологію оцінки загроз і ризиків екологічній безпеці регіонів, що забезпечує їх ранжирування за інтегральним показником та прийняття обґрунтованих рішень щодо зниження ризиків екологічній безпеці регіонів держави.

Результати роботи впроваджено у Національному інституті стратегічних досліджень, Державній службі України з надзвичайних ситуацій, Державній екологічній академії післядипломної освіти Міністерства екології та природних ресурсів України.

**Особистий внесок здобувача.** Автором дисертаційної роботи визначено мету і задачі досліджень, здійснено пошук їх рішень, проведено теоретичні і практичні дослідження. Основні результати теоретичних і практичних досліджень, що представлені в дисертаційній роботі, видано в наукових працях, наведених у списку публікацій автореферату [1–47]. Зокрема автором дисертації було особисто:

- досліджено тенденції і характер змін основних природних і техногенних загроз, визначено їх вплив на стан екологічної безпеки регіонів України [1, 4, 5, 6, 30];
- вивчено характер впливу надзвичайних ситуацій різного походження на формування ризиків екологічній безпеці регіонів держави [17, 21, 27, 33];
- визначено передумови використання інформаційних технологій для аналізу загроз і ризиків екологічній безпеці [9, 10, 12, 46];
- проведено оцінку рівня безпеки основних об'єктів захисту регіонів держави в умовах прояву природних і техногенних загроз [2, 13, 14, 16, 18];
- розроблено нові методи оцінки актуальних загроз безпеці експлуатації об'єктів критичної транспортної інфраструктури за критерієм їх розташування у зонах просторово-часового прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів [23, 24, 25, 28, 38];
- розроблено і практично реалізовано програмні засоби комплексної оцінки природних і техногенних загроз і ризиків з використанням технологій геоінформаційних систем [15, 26, 39, 42, 43, 47];
- визначено динаміку змінювання ризиків від надзвичайних ситуацій природного і техногенного походження та їх вплив на екологічну безпеку регіонів України [3, 7, 19, 31, 36];
- розроблено моделі оцінки рівня техногенного навантаження та здійснено ранжирування регіонів України за його рівнем [8, 22, 29, 37];
- розроблено методологію оцінки рівня екологічної безпеки регіонів держави з використанням запропонованої системи індикаторів [20, 32, 35, 45];
- здійснено практичне відпрацювання розроблених методів і засобів оцінки загроз і ризиків екологічній безпеці регіонів України на конкретних прикладах [11, 34, 40, 41, 44].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідались і обговорювались на наукових конференціях, симпозіумах, нарадах і семінарах: Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення ефективності використання водних, теплових та енергетичних ресурсів та охорона навколишнього

середовища» (м. Київ, 2008 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Просторовий аналіз техногенних і природних ризиків в Україні» (м. Київ, 2009 р.), III Міжнародній науково-практичній конференції «Математичні моделі і методи оптимізації та інформаційно-телекомунікаційно-моніторингові технології в задачах підвищення ефективності соціо-еколого-економічних систем» (м. Київ, 2011 р.), Міжнародному форумі «Державно-приватне партнерство у сфері скорочення ризиків – основа конкурентоспроможності країни у XXI столітті» (м. Київ, 2011 р.), XI Міжнародній конференції «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» (м. Київ, 2012 р.), XI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (с. Рибаче, АР Крим, 2012 р.), 12<sup>th</sup> International HCN and Pesticides Forum (2013, Kiev, Ukraine), Науково-практичній конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки на території Калуського гірничопромислового району» ( м. Калуш, 2013 р.), 12th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (Kiev, Ukraine, 2013), Міжнародній науково-практичній конференції «Концепція захисту критичної інфраструктури: стан, проблеми та перспективи її впровадження в Україні» (м. Вишгород, 2013 р.), Другій міжнародній науково-практичній конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (м. Трускавець, 2015 р.), Науково-практичній конференції «Перспективи відновлення Сходу України на засадах збалансованого розвитку» (м. Слов'янськ, 2015 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури» (м. Київ, 2015 р.), науково-виробничих нарадах МНС України, на засіданнях вченої ради Інституту проблем національної безпеки при РНБОУ та Національного інституту стратегічних досліджень (2007 – 2016 рр.).

**Перелік публікацій за темою дисертації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 47 наукових праць, у тому числі 2 монографії, 28 статей у наукових фахових виданнях з наряду, з якого підготовлено дисертацію, з них 6 статей у виданнях України, що включено до міжнародних наукометричних баз та 3 статті у виданнях іноземних держав; 11 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій та 6 статей у інших наукових виданнях України.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 323 сторінки, з них текст дисертації без додатків – 258 сторінок, 70 рисунків і 28 таблиць, список використаних джерел з 310 назв, наданих на 33 сторінках і 2 додатків на 32 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи, завдання та методи досліджень, висвітлено наукову новизну, теоретичні та методологічні розробки і практичне значення отриманих результатів, а також наведено відомості щодо переліку місць апробації роботи, її структури та обсягу публікацій.



**Перший розділ** присвячено аналізу основних чинників формування загроз і ризиків екологічній безпеці регіонів у природному і техногенному середовищі. Проведений аналіз актуальних джерел загроз екологічній безпеці регіонів України засвідчив, що економічне зростання промислово розвинутих і техногенно навантажених регіонів супроводжується відповідним збільшенням кількості відходів і викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Показано, що комплексний вплив деструктивних процесів у навколишньому середовищі, що є складником економічного розвитку багатьох регіонів держави, у цілому зумовлює формування ризику природних і техногенних катастроф в Україні.

Виходячи з національного і міжнародного досвіду, показано, що для оцінки ризику  $R$  може використовуватися функціонал  $F$ , що пов'язує ймовірність  $P$  виникнення несприятливої події і математичне очікування збитку  $L$  від неї

$$R = F_R\{L, P\} = \sum_i [F_{R_i}(L_i, P_i)] = \int C(L)P(L)dL = \int C(P)L(P)dP, \quad (1)$$

де  $i$  - види несприятливих подій,  $C$  - вагові функції, що враховують взаємовплив ризиків. У загальному випадку для оцінки ризиків за виразом (1) на основі досліджень динамічних нелінійних небезпечних процесів, включаючи виникнення ушкоджень, руйнувань, загибелі, аварій, катастроф, проводиться розробка математичних моделей для небезпечних об'єктів, що аналізуються.

При цьому загальний збиток  $L$  і його складові  $L_i$  можуть визначатися через узагальнену суму збитків, що наносяться населенню  $N$ , господарським об'єктам  $T$  і довкіллю  $E$

$$L = F_L\{L_N, L_T, L_E\} = \sum_i [F_{L_i}(L_{N_i}, L_{T_i}, L_{E_i})]. \quad (2)$$

В сучасних умовах величини  $L$  і  $R$  від певних несприятливих подій можна оцінювати за показниками, що враховують економічні збитки та людські втрати за летальними або нелетальними випадками.

У **другому розділі** обґрунтовано застосування теорії надійності для оцінки рівнів безпеки регіонів держави, що дозволило їх розглядати у вигляді багаторівневої динамічної системи зі складними зв'язками. При цьому в якості складових елементів цієї системи обґрунтовано такі об'єкти захисту: населення, потенційно небезпечні об'єкти й довкілля.

Аналіз ризиків на регіональному рівні тісно пов'язаний з аналізом загроз, що своєю чергою визначають рівень безпеки регіонів держави. В якості теоретичної основи оцінки рівнів безпеки регіонів застосовано теорію надійності, відповідно до якої надзвичайні ситуації (НС) варто розглядати як «відмови» елементів систем, що призводять до порушення їхньої стійкості.

Безпека регіону визначається величиною ризику, що не перевищує прийнятний рівень. Нехай  $S_{\Sigma}(t)$  – функція безпеки, а сукупність характеристик аварій і катастроф, що мають рівні ймовірності виникнення, визначається за допомогою функцій ризику  $H_{\Sigma}(t)$ .

При проведенні розрахунків вважається, що НС з негативними наслідками для основних об'єктів захисту регіону розподіляються за розподілом Пуассона

$$F(N) = P(\xi \leq N) = \sum_{k=0}^N P(k) = \sum_{k=0}^N \frac{1}{k!} \lambda (\Delta t)^k \exp(-\lambda (\Delta t)), \quad (3)$$

де  $\xi$ - випадкова кількість реалізацій НС за час  $\Delta t$ ;  $P(k)$  – ймовірність  $k$  НС за час  $\Delta t$ ;  $\lambda(\Delta t)$  – параметр розподілу Пуассона, що визначається як середнє число НС протягом часу  $\Delta t$ ;  $\lambda$  – частота НС за одиничний інтервал часу;  $N$  – кількість НС, що сталися упродовж часу  $\Delta t$ .

Оцінка частоти НС  $\lambda$  здійснюється за співвідношенням

$$\lambda = N/\Delta T, \quad (4)$$

де  $N$  – кількість НС, що сталися упродовж часу  $\Delta T \gg \Delta t$ .

У такому разі

$$S_{\Sigma}(t) = \exp\left(-\sum_i^n \int_0^t \lambda_i(\tau) \rho_{ij}(\tau) d\tau\right), \quad (5)$$

де  $S_i$  – функція безпеки  $i$ -тої загрози,  $n$  – кількість загроз;  $\lambda_i$  – інтенсивність НС  $i$ -го виду;  $\rho_{ij}$  – ймовірність  $j$ -тої компоненти системи для  $i$ -го виду надзвичайної ситуації.

Розрахунок ймовірностей  $\rho_{ij}$  передбачає наявність технічних, екологічних, економічних і соціальних критеріїв безпеки, що у першому наближенні визначаються за виразом

$$\rho_{ij} = n_{ij}/n_i, \quad (6)$$

де  $n_{ij}$  – кількість НС  $i$ -го виду з ураженням  $j$ -ї компоненти,  $n_i$  – загальна кількість подій  $i$ -го типу. Параметри  $\lambda_i$  та  $\rho_{ij}$  розраховуються за допомогою методів статистичного оцінювання для кожного  $i$ -го виду.

Для перевірки гіпотези щодо зміни випадкової величини – кількості втрат  $k$  від НС для основних об'єктів захисту в заданому регіоні за розподілом Пуассона при рівні значимості  $\alpha=0,05$  розраховується значення критерію Пірсона  $\chi^2$

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^r \frac{(n_k - n'_k)^2}{n'_k} = \sum_{k=1}^r \frac{(n_k - Np_k)^2}{Np_k}, \quad (7)$$

де  $n_k$  – емпірична ймовірність НС з негативними наслідками для основних об'єктів захисту заданого регіону,  $n'_k$  – теоретична ймовірність, що визначається як добуток загального числа НС  $N$  і теоретичної ймовірності виникнення НС  $p_k$  з негативними наслідками в заданому регіоні;  $r$  – максимальна кількість випадків спостережуваних втрат  $k$  від НС.

Оцінка середньої ймовірності виникнення НС у Вінницькій області здійснюється за

$$\lambda \approx \bar{x} = \sum_{k=1}^r n_k k / N = 4,644. \quad (8)$$

При цьому теоретична ймовірність виникнення НС з негативними наслідками для основних об'єктів захисту даного регіону для умови розподілу Пуассона визначається

$$p_k = P_n(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} = \frac{4,644^k e^{-4,644}}{k!}, \quad (9)$$

де  $\lambda$  – вибіркове середнє значення, що для заданих умов дорівнює  $\lambda = 4,644$ ;  $k$  – кількість втрат від НС для основних об'єктів захисту в заданому регіоні. Результати визначення критерію Пірсона наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри розрахунку критерію Пірсона

$k$	$n_k$	$p_k$	$n'_k = Np_k$	$\frac{(n_k - n'_k)^2}{n'_k}$
0	1	0,009618	1,702473	0,289854
1	6	0,044669	7,906399	0,459673
2	18	0,103723	18,35893	0,007017
3	25	0,160565	28,42004	0,411563
4	29	0,186419	32,99614	0,483971
5	48	0,173148	30,64727	9,825258
6	21	0,134019	23,72133	0,312194
7	15	0,088913	15,73764	0,034574
8	9	0,051615	9,135834	0,00202
9	4	0,026634	4,714159	0,10819
10	1	0,012369	2,189288	0,646057
$\Sigma$	177	0,991692	175,5295	12,58037

Результати оцінки свідчать, що фактичне значення критерію  $\chi^2 = 12,580$ . При цьому критичне значення критерію Пірсона за рівня значимості 0,05 для 9 ступенів свободи (для умови розподілу Пуассона кількість ступенів свободи  $r = k - 2 = 11 - 2 = 9$ ) складає  $\chi^2_{0,05,9} = 16,918$ . Оскільки фактичне значення критерію  $\chi^2$  не перевищує критичне значення, тобто  $\chi^2 < \chi^2_{0,05,9}$ , гіпотеза щодо розподілу генеральної сукупності кількості втрат від НС для основних об'єктів захисту у Вінницькій області за законом Пуассона не суперечить дослідним даним.

Статистичні оцінки інтенсивності НС  $\lambda_i$  та ймовірності ураження  $\rho_{ij}$  для умов Вінницької області наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристика НС у Вінницькій області

Вид НС	$\lambda_i \cdot 10^{-4}$ , 1/год.	$\rho_{ij}$		
		Особи	Об'єкти	Довкілля
Аварії (катастрофи) на транспорті	1,71	0,2	0,55	0,25
Пожежі, вибухи	2,0	0,35	0,65	0,1
Метеорологічні НС	4,47	0,2	0,15	0,65
Аварії на електроенергетичних системах	1,14	0,2	0,7	0
Інфекційна захворюваність людей	1,81	0,9	0	0
Отруєння людей	2,0	0,9	0	0
Наявність у навколишньому середовищі шкідливих речовин понад ГДК	0,95	0,4	0	0,2

Аналіз даних щодо ймовірності ураження  $\rho_{ij}$  трьох основних об'єктів захисту свідчить про те, що для особи найбільшу загрозу становлять отруєння людей (значення ймовірності ураження складає 0,9), інфекційна захворюваність, а також пожежі, вибухи. Найнебезпечнішими для об'єктів господарювання є пожежі, вибухи, катастрофи на транспорті й аварії на електроенергетичних системах. Найвищу загрозу для навколишнього середовища становлять метеорологічні НС (значення ймовірності ураження – 0,65).

Функції безпеки  $S_{\Sigma}(t)$  Вінницької області, розраховані за даними табл. 1, представлено на рис. 1.

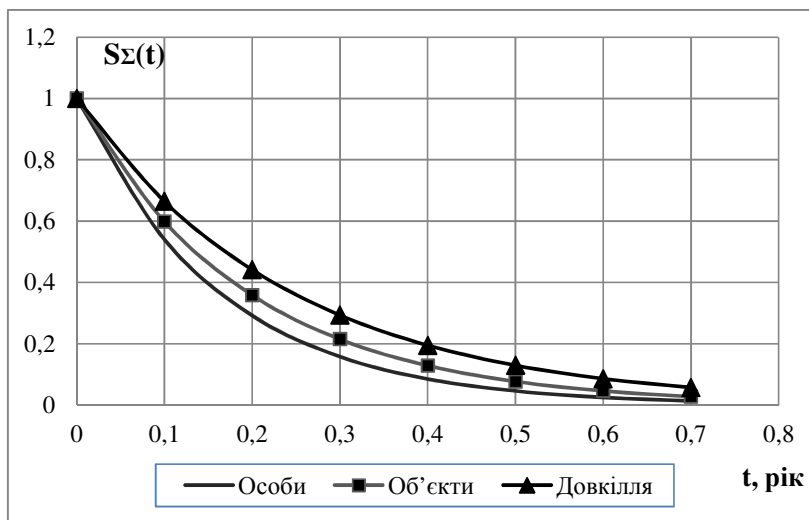


Рисунок 1 – Аналіз змін функцій безпеки складових захисту Вінницької області

Результати аналізу функцій безпеки демонструють, що рівні безпеки для особи, об'єктів і довкілля області мають порівняно близькі значення, причому прийнятні рівні безпеки (при  $S_{\Sigma}(t) \geq 0,8$ ) забезпечуються лише упродовж нетривалого часу – 0,06 року (22 доби). Варто також зазначити, що найзахищенішим з-поміж трьох об'єктів захисту є довкілля, найменш захищеним – особи.

Запропонована методологія оцінки рівнів безпеки забезпечує можливість здійснювати порівняльний аналіз стану екологічної безпеки адміністративних областей України, науково обґрунтовувати прийнятний рівень ризику для кожної з них, більш ефективно розподіляти наявні кошти для попередження негативних наслідків НС між регіонами держави.

**У третьому розділі**, враховуючи значний вплив об'єктів критичної інфраструктури (ОКТІ) на стан екологічної та національної безпеки держави, проведено комплексну оцінку актуальних загроз інженерно-геологічного походження для безпеки експлуатації магістральних електромереж, газопроводів, залізничних шляхів, міжнародних транспортних коридорів, мостів з використанням технологій геоінформаційних систем.

При цьому було враховано, що активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів (НЕГП) на території певного регіону в зоні впливу ОКТІ призводить до формування ризику його пошкодження або руйнування, що визначається

$$R_d(G) = P_d(G) \cdot V_f(G) \cdot V_d(G) \cdot D_d = P_d(G) \cdot V_f(G) \cdot n_d/n \cdot D_d, \quad (10)$$

де  $P_d(G)$  - ймовірність активізації відповідного типу НЕГП ( $G$ ), серед яких розглядаються підтоплення, карст, зсуви;  $V_f(G)$  – уразливість території заданого регіону відповідним НЕГП;  $V_d(G)$  – уразливість відповідного ОКТІ при активізації загрози  $G$  на території певного регіону;  $n$  – загальна довжина або вартість ОКТІ;  $n_d$  – частка довжини чи вартість пошкоджених або зруйнованих ОКТІ на території заданого регіону;  $D_d$  - загальна вартість пошкоджених ОКТІ на території регіону.

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій і Державної служби геології та надр України з допомогою технологій геоінформаційних систем (ГІС) здійснено просторову оцінку уразливості магістральних газопроводів на потенційно небезпечних територіях до впливу небезпечних екзогенних геологічних процесів (рис. 2).

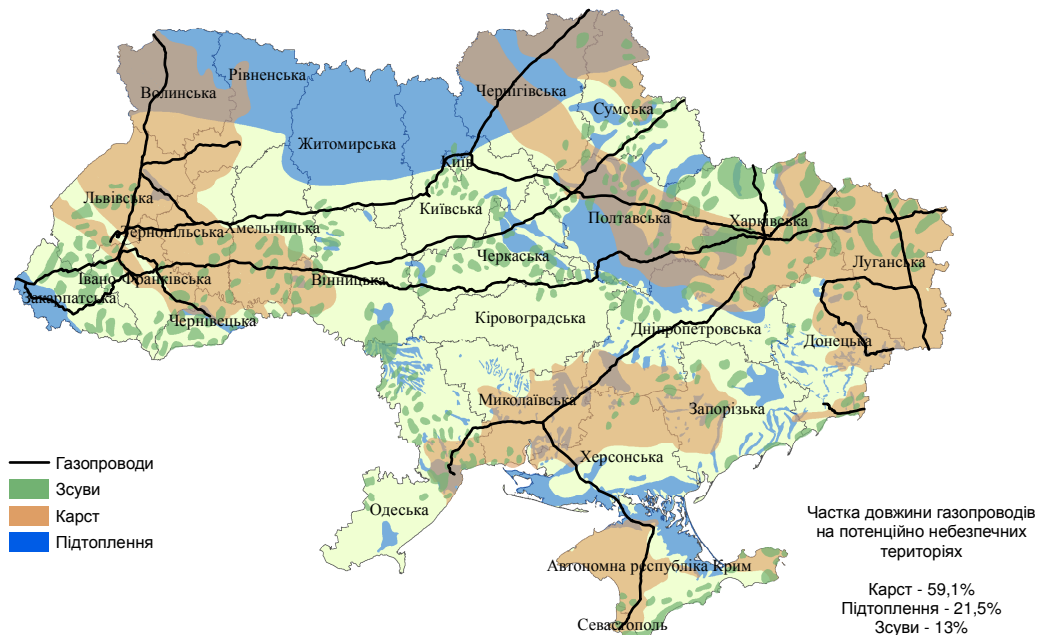


Рисунок 2 – Уразливість магістральних газопроводів від геологічних загроз

Дана оцінка проводилася у спосіб визначення середнього значення уразливості  $\bar{V}_d$  газопроводів при активізації підтоплення  $V_d(G_1)$ , карсту  $V_d(G_2)$ , зсувів  $V_d(G_3)$  при 6 вимірюваннях. При цьому похибка середнього значення визначалася

$$\bar{V}_d = t_{\gamma, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} = t_{\gamma, n-1} \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{di} - \bar{V}_d)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}}, \quad (11)$$

де  $t_{\gamma, n-1}$  - коефіцієнт Стюдента, що за довірчої ймовірності  $\gamma = 0,95$  та кількості ступенів свободи  $f = n - 1 = 6 - 1 = 5$  становить  $t_{\gamma, n-1} = 2,8$ ;  $S$  – середньоквадратична похибка;  $n$  – кількість вимірювань. При визначенні уразливості магістральних газопроводів на державному рівні за виразом (11) отримані наступні значення

похибок:  $\Delta \bar{V}_d(G_1)=1,6$ ;  $\Delta \bar{V}_d(G_2)=4,3$ ;  $\Delta \bar{V}_d(G_3)=1,1$ .

Результати проведеної оцінки уразливості ОКТІ на державному рівні свідчать, що на територіях імовірного прояву карсту розміщено та експлуатується до  $V_d(G_2)=59,1\pm 4,3$  % газопроводів, на територіях імовірного прояву підтоплення – до  $V_d(G_1)=21,5\pm 1,6$  %, на територіях імовірного прояву зсувів – до  $V_d(G_3)=13\pm 1,1$  % магістральних газопроводів. Отримані дані свідчать, що найбільша загроза від підтоплення для магістральних газопроводів за критерієм частки їх довжини існує на території Чернігівської, Чернівецької, Волинської, Полтавської областей, оскільки понад 50 % довжини газопроводів розташовані на територіях імовірного прояву підтоплення.

Аналіз карстових загроз для магістральних газопроводів на рівні регіонів України свідчить, що в 14 з них понад 60 % довжини газопроводів перебувають на територіях можливого прояву карсту. Найбільша небезпека від карстових загроз для магістральних газопроводів існує насамперед на території Чернівецької, Волинської, Миколаївської, Луганської, Рівненської, Тернопільської, Донецької, Харківської, Львівської областей, у яких понад 80 % довжини газопроводів знаходиться на потенційно небезпечних територіях (рис. 3).

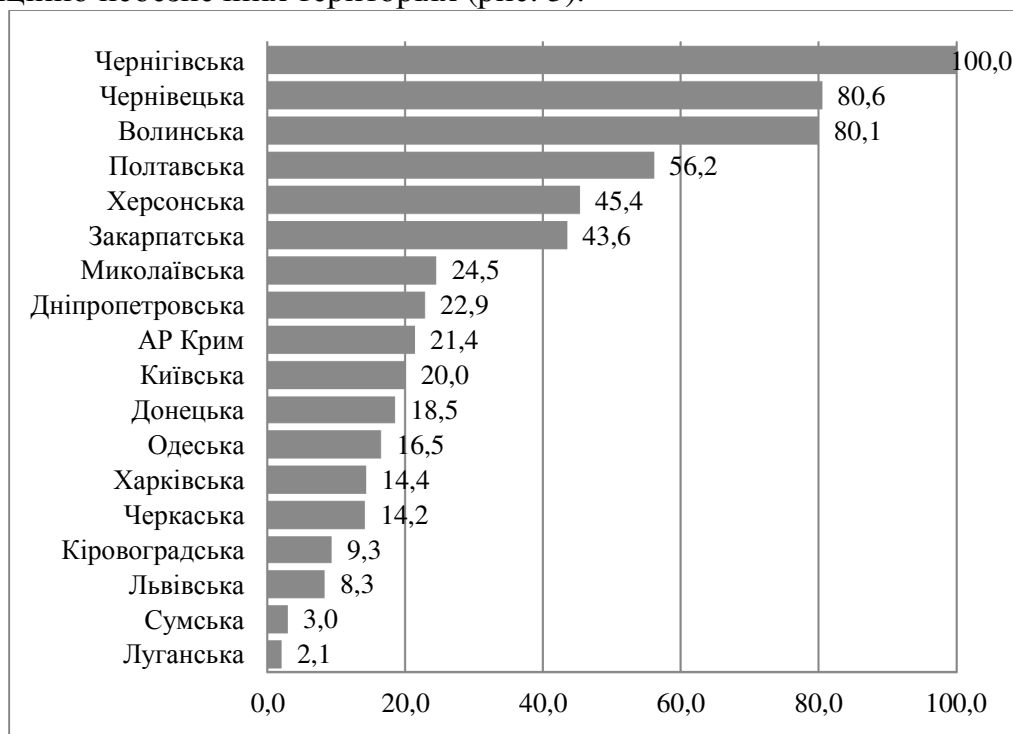


Рисунок 3 – Ранжирування регіонів України за рівнем уразливості газопроводів, що перебувають в умовах загроз від підтоплення (у %)

В якості фізичної основи критерію безпеки експлуатації ОКТІ прийнято їх ділянки у зонах стійкого просторово-часового прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів, а кількісне значення цього критерію визначено як відсоток довжини певного ОКТІ в межах зон прояву підтоплення, карсту, просідання, зсувів. Геоінформаційний аналіз даних дозволяє визначити найбільш небезпечні регіони стосовно уразливості газопроводів, що перебувають під загрозою прояву

підтоплення і карсту, а також здійснити ранжирування регіонів України за цими критеріями. Результати аналізу свідчать, що найбільша загроза від підтоплення для магістральних газопроводів існує на території Чернігівської, Чернівецької, Волинської, Полтавської областей. Крім того, газопроводи на території Чернігівської обл. майже по всій довжині перебувають у зонах можливої активізації підтоплення.

Доцільно відмітити наявність зв'язку між розвитком підтоплення земель та активізації внаслідок цього НЕГП. В умовах України регіональне підтоплення останніми роками розвивається у сталому просторово-часовому режимі з подвоєнням площ підтоплення протягом 20–25 років. При цьому активізація в його зонах більшості НЕГП має імовірно-ритмічний характер із зростанням кількості проявів переважно у роки з підвищеним рівнем опадів (3–4, 7–13, 26–34 років). Враховуючи те, що найбільш комплексним впливом підтоплення відрізняється в межах міст і селищ України, загальна площа яких складає близько 3 % площі її території та зосередженням в них до 70 % населення, суттєво підвищується негативний вплив підтоплення на зниження рівня безпеки основних об'єктів захисту регіонів держави.

За визначеним критерієм проведено оцінку впливу небезпечних геологічних процесів на безпеку функціонування міжнародних транспортних коридорів (МТК), що проходять через територію України (рис. 4).

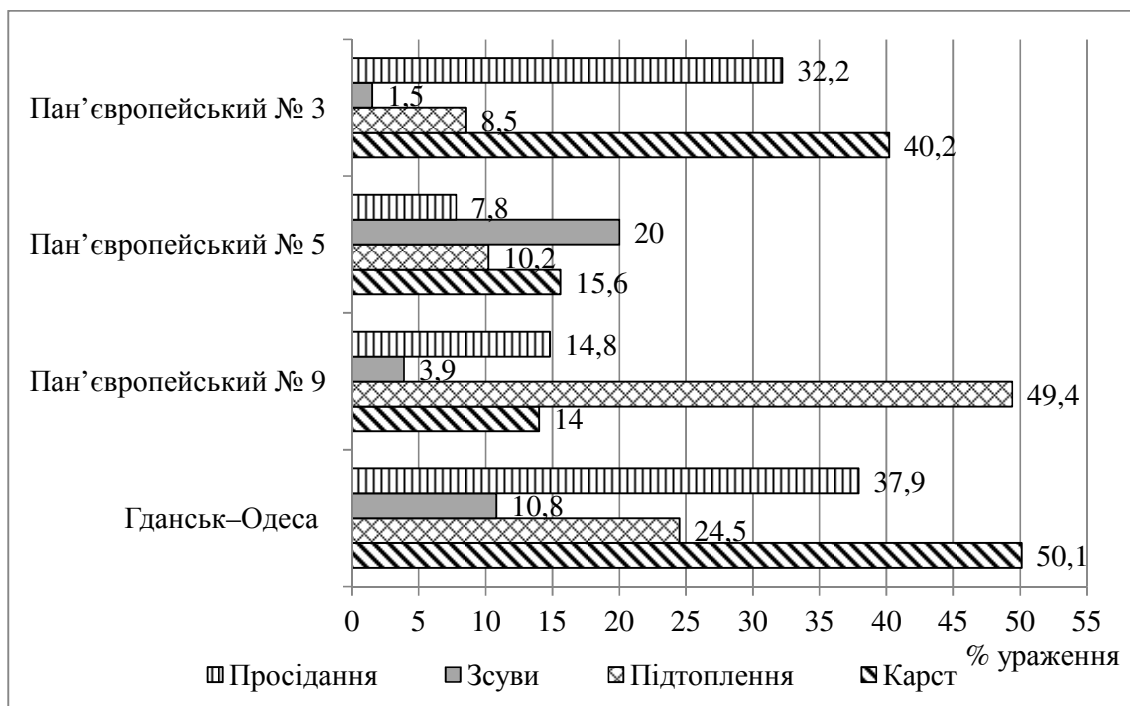


Рисунок 4 – Загрози від екзогенних геологічних процесів для безпеки МТК

Проведений аналіз свідчить, що найбільш несприятливі умови для функціонування МТК склалися для Пан'європейського МТК № 9 та МТК Гданськ–Одеса, оскільки понад 24 % їхньої довжини перебувають під загрозою підтоплення. Зазначимо, що існує закономірний зв'язок між просторово-територіальним

розвитком підтоплення земель та активізацією внаслідок цього інших НЕГП локально-об'єктового походження. Це пов'язано з тим, що активізація НЕГП у зонах підтоплення має імовірно ритмічний характер із підвищенням кількості проявів у роки із збільшенням рівня опадів. В той же час найбільш комплексним впливом підтоплення відрізняється саме у містах і селищах України, де зосереджено близько 70 % населення і проходять маршрути більшості МТК.

Отримані результати свідчать про відносно меншу загрозу від зсувів для більшості МТК, оскільки частка їхньої довжини, що перебуває під впливом територій зсувоутворення, не перевищує 20 % для Пан'європейського МТК № 5. Найбільші загрози від прояву просідання лесових ґрунтів для безпеки МТК існують насамперед для МТК Гданськ–Одеса та Пан'європейського МТК № 3, оскільки понад 30 % їхньої довжини перебувають на потенційно небезпечних територіях.

З метою уніфікації оцінок уразливості МТК різними типами НЕГП (підтоплення, карст, просідання, зсуви) в роботі проведено визначення відносних рівнів уразливості МТК за співвідношенням

$$b_{ij} = \frac{B_{ij} - B_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}}, \quad (12)$$

де  $B_{\min}$  та  $B_{\max}$  – відповідно мінімальне та максимальне значення показників уразливості МТК відповідним НЕГП.

При цьому узагальнений показник уразливості МТК різними типами НЕГП визначався за співвідношенням

$$Z_j = \sum_{i=1}^4 b_{ij} = \sum_{i=1}^4 \frac{B_{ij} - B_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}}. \quad (13)$$

Таблиця 3 – Результати оцінки узагальненого рівня уразливості МТК

МТК	Карст $b_{1j}$	Підтоплення $b_{2j}$	Зсуви $b_{3j}$	Просідання $b_{4j}$	$Z_j$
Гданськ–Одеса	1	0,4733	0,1914	0,749	2,4136
Пан'європейський № 9	0,2572	0,9856	0,0494	0,2737	1,5658
Пан'європейський № 5	0,2901	0,179	0,3807	0,1296	0,9794
Пан'європейський № 3	0,7963	0,144	0	0,6317	1,572

Результати оцінки демонструють, що найбільш уразливим до впливу чотирьох типів НЕГП є МТК Гданськ – Одеса, що практично по всій своїй довжині перебуває на територіях активізації карстових процесів. Крім того, цей МТК проходить регіонами України, де відбувається розвиток процесів підтоплення, що мають стійку тенденцію до активізації через вплив факторів глобальних змін клімату.

Пан'європейські МТК № 3 і № 9 мають близькі значення показника уразливості, хоча останній майже по всій довжині проходить по територіях, що перебувають в умовах активізації процесів підтоплення. В той же час Пан'європейський МТК № 3 розташований на територіях розвитку карстових і просадкових процесів, що у випадку активізації можуть істотно пошкодити відповідальні конструктивні елементи МТК.



Найбільш безпечним до впливу НЕГП є Пан'європейський № 5, що характеризується найнижчим значенням показника уразливості. Разом з тим, деякі його частини все ж відчуватимуть вплив процесів підтоплення, карсту, просідання і зсувів.

Отримані результати оцінки свідчать, що концентрація різних небезпечних екзогенних геологічних процесів в більшості регіонів держави відчутно збільшує ризик виникнення НС щодо відповідальних конструктивних елементів об'єктів критичної транспортної інфраструктури. Зважаючи на площинний характер розвитку НЕГП в умовах постійних змін геологічного середовища, особливо уразливими стають просторово-розподілені об'єкти, зокрема магістральні залізничні колії, автошляхи, лінії електропередач, розміщені в зонах прояву підтоплення, карсту й зсувів.

**Четвертий розділ** присвячений розробці програмних засобів оцінки загроз безпеці об'єктам критичної транспортної інфраструктури.

Враховуючи позитивний досвід використання ГІС-технологій у завданнях підтримки прийняття управлінських рішень в умовах НС різного походження, програмну реалізацію оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури України виконано в середовищі ГІС ArcGIS 9, що широко застосовувалася в Міністерстві надзвичайних ситуацій України під час створення Урядової інформаційно-аналітичної системи з надзвичайних ситуацій (УІАС НС). Програмно-технічну реалізацію оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури України виконано в рамках робіт із удосконалення інформаційно-аналітичної підсистеми оцінки та прогнозування ризиків надзвичайних ситуацій на територіях підвищеної природно-техногенної небезпеки (ІАПОР), що проводилися у 2008 р.

Об'єктом автоматизації у зазначеній системі є процес оцінки загроз безпеці експлуатації ОКТІ в умовах можливих НС за виконання функцій:

- інформаційний зв'язок із складовими структурними елементами, що постачають вихідні дані для оцінки загроз безпеці ОКТІ, включаючи дані електронного картографічного фонду, базу даних об'єктів критичної транспортної інфраструктури;
- оцінка актуальних загроз безпеці експлуатації магістральних газопроводів і залізничних шляхів з урахуванням геопросторових параметрів території регіонів України за допомогою прикладних програмних комплексів і засобів просторового ГІС-аналізу;
- надання результуючої інформації для звітів щодо природно-техногенних загроз безпеці ОКТІ, проведення порівняльних оцінок загроз ОКТІ на регіональному рівні.

В роботі проведено обґрунтування необхідних компонентів створення програмних засобів для здійснення оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури (ПЗОЗБ) на регіональному рівні в автоматизованому режимі у середовищі з використанням технологій ГІС. На цій основі розроблено засоби функціональної взаємодії ПЗОЗБ з інформаційними ресурсами, що включають геоінформаційну складову, бази даних (БД) реєстру ПНО та ОКТІ (рис. 5).

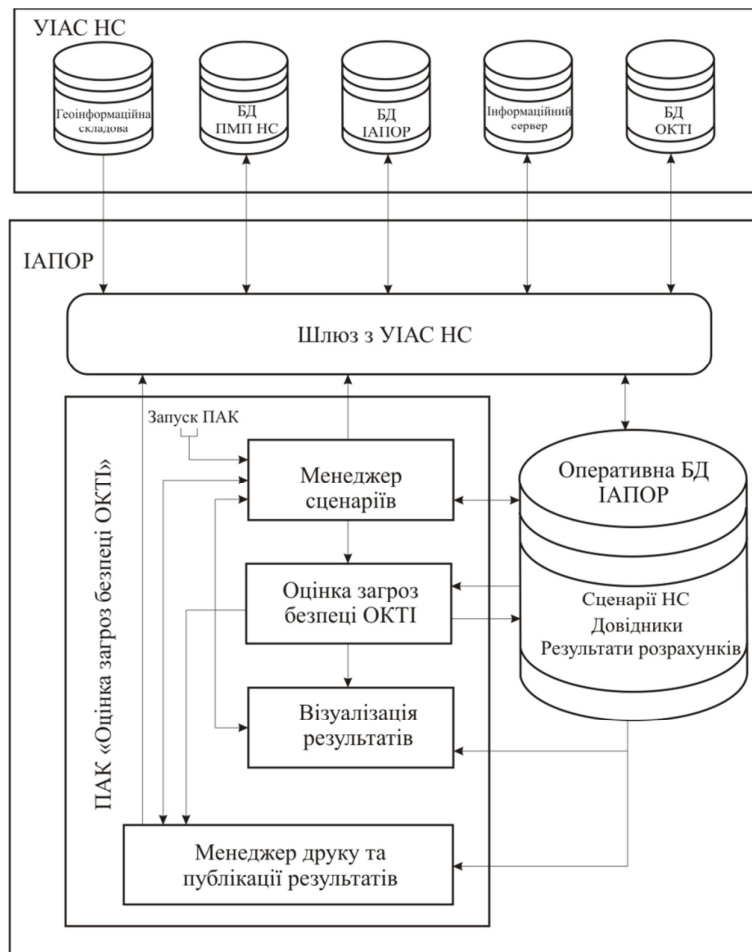


Рисунок 5 – Схема функціональної взаємодії програмних засобів

БД ОКТІ містить статистичну інформацію відносно характеристик магістральних залізничних шляхів, газопроводів та автошляхів на території регіонів України. Ця інформація використовується при проведенні статистичних оцінок закономірностей розвитку НС різного походження з урахуванням впливу НЕГП на регіональному рівні. Геоінформаційна складова включає електронну карту території України масштабу 1:200 000 з необхідною кількістю шарів, що є топографічною основою для просторової прив'язки НС і супутньої інформації, оцінки і відображення геопросторових параметрів зон розвитку НС і підготовки управлінських рішень щодо відпрацювання адекватних запобіжних заходів. Зазначена карта має стати інформаційною основою для просторової оцінки та побудови карт ризиків на території України.

База даних ПМП НС, що створена і розвивається у рамках комплексної підсистеми моделювання і прогнозування (ПМП) НС, має надавати оперативну інформаційну підтримку процесам прогнозування оцінки наслідків НС різного походження, можливих на території України. Використання цієї БД та інформаційних технологій ПМП НС надає можливість суттєво підвищити оперативність і обґрунтованість оцінки загроз безпеці об'єктам транспортної інфраструктури в регіонах держави.

Інформаційний сервер використовується для публікації результатів комплексної оцінки загроз безпеці відповідних ОКТІ на регіональному рівні. БД "ІАПОР" забезпечує прогнозні та аналітичні розрахунки інформацією про стан та інші характеристики ОКТІ, що використовуються при визначенні загроз НС при експлуатації в умовах НЕГП.

Робота ПАК відбувається з використанням інформації БД ІАПОР, БД загальнодержавних довідників, БД документообігу та інших інформаційних ресурсів, що входять до складу інформаційного середовища УІАС.

Структурний склад прогнозно-аналітичного комплексу включає відповідні функціональні блоки (ФБ), що включають ФБ "Менеджер сценаріїв", ФБ "Оцінка загроз безпеці КТІ", ФБ "Візуалізація результатів", ФБ "Менеджер друку та

публікації результатів”.

Для оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури об’єктах з урахуванням негативного впливу НЕГП на регіональному рівні з використанням ГІС розроблено ПЗОЗБ. ПЗОЗБ створено у вигляді проблемно-орієнтованого проекту ArcMap з використанням мови програмування Visual Basic для стандартів ArcGIS 9. ПЗОЗБ функціонує в інструментальній взаємодії і використовує функціональні зв’язки з відповідними інформаційними ресурсами.

Програмна реалізація оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури на прикладі магістральних газопроводів виконана у вигляді зручної форми, що викликається з панелі інструментів ArcMap. Програмна форма забезпечує вибір адміністративної області, по території якої проходить мережа газопроводів, а також вибір екзогенного геологічного процесу, що може негативно впливати на безпеку експлуатації відповідної ділянки газопроводу. В результаті вибору відповідної області відбувається масштабування електронної карти території України на територію області та її виділення у вікні програми (рис. 6).

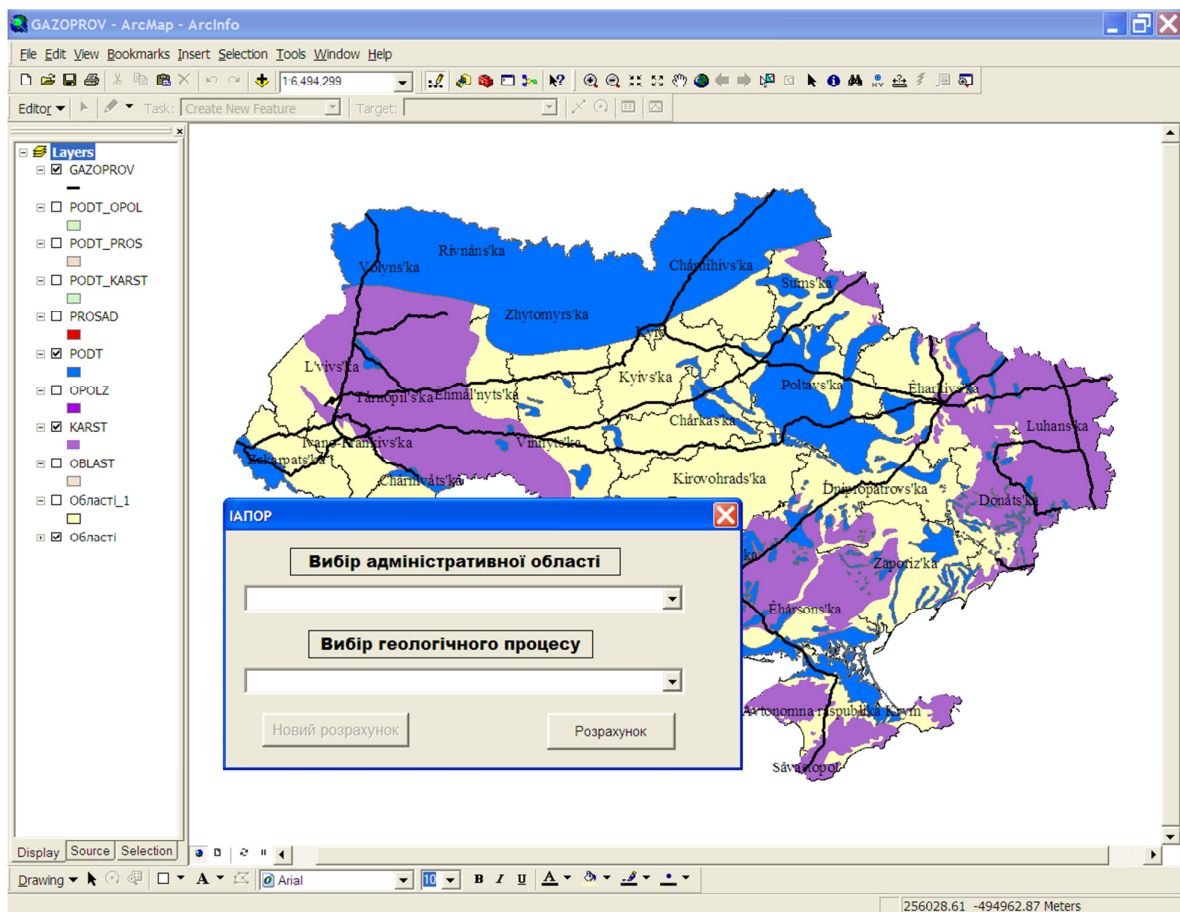


Рисунок 6 – Інтерфейс програми для оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури

Програмну форму можна переміщувати по екрану для зручності сприйняття графічної інформації. Вікно вибору екзогенного геологічного процесу передбачає вибір одного з них для проведення оцінки. У програмній формі реалізовано

можливість вибору карсту, зсувів, підтоплення, просідання лесових ґрунтів та їх спільного впливу для оцінки їх впливу на безпеку функціонування відповідного ОКПІ.

Результати роботи ПЗОЗБ надаються у вихідних формах на електронних і паперових носіях у картографічному, табличному і текстовому вигляді. За результатами оцінки створено базу даних електронних карт актуальних загроз геологічного походження безпеці експлуатації магістральних залізних шляхів і газопроводів в регіонах України.

**П'ятий розділ** присвячений науковому обґрунтуванню оцінки ризиків екологічній безпеці регіонів держави.

В даній роботі оцінка ризику екологічній безпеці регіонів України базується на визначенні ймовірності втрат і збитків від природних і техногенних надзвичайних ситуацій.

Серед основних видів збитків від НС розглядаються негативні наслідки для основних об'єктів захисту регіону: населення, господарських об'єктів і довкілля. Виходячи з цього, загальний ризик  $R_z$  для населення, господарських об'єктів і довкілля заданого регіону визначається

$$R_z = R_N + R_T + R_E, \quad (14)$$

де  $R_z$  – загальний ризик збитків від НС різного походження для заданого регіону;  $R_N$  – ризик від втрати життя або здоров'я населення регіону від НС;  $R_T$  – ризик від втрати та ушкодження господарських об'єктів регіону внаслідок НС;  $R_E$  – ризик від втрати або ушкодження об'єктів довкілля регіону від НС.

Ризик від втрати життя або здоров'я населення при  $n$  НС протягом року визначається

$$R_N = \sum_{i=1}^n P_{Ni} (V_{N1i} \cdot L_{N1i} \cdot N_{N1i} + V_{N2i} \cdot L_{N2i} \cdot N_{N2i}) = \sum_{i=1}^n P_{Ni} \left( \frac{N_{N1i}}{N_{Ni}} L_{N1i} \cdot N_{N1i} + \frac{N_{N2i}}{N_{Ni}} L_{N2i} \cdot N_{N2i} \right), \quad (15)$$

де  $P_{Ni}$  – ймовірність реалізації  $i$  – ї НС із втратою життя і здоров'я населення заданого регіону;  $V_{N1i}$  – уразливість населення до загибелі від  $i$  – ї НС;  $V_{N2i}$  – уразливість населення до втрати здоров'я від  $i$  – ї НС;  $N_{N1i}$  – кількість загиблих в результаті  $i$  – ї НС;  $N_{N2i}$  – кількість постраждалих в результаті при  $i$  – ї НС;  $N_{Ni}$  – чисельність населення регіону, для якого оцінюється ризик;  $L_{N1i}$  – збитки від загибелі людей;  $L_{N2i}$  – збитки від ураження людей в результаті  $i$  – ї НС.

Ризик від втрати та ушкодження господарських об'єктів при  $n$  НС протягом року визначається

$$R_T = \sum_{i=1}^n P_{Ti} (V_{T1i} \cdot L_{T1i} \cdot N_{T1i} + V_{T2i} \cdot L_{T2i} \cdot N_{T2i}) = \sum_{i=1}^n P_{Ti} \left( \frac{N_{T1i}}{N_{Ti}} \cdot L_{T1i} \cdot N_{T1i} + \frac{N_{T2i}}{N_{Ti}} \cdot L_{T2i} \cdot N_{T2i} \right), \quad (16)$$

де  $P_{Ti}$  – ймовірність реалізації  $i$  – ї НС із збитками для господарських об'єктів заданого регіону;  $V_{T1i}$  – уразливість господарських об'єктів до руйнування від  $i$  – ї НС;  $V_{T2i}$  – уразливість господарських об'єктів до ушкодження від  $i$  – ї НС;  $N_{T1i}$  – кількість зруйнованих об'єктів при  $i$  – й НС;  $N_{T2i}$  – кількість ушкоджених об'єктів від  $i$  – ї НС;  $N_{Ti}$  – загальна кількість ПНО в даному регіоні;  $L_{T1i}$  – збитки від руйнування ПНО;  $L_{T2i}$  – збитки від ушкодження ПНО в результаті  $i$  – ї НС.

Ризик від втрати або ушкодження об'єктів довкілля визначається

$$R_E = \sum_{i=1}^n P_{Ei} (V_{E1i} \cdot L_{E1i} \cdot N_{E1i} + V_{E2i} \cdot L_{E2i} \cdot N_{E2i}) = \sum_{i=1}^n P_{Ei} \left( \frac{N_{E1i}}{N_{Ei}} \cdot L_{E1i} \cdot N_{E1i} + \frac{N_{E2i}}{N_{Ei}} \cdot L_{E2i} \cdot N_{E2i} \right), \quad (17)$$

де  $P_{Ei}$  – ймовірність реалізації  $i$  – ї НС із збитками для довкілля даного регіону;  $V_{E1i}$  – уразливість об'єктів довкілля до руйнування від  $i$  – ї НС;  $V_{E2i}$  – уразливість об'єктів довкілля до ушкодження від  $i$  – ї НС;  $N_{E1i}$  – кількість втрачених об'єктів довкілля при  $i$  – й НС;  $N_{E2i}$  – кількість ушкоджених об'єктів довкілля в результаті  $i$  – ї НС;  $N_{Ei}$  – загальна кількість об'єктів довкілля в даному регіоні;  $L_{E1i}$  – збитки від втрати об'єктів довкілля регіону;  $L_{E2i}$  – збитки від ушкодження об'єктів довкілля в результаті  $i$  – ї НС.

Ймовірність втрат від різних типів НС на території заданого регіону визначається

$$P_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^n N_i + \sum_{i=1}^n M_i}, \quad (18)$$

де  $P_i$  – статистична ймовірність збитків  $i$ -го типу НС в заданому регіоні;  $N_i$  – кількість збиткових випадків, що сталися у результаті  $i$ -го типу НС в даному регіоні;  $M_i$  – кількість випадків без збитків при реалізації  $i$ -го типу НС в регіоні.

Ризик екологічній безпеці регіонів держави визначається за виразом 5.1 і відображає ймовірність реалізації природних і техногенних загроз із збитками для об'єктів захисту регіонів, що включають населення, ПНО та компоненти довкілля. При цьому для розрахунку загального значення ризику  $R_Z$  на регіональному рівні проводилося нормування  $R_E, R_T, R_N$ .

З урахуванням цього в роботі ризик екологічної безпеки відповідного регіону визнається за співвідношенням

$$R_{Zj} = \sum_{k=1}^n R_{kj} \beta_k, \quad (19)$$

де  $R_{kj}$  –  $k$ -й показник ризику  $j$ -го регіону ( $j=1, \dots, 25$ ),  $\beta_k$  – ваговий коефіцієнт, що визначається шляхом експертної оцінки залежно від ваги впливу об'єкта захисту на загальний рівень екологічної безпеки регіону враховуючи залежність  $\sum_{k=1}^n \beta_k = 1$ .

Враховуючи характер зміни функцій безпеки для об'єктів захисту Вінницької області (рис. 1), за експертною оцінкою визначено такі значення вагових коефіцієнтів:  $\beta_1=0,4$  (населення);  $\beta_2=0,35$  (об'єкти);  $\beta_3=0,25$  (довкілля).

В такому випадку нормоване значення показника  $R_{kj}$  визначатиметься за співвідношенням

$$R_{kj} = \frac{R_j}{R_{jmax}}, \quad (20)$$

де  $R_{jmax}$  – максимальне значення відповідного типу ризику у регіонах, що порівнюються.

Розраховуючи аналогічним чином інші нормовані значення ризиків

відповідного регіону держави  $R_{kj}$ , отримано узагальнені результати оцінки, що відображають порівняльну характеристику екологічної безпеки регіонів України за видами і рівнями ризиків для об'єктів захисту регіонів та загального значення ризику екологічній безпеці. Треба відмітити, що при розрахунку інтегрального показника екологічної безпеки методом експертної оцінки було визначено відповідні вагові коефіцієнти  $\beta_k$  для кожного об'єкта захисту регіону.

За результатами оцінки загального значення ризику екологічної безпеки проведено групування та ранжирування регіонів України (рис. 7), що дає змогу класифікувати їх відносно рівня ризику.

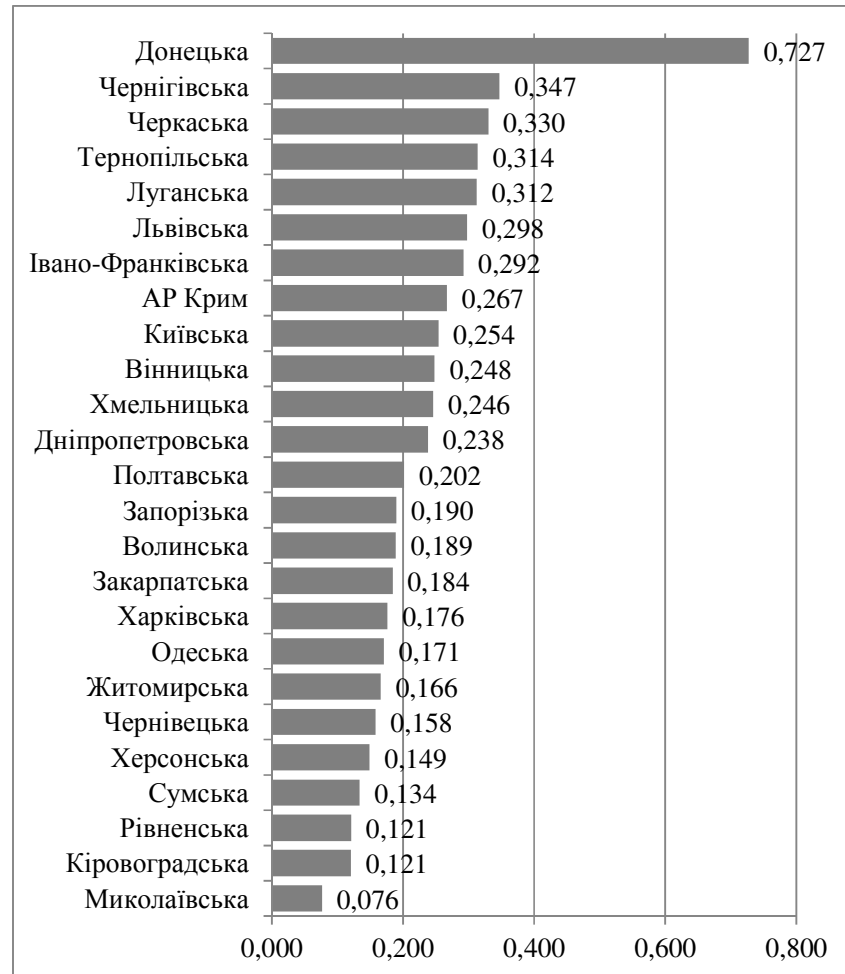


Рисунок 7 – Ранжирування регіонів України за рівнем ризику екологічній безпеці регіонів України

Для проведення групування регіонів за рівнями загального ризику екологічній безпеці кількість груп  $n$  визначалася за формулою Стерджесса

$$n = 1 + 3,322 \lg N, \quad (21)$$

де  $N$  – кількість одиниць сукупності (регіонів держави).

Розраховуючи за даною формулою при  $N = 25$ , тобто  $n = 1 + 3,322 \lg N = 1 + 3,322 \lg 25 = 5,64$ , отримано 6 груп розподілу рівня загального ризику екологічній безпеці

регіонів.

При цьому розмір інтервалу групування визначався за виразом

$$i = \frac{(R_{j\max} - R_{j\min})}{n} = \frac{0,347 - 0,076}{5} = 0,054, \quad (22)$$

де  $i$  – величина інтервалу групування;  $R_{j\max}$  – максимальне значення загального ризику екологічній безпеці;  $R_{j\min}$  – мінімальне значення загального ризику;  $n$  – кількість груп, що визначалася за формулою (21). Беручи до уваги істотне перевищення рівня ризику для Донецької області, його значення було виключено при проведенні визначення інтервалу групування.

Результати оцінки демонструють, що найнижчий рівень загального ризику екологічній безпеці мають Миколаївська, Кіровоградська та Рівненська області (табл. 4). Сумська, Херсонська, Чернівецька, Житомирська, Одеська, Харківська, Закарпатська характеризуються помірним рівнем ризику екологічній безпеці.

Таблиця 4 – Групування регіонів України за рівнем ризику екологічній безпеці

Діапазон зміни $R_{Zj}$	Рівень загального ризiku	Регіони України
0,076÷0,130	Незначний	Миколаївська, Кіровоградська, Рівненська
0,131÷0,184	Помірний	Сумська, Херсонська, Чернівецька, Житомирська, Одеська, Харківська, Закарпатська
0,185÷0,238	Середній	Волинська, Запорізька, Полтавська, Дніпропетровська
0,239÷0,292	Підвищений	Хмельницька, Вінницька, Київська, АР Крим, Івано-Франківська
0,293÷0,347	Високий	Чернігівська, Черкаська, Тернопільська, Луганська, Львівська
0,348÷0,729	Критичний	Донецька

Середній рівень ризику спостерігається у Волинській, Запорізькій, Полтавській, Дніпропетровській областях, де функціонують підприємства металургійної, хімічної промисловості.

Хмельницька, Вінницька, Київська, АР Крим, Івано-Франківська області відносяться до регіонів підвищеного ризику екологічній безпеці, беручи до уваги зростання втрат від НС різного походження, що відбуваються на їх території.

Чернігівська, Черкаська, Тернопільська, Луганська, Львівська області характеризуються високим рівнем ризику екологічній безпеці, враховуючи як наявність значної кількості ПНО на їх території, так і вплив факторів глобальних змін клімату, що в цілому призводить до збільшення від НС різного походження.

Донецька область має критичний рівень ризику екологічній безпеці, що пояснюється значною концентрацією ПНО на її території, значною щільністю населення в промислово-міських агломераціях, а також високий рівень забруднення основних компонентів довкілля. В умовах військового конфлікту на Сході України

значно зростає ризик руйнування численних об'єктів критичної інфраструктури, систем життєзабезпечення в результаті потрапляння бойових снарядів, що призводить до масштабних негативних наслідків для населення і довкілля, залпових викидів і скидів небезпечних речовин.

**Шостий розділ** присвячений науковому обґрунтуванню методології оцінки рівня екологічної безпеки регіонів. В роботі враховувалося, що сучасні техногенні порушення екологічних параметрів життєзабезпечуючих компонентів довкілля (поверхнева і підземна гідросфера, верхня зона надр, прибережно-морські території та ін.) в багатьох регіонах держави набули незворотного характеру і досягли рівня дестабілізуючого впливу на національну безпеку. В цілому, це значно знижує рівень безпеки основних об'єктів захисту регіонів, призводить до значних економічних втрат (5-10 млрд грн/рік) і людських жертв, а також формує додаткові ризики під час соціальних і військових конфліктів у вигляді ланцюгових (послідовних за розвитком) і каскадних (територіальних) НС. В той же час більшість ПНО генерує комплексний вплив і напружено-деформований стан верхньої зони порід із активізацією НЕГП, що суттєво знижує стійкість їх відповідальних конструктивних елементів.

Враховуючи нерівномірний розподіл більшості об'єктів критичної інфраструктури регіонами держави, виконано оцінку питомої щільності їх характеристик  $M_i$  (табл. 5), що визначалися

$$M_i = \frac{N_i}{S_i} \equiv \frac{L_i}{S_i}, \quad (23)$$

де  $N_i$  – кількість ОКТИ в заданому регіоні;  $L_i$  – довжини відповідного ОКТИ на території певного регіону;  $S_i$  – площа заданого регіону.

Таблиця 5 – Результати оцінки параметрів ОКТИ в регіонах України

Назва адміністративної одиниці	Питома щільність залізниць $M_1$ , км/тис.км <sup>2</sup>	Питома щільність мостів $M_2$ , шт./тис.км <sup>2</sup>	Питома щільність ПНО $M_3$ , шт./тис.км <sup>2</sup>	Питома щільність МЕМ $M_4$ , км/тис.км <sup>2</sup>	Щільність населення $M_5$ , чол./км <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
АР Крим	22,00	11,04	33,30	63,79	72,78
Вінницька	53,10	8,51	26,31	30,89	62,96
Волинська	30,12	14,85	14,90	27,78	51,31
Дніпропетровська	52,72	12,38	64,42	56,16	106,13
Донецька	74,94	12,38	109,74	57,08	168,42
Житомирська	37,75	14,68	18,16	27,99	42,98
Закарпатська	57,48	27,03	58,91	48,18	97,26
Запорізька	34,26	14,45	38,97	37,19	66,56
Івано-Франківська	53,14	26,62	38,49	38,29	99,32
Київська	28,31	11,35	23,29	36,89	59,55
Кіровоградська	37,81	8,98	20,45	50,70	41,34
Луганська	47,87	12,06	41,46	37,83	86,50
Львівська	57,17	17,02	62,20	46,72	116,92
Миколаївська	31,89	6,45	29,31	30,40	48,33
Одеська	30,55	9,55	20,36	41,80	71,77



## Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6
Полтавська	28,30	11,88	49,97	26,77	52,03
Рівненська	33,23	17,01	26,67	28,51	57,30
Сумська	36,90	12,35	22,14	30,07	49,20
Тернопільська	38,72	13,26	38,41	42,22	78,86
Харківська	44,74	12,26	53,95	44,10	88,14
Херсонська	16,20	6,37	18,21	40,17	38,34
Хмельницька	37,61	12,33	36,63	46,06	64,72
Черкаська	36,89	9,71	24,31	28,07	61,93
Чернівецька	51,90	26,80	43,83	41,80	111,63
Чернігівська	28,84	11,25	23,42	36,28	34,75

З метою уніфікації оцінок питомої щільності різноманітних за факторами впливу ПНО пропонується визначити коефіцієнти техногенного навантаження регіонів України, що характеризуватимуть відносні рівні питомої щільності характеристик об'єктів критичної інфраструктури

$$m_i = \frac{M_i - M_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}}, \quad (24)$$

де  $M_{\min}$  та  $M_{\max}$  – відповідно мінімальне та максимальне значення показників питомої щільності ОКТИ.

Сумарний показник рівня техногенного навантаження регіонів України  $\gamma$  визначатиметься

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{M_i - M_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}}, \quad (25)$$

За результатами оцінки проведено ранжирування регіонів України за рівнем техногенного навантаження (рис. 8).

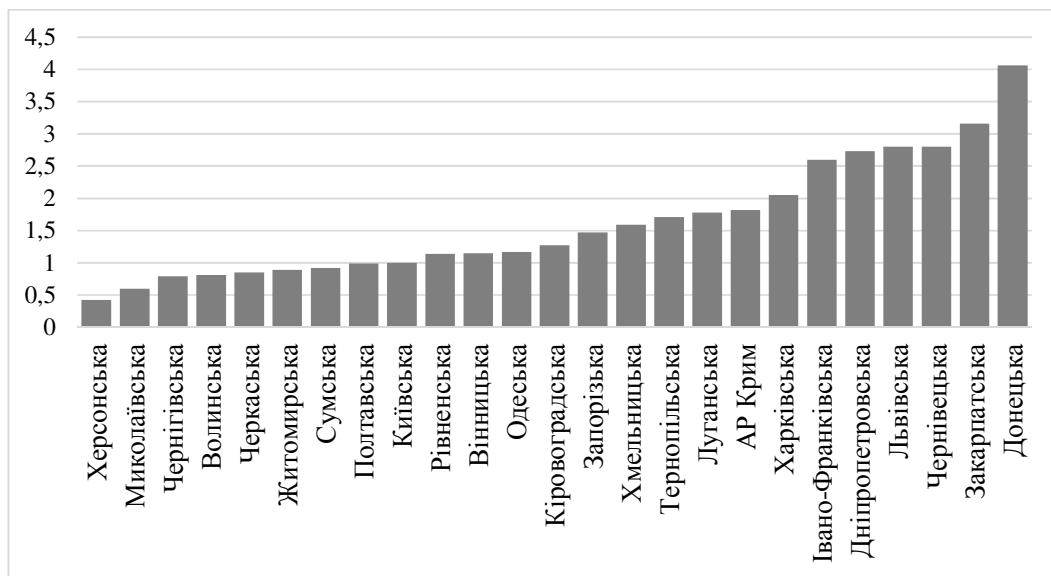


Рисунок 8 – Рівні техногенного навантаження регіонів України

Отримані за результатами оцінки дані дозволили провести групування регіонів України за інтегральним рівнем просторового розподілу ПНО.

При цьому кількість груп  $n$  визначалася за формулою (21). Розраховуючи за даною формулою при  $N = 25$ , тобто  $n = 1 + 3,322 \lg N = 1 + 3,322 \lg 25 = 5,64$ , отримуємо 6 груп розподілу рівня техногенного навантаження. При цьому розмір кожного інтервалу визначався за виразом

$$i = \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})}{n} = \frac{4,06 - 0,42}{6} = 0,61, \quad (26)$$

де  $i$  – величина інтервалу групування;  $Y_{\max}$  – максимальне значення показника;  $Y_{\min}$  – мінімальне значення показника;  $n$  – кількість груп.

Значний рівень техногенного навантаження мають області Східного та Карпатського регіону, в той час як більш помірний рівень спостерігається в областях Полісся та Приморської зони. Донецька, Дніпропетровська, Луганська, Харківська області характеризуються значною концентрацією промислових підприємств гірничого, хімічного та металургійного комплексів та високою щільністю населення, що обумовлює формування істотних ризиків техногенного походження (табл. 6).

Таблиця 6 – Групування регіонів України за рівнем техногенного навантаження

Діапазон зміни $Y$	Рівень навантаження	Назва адміністративної одиниці
0,42÷1,03	Незначний	Херсонська, Миколаївська, Чернігівська, Волинська, Черкаська, Житомирська, Сумська, Полтавська, Київська
1,04÷1,64	Помірний	Рівненська, Вінницька, Одеська, Кіровоградська, Запорізька, Хмельницька
1,65÷2,25	Середній	Харківська, Тернопільська, Луганська, АР Крим
2,26÷2,86	Підвищений	Івано-Франківська, Дніпропетровська, Львівська, Чернівецька
2,87÷3,47	Високий	Закарпатська
3,48÷4,06	Критичний	Донецька

Підвищений та високий рівень техногенного навантаження областей Карпатського регіону обумовлений значною питомою щільністю об'єктів транспортної інфраструктури на їх території, а також високою щільністю населення в них.

З метою обгрунтованої оцінки характеру змін основних загроз екологічній безпеці на регіональному рівні та визначення пріоритетних напрямків їх нейтралізації в роботі визначається комплекс індикаторів стану екологічної безпеки регіонів держави. При цьому регіони держави розглядаються у вигляді складної соціально-економічної та екологічної системи, функціонування якої характеризується нестійкою рівновагою через вплив значної кількості чинників політичного, економічного, екологічного характеру. Важливою властивістю такого стану є швидке виникнення й розвиток кризових економічних та екологічних явищ

під впливом зовнішніх збурень через нездатність регіону протистояти їх дестабілізуючому впливу. Враховуючи експортну орієнтацію економіки України з переважаючим спрямуванням на видобуток і переробку великих обсягів мінеральної сировини, що призводить до значного забруднення та погіршення стану повітря, земельних ресурсів, водних джерел, у багатьох регіонах держави можливий перехід до нестійкого стану саме через вплив екологічних чинників.

Беручи до уваги, що на стан екологічної безпеки певного регіону впливають загрози природного, техногенного і соціального характеру, пропонується для порівняльної оцінки регіонів за рівнем екологічної безпеки використовувати інтегральний показник, який враховував би оцінки шкоди життю, здоров'ю, а також економічним інтересам населення даного регіону в результаті прояву цих загроз.

В роботі показник екологічної безпеки відповідного регіону визнається за співвідношенням

$$Y_j = \sum_{k=1}^n y_{kj} \beta_k, \quad (27)$$

де  $y_{kj}$  –  $k$ -й показник небезпеки  $j$ -го регіону ( $j=1, \dots, 25$ );  $\beta_k$  – ваговий коефіцієнт, що визначається шляхом експертної оцінки залежно від ваги впливу певної загрози на загальний рівень екологічної безпеки регіону, враховуючи залежність  $\sum_{k=1}^n \beta_k = 1$ .

З-поміж показників відповідного регіону, що певною мірою відображають загальний рівень його екологічної безпеки, далі розглядаються нормовані значення індивідуального ризику загибелі населення впродовж року від надзвичайних ситуацій (НС) ( $y_1$ ), ризику матеріальних збитків за рік від НС ( $y_2$ ), обсягу викидів в атмосферне повітря в розрахунку на душу населення за рік ( $y_3$ ), обсягу утворення відходів на душу населення за рік ( $y_4$ ), показника відтворення лісів на душу населення за рік ( $y_5$ ), смертності населення за рік на 100000 осіб ( $y_6$ ).

Індивідуальний ризик загибелі далі розглядається як імовірність загибелі впродовж року в результаті реалізації НС для населення відповідного регіону держави і визначається як співвідношення кількості загиблих від НС і чисельності населення даного регіону. В такому випадку значення показника  $y_1$  визначатиметься за співвідношенням

$$y_{1j} = \frac{r_j}{r_{\max}}, \quad (28)$$

де  $r_{\max}$  – максимальне значення індивідуального ризику загибелі від НС у регіонах, що порівнюються.

Розраховуючи аналогічним чином інші показники небезпеки відповідного регіону держави  $y_{kj}$ , отримуємо узагальнюючу таблицю результатів оцінки, що відображає порівняльну характеристику екологічної безпеки регіонів України відповідно до прийнятих узагальнень (табл. 7).

Таблиця 7 – Інтегральний показник екологічної безпеки в регіонах України ( $Y_j$ )

Регіони України	$y_{1j}$	$y_{2j}$	$y_{3j}$	$y_{4j}$	$y_{5j}$	$y_{6j}$	$Y_j$
Автономна Республіка Крим	0,184	0,089	0,202	0,018	0,143	0,475	0,206
Вінницька	0,329	0,036	0,315	0,013	0,365	0,542	0,282
Волинська	0,000	0,000	0,155	0,007	0,775	0,914	0,292
Дніпропетровська	0,986	0,011	0,955	1,000	0,120	0,302	0,563
Донецька	0,528	0,002	1,000	0,150	0,090	0,216	0,373
Житомирська	0,564	0,000	0,191	0,005	1,000	0,766	0,405
Закарпатська	0,000	1,000	0,196	0,002	0,355	0,789	0,433
Запорізька	0,475	0,001	0,506	0,036	0,222	0,530	0,328
Івано-Франківська	0,000	0,604	0,457	0,009	0,349	0,611	0,370
Київська	0,526	0,000	0,439	0,020	0,350	0,592	0,348
Кіровоградська	0,445	0,002	0,199	0,340	0,454	1,000	0,409
Луганська	1,000	0,092	0,728	0,081	0,539	0,433	0,513
Львівська	0,053	0,027	0,271	0,012	0,260	0,329	0,163
Миколаївська	0,419	0,063	0,196	0,031	0,456	0,869	0,358
Одеська	0,284	0,016	0,213	0,003	0,286	0,429	0,217
Полтавська	0,121	0,001	0,324	0,035	0,295	0,654	0,253
Рівненська	0,000	0,000	0,137	0,007	0,907	0,819	0,283
Сумська	0,271	0,003	0,213	0,009	0,412	0,821	0,304
Тернопільська	0,000	0,010	0,165	0,012	0,166	0,777	0,208
Харківська	0,360	0,168	0,285	0,011	0,087	0,337	0,240
Херсонська	0,580	0,148	0,191	0,005	0,367	0,927	0,406
Хмельницька	0,136	0,122	0,176	0,011	0,361	0,663	0,257
Черкаська	0,140	0,014	0,301	0,014	0,264	0,715	0,262
Чернівецька	0,150	0,203	0,138	0,002	0,511	0,945	0,338
Чернігівська	0,286	0,027	0,245	0,004	0,616	0,890	0,352

При розрахунку інтегрального показника проведено статистичну обробку результатів оцінки. Середнє значення показника  $\bar{Y}=0,327$ , середньоквадратичне відхилення значення показника

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1}} = 0,0962. \quad (29)$$

Стандартне відхилення середнього значення  $\bar{S} = S/\sqrt{n}=0,0192$ . Довірчий інтервал за 95 % надійності  $Y=0,327\pm 0,0397$ .

Треба зазначити, що при розрахунку інтегрального показника екологічної безпеки методом експертної оцінки було визначено відповідні вагові коефіцієнти для кожного  $u_{kj}$ . Експертні дослідження здійснюються з метою підготовки обґрунтованої інформації для осіб, які приймають управлінські рішення. Для цього створюється робоча група, яка фактично організовує діяльність експертів, які можуть об'єднуватися в експертну комісію. Експертні оцінки можуть бути індивідуальними та колективними. При індивідуальній оцінці відбувається

отримання інформації лише від одного фахівця, тоді як колективні передбачають врахування оцінок від комісії або групи експертів для підвищення адекватності оцінювання.

За результатами оцінки інтегрального показника екологічної небезпеки проведено ранжирування регіонів України, що дає змогу певною мірою класифікувати їх відносно рівня безпеки. Враховуючи нерівномірність зміни інтегрального показника за регіонами, їх групування за інтервалами значень здійснено засобами ГІС. При цьому розмір інтервалу визначався за виразом

$$i = \frac{(Y_{j\max} - Y_{j\min})}{n} = \frac{0,563 - 0,163}{6} = 0,067, \quad (30)$$

де  $i$  – величина інтервалу групування;  $Y_{j\max}$  – максимальне значення інтегрального показника;  $Y_{j\min}$  – мінімальне значення інтегрального показника;  $n$  – кількість груп, що визначалася за формулою (21).

Слід брати до уваги, що найбільше значення показника свідчить про найнижчий рівень екологічної безпеки відповідного регіону (рис. 9).

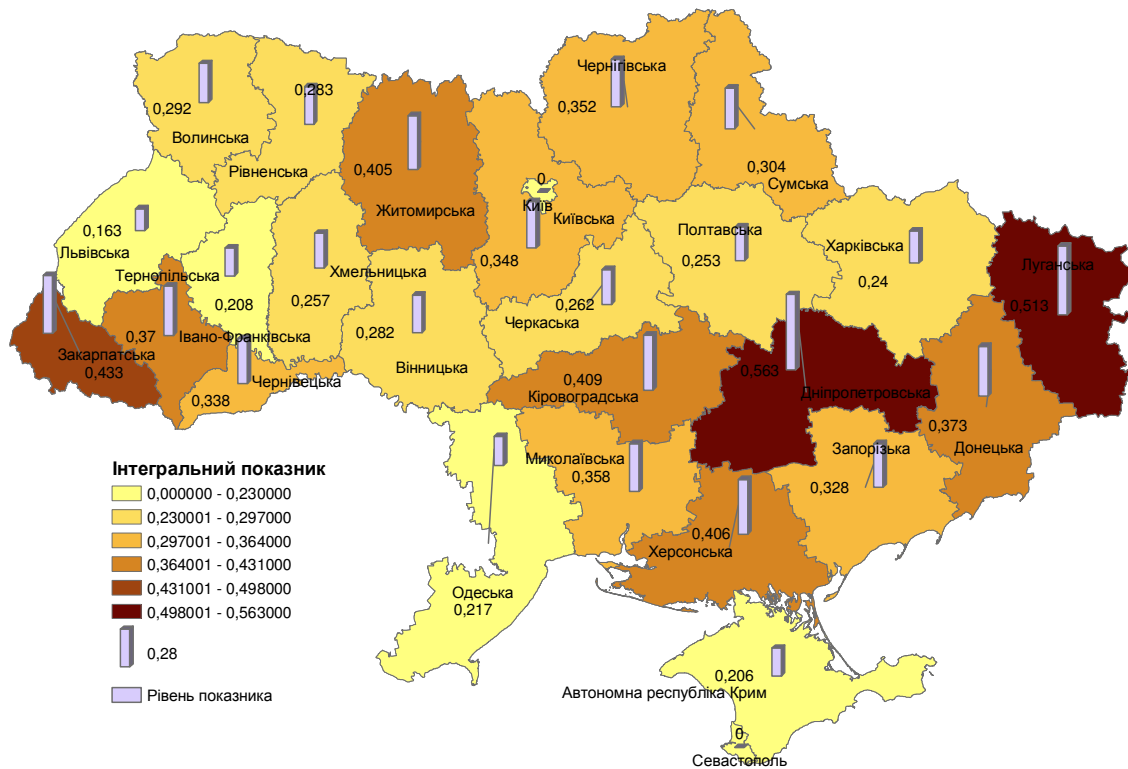


Рисунок 9 – Ранжирування регіонів України за інтегральним показником екологічної небезпеки

Результати оцінки демонструють найнижчий рівень екологічної безпеки ( $Y_j = 0,498 \div 0,563$ ) для Дніпропетровської та Луганської областей. До регіонів з низьким рівнем екологічної безпеки ( $Y_j = 0,431 \div 0,498$ ) відноситься Закарпатська область. Кіровоградська, Херсонська, Житомирська, Донецька, Івано-Франківська ( $Y_j = 0,364 \div 0,431$ ) області відносяться до регіонів з середнім рівнем екологічної безпеки. Сумська, Запорізька, Чернівецька, Київська, Чернігівська та Миколаївська області

відносяться до регіонів з помірним рівнем екологічної безпеки ( $Y_j = 0,297 \div 0,364$ ). Харківська, Полтавська, Хмельницька, Черкаська, Вінницька, Рівненська та Волинська області відносяться до регіонів з істотним рівнем екологічної безпеки ( $Y_j = 0,230 \div 0,297$ ). До регіонів з найвищим рівнем екологічної безпеки ( $Y_j = 0,110 \div 0,230$ ) відносяться АР Крим, Львівська, Тернопільська та Одеська області.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена створенню наукових і методологічних засад оцінки природних і техногенних ризиків і загроз для удосконалення структури екологічного моніторингу та підвищення рівня екологічної безпеки регіонів України.

1. Досліджено характер впливу природних і техногенних загроз на стан основних об'єктів захисту регіонів, що включають населення, господарські об'єкти та компоненти довкілля. Обґрунтовано використання теорії надійності для оцінки рівня безпеки регіонів України. На цій основі удосконалено методи оцінки та проведено їх практичне застосування для основних об'єктів захисту регіонів держави. Отримані результати оцінки показали, що найбільш захищеними об'єктами захисту в західних регіонах держави є населення та довкілля, в той час як найменш захищеними в східних регіонах є господарські об'єкти та населення.

2. Проведено оцінку швидкості зміни у часі функції безпеки регіонів України для кожного об'єкту захисту. Визначення цього показника здійснено на основі розрахунку нахилу лінії лінійної регресії за точками даних аргументів відомих значень функції безпеки та часу. Найбільше значення цього показника відображає найшвидшу зміну та відповідно зниження рівня безпеки по відношенню до інших регіонів держави, в той час як найнижче значення показує, що функція безпеки регіону знижується більш повільно і даний регіон є більш захищеним.

3. Розроблено методи комплексної оцінки загроз безпеці експлуатації об'єктів критичної транспортної інфраструктури регіонів за обґрунтованим критерієм їх розташування у зонах стійкого просторово-часового прояву НЕГП.

4. Проведено комплексну оцінку актуальних загроз інженерно-геологічного походження для безпеки експлуатації магістральних електромереж, газопроводів, залізничних шляхів, міжнародних транспортних коридорів, мостів з використанням технологій геоінформаційних систем. В якості фізичної основи критерію безпеки експлуатації ОКТИ визначено їх ділянки у зонах стійкого просторово-часового прояву НЕГП. Кількісне значення цього критерію визначалося як відсоток довжини певного ОКТИ в межах зон прояву підтоплення, карсту, просідання, зсувів.

5. Проведено оцінку загроз на регіональному рівні від екзогенних геологічних процесів (підтоплення, карст) для безпеки функціонування просторово розвинутих у різних інженерно-геологічних умовах магістральних ліній електропередач та газопроводів України. Найбільш несприятливі умови для функціонування МЕМ в умовах можливих загроз від підтоплення склалися у Житомирській, Волинській, Чернігівській, Полтавській, Рівненській областях, оскільки понад 50 % МЕМ у них розташовано під загрозою підтоплення. Здійснено аналіз загроз від підтоплення, карсту, зсувів для залізничних колій в регіонах України. Проведено ранжирування

регіонів України за рівнем екзогенних геологічних загроз для безпеки функціонування об'єктів критичної транспортної інфраструктури.

6. Проведено регіональну оцінку впливу небезпечних геологічних процесів для безпеки функціонування міжнародних транспортних коридорів, що проходять через територію України. Результати оцінки демонструють, що найбільш уразливим до впливу НЕГП є МТК Гданськ – Одеса, що практично по всій своїй довжині перебуває на територіях активізації карстових процесів. Крім того, цей МТК проходить регіонами України, де відбувається розвиток процесів підтоплення, що мають стійку тенденцію до активізації через вплив факторів глобальних змін клімату. Пан'європейський МТК №3 розташований на територіях розвитку карстових і просядкових процесів, що у випадку активізації можуть істотно пошкодити відповідальні конструктивні елементи МТК. Визначено, що найбільш безпечним до впливу НЕГП є Пан'європейський МТК № 5.

7. Обґрунтовано основні вимоги до програмних засобів оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури на регіональному рівні в автоматизованому режимі. Розроблено засоби функціональної взаємодії компонентів ПЗОЗБ з інформаційними ресурсами, що включають геоінформаційну складову, бази даних потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів критичної транспортної інфраструктури.

8. ПЗОЗБ створено у вигляді проблемно-орієнтованого проекту *ArcMap* з використанням мови програмування *Visual Basic* для стандартів *ArcGIS*. Розроблено графічний інтерфейс користувача ПЗОЗБ з урахуванням можливостей операційного середовища та практичних потреб роботи оператора. Він забезпечує виконання послідовності дій оператора з оцінки загроз безпеці критичної транспортної інфраструктури: вибору регіону для дослідження, вибору об'єкта критичної транспортної інфраструктури, вибору НЕГП, виводу результатів оцінки.

9. За результатами оцінки створено базу даних електронних карт актуальних загроз геологічного походження безпеці експлуатації магістральних газопроводів, залізничних шляхів в регіонах України.

10. Розроблено новий метод оцінки ризику екологічній безпеці на регіональному рівні, що передбачає розрахунок загального ризику втрат для об'єктів захисту регіонів держави. Складовими загального ризику екологічній безпеці регіонів визначено ризик від втрати життя і здоров'я населення в результаті реалізації НС різного походження, ризик від руйнування та ушкодження ПНО, а також ризик від втрати та ушкодження об'єктів довкілля.

11. За розробленим методом проведено оцінку комплексного ризику екологічній безпеці регіонів України, що враховує негативний вплив НС різного походження на формування загроз для основних об'єктів захисту регіонів: населення, ПНО та складових довкілля. Проведено групування регіонів за рівнями загального ризику екологічній безпеці. Результати оцінки продемонстрували, що найнижчий рівень загального ризику екологічній безпеці мають Миколаївська, Кіровоградська та Рівненська області. Сумська, Херсонська, Чернівецька, Житомирська, Одеська, Харківська, Закарпатська характеризуються помірним рівнем ризику екологічній безпеці. Середній рівень ризику спостерігається у Волинській, Запорізькій, Полтавській, Дніпропетровській областях, де

функціонують підприємства металургійної, хімічної промисловості. Донецька область має критичний рівень ризику екологічної безпеці, що пояснюється значною концентрацією ПНО на її території, високою щільністю населення та аномальним рівнем забруднення основних компонентів довкілля.

12. Встановлено вплив негативних факторів природного і техногенного характеру на зниження рівня екологічної безпеки регіонів в умовах зростання загроз і ризиків. Сформульовано й змістовно обґрунтовано методи оцінки рівня техногенного навантаження регіонів України. Проведено групування регіонів України за інтегральним рівнем техногенного навантаження за 5 категоріями ранжирування. Показано, що значний рівень техногенного навантаження мають області східного та Карпатського регіону, АР Крим, в той час як більш помірний рівень спостерігається в областях Полісся та Приморської зони.

13. Розроблено систему індикаторів стану екологічної безпеки регіонів держави з метою обґрунтованої оцінки характеру змін основних загроз екологічній безпеці та визначення пріоритетних напрямків їх нейтралізації. На цій основі розроблено методологію оцінки загроз і ризиків екологічній безпеці регіонів і проведено їх ранжирування за інтегральним показником безпеки.

14. Проведено ранжирування регіонів України відносно рівня екологічної безпеки. Встановлено, що низькі рівні екологічної безпеки характерні для Дніпропетровської, Луганської, Закарпатської, Кіровоградської, Херсонської, Житомирської, Донецької, Івано-Франківської, Миколаївської областей. Більш сприятлива ситуація стосовно екологічної безпеки спостерігається на Львівщині, в АР Крим, Тернопільській та Одеській областях. Показано, що АР Крим, Одеська, Харківська, Полтавська області відносяться до класу регіонів помірної безпеки.

## **СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Монографії**

1. Биченок, М.М. Ризики життєдіяльності у природно–техногенному середовищі / М.М. Биченок, **С.П. Іванюта**, Є.О. Яковлев; Ін–т пробл. нац. безпеки Ради нац. безпеки і оборони України. – К.: ПНБ, 2008. – 160 с. (*Здобувачем запропоновано моделі та методи оцінювання ризиків життєдіяльності, розглянуто результати їх оцінювання у природно–техногенному середовищі, отримані з використанням технологій геоінформаційних систем*).

2. **Іванюта, С.П.** Екологічна та природно–техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків: монографія / С.П. Іванюта, А.Б. Качинський; Національний інститут стратегічних досліджень. – К.: НІСД, 2012. – 308 с. (*Здобувачем проведено оцінку рівня безпеки основних об'єктів захисту регіонів держави: осіб, господарських об'єктів і довкілля, оцінено вплив актуальних природних і техногенних загроз на безпеку експлуатації об'єктів критичної транспортної інфраструктури*).

### **Статті у наукових виданнях в галузі технічних наук**

3. Биченок М.М. Про комплексне оцінювання ризиків життєдіяльності у потенційно небезпечних регіонах / М.М. Биченок, **С.П. Іванюта**, Є.О. Яковлев //



Екологія і Ресурси: Зб. наук. праць Інституту проблем національної безпеки. – К.: ПНБ, 2007. – № 17. – С. 33–42. *(Здобувачем здійснено об'єктивно-територіальну оцінку ризиків життєдіяльності в умовах можливого прояву екзогенних геологічних процесів).*

4. Биченок М.М. Про екзогенні геологічні загрози для безпеки функціонування залізничного транспорту України / М.М. Биченок, **С.П. Іванюта**, Є.О. Яковлев // Геоінформатика. – 2008. – № 1. – С. 72–79. *(Здобувачем здійснено ранжирування адміністративних областей України за рівнем екзогенних геологічних загроз для безпеки функціонування залізничного транспорту).*

5. **Іванюта С.П.** Оцінка актуальних геологічних загроз для безпеки функціонування ліній електропередач та магістральних газопроводів / С.П. Іванюта // Екологія і Ресурси: Зб. наук. праць Інституту проблем національної безпеки. – К.: ПНБ, 2008. – №19. – С. 19–31.

6. **Іванюта С.П.** Про оцінку регіональних загроз від сукупного впливу екзогенних геологічних процесів для систем транспортування / С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев // Мінеральні ресурси України. – 2008. – № 2. – С. 42–47. *(Здобувачем виконано оцінку небезпечності спільного прояву геологічних загроз для безпеки функціонування залізничних колій та магістральних газопроводів).*

7. Яковлев Є.О. Оцінка ризиків і соціально–економічних збитків в умовах прояву екзогенних геологічних процесів / Є.О. Яковлев, **С.П. Іванюта** // Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту. – К.: УкрДГРІ, 2008. – № 2. – С. 147–158. *(Здобувачем здійснено оцінку ризиків для життєдіяльності населення в умовах регіональної активізації екзогенних геологічних процесів).*

8. Яковлев Є.О. Просторово-часовий розвиток підтоплення земель у містах та селищах міського типу України як головний фактор техногенезу їх геологічного середовища / Є.О. Яковлев, **С.П. Іванюта** // Національна безпека: Український вимір. – К.: ПНБ, 2008. – № 1. – С. 112–118. *(Здобувачем досліджено сумарний приріст площ підтоплення земель у містах і селищах міського типу).*

9. Биченок М.М. Проблеми моніторингу комп'ютерно–телекомунікаційних загроз / М.М. Биченок, **С.П. Іванюта**, О.С. Метельська // Національна безпека: Український вимір. – К.: ПНБ, 2009. – № 5 (24). – С. 51–57. *(Здобувачем проведено аналіз актуальних загроз інформаційній безпеці у комп'ютерно–телекомунікаційній сфері).*

10. **Іванюта С.П.** Захист федеральних комп'ютерних мереж США від кібернетичних нападів / С.П. Іванюта // Національна безпека: Український вимір. – К.: ПНБ, 2009. – № 6 (25). – С. 99–100.

11. Биченок М.М. Метод експертної оцінки загроз інформаційній безпеці держави / М.М. Биченок, **С.П. Іванюта** // Національна безпека: Український вимір. – К.: ПНБ, 2010. – № 7 (26). – С. 81–88. *(Здобувачем запропоновано методичний підхід до здійснення експертної оцінки загроз інформаційній безпеці держави).*

12. **Іванюта С.П.** Аналіз світових тенденцій прояву комп'ютерно–телекомунікаційних загроз / С.П. Іванюта // Національна безпека: Український вимір. – К.: ПНБ, 2010. – № 7 (26). – С. 97–100.

13. **Іванюта С.П.** Аналіз актуальних загроз екологічній безпеці Київської області / С.П. Іванюта // Техногенно–екологічна безпека та цивільний захист. – Київ–Кременчук, 2011. – Вип. 3. – С. 44–55.

14. **Іванюта С.П.** Комплексний аналіз стану природно–техногенної безпеки Автономної Республіки Крим / С.П. Іванюта // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М–во освіти і науки України, Київ. нац. ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2011. – Вип. 7. – С. 109–127.

15. **Іванюта С.П.** Геоінформаційний аналіз економічного ризику природних і техногенних катастроф в Україні / С.П. Іванюта // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М–во освіти і науки України, Київ. нац. ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2012. – Вип. 10. – С. 45–61.

16. **Іванюта С.П.** Оцінка природно–техногенних загроз безпеці Донецької області / С.П. Іванюта // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково–техн. журнал. – Івано–Франківськ: Симфонія форте, 2012. – № 1(5). – С. 49–56.

17. Оцінка регіональних еколого–ресурсних та еколого–техногенних загроз національній безпеці України / Є.О. Яковлев, Ю.М. Скалецький, **С.П. Іванюта**, Л.М. Якушенко. – 2–е вид., доп. – К.: НІСД, 2011. – 32 с. (*Здійснено геоінформаційний аналіз характеру змін актуальних екологічних і техногенних загроз національній безпеці держави*).

18. **Іванюта С.П.** Про аналіз загроз екологічній безпеці регіонів України / С.П. Іванюта // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М–во освіти і науки України, Київ. нац. ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2012. – Вип. 9. – С. 74–86.

19. **Іванюта С.П.** Оцінка економічного ризику природних і техногенних надзвичайних ситуацій в Україні / С.П. Іванюта // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М–во освіти і науки України, Київ. нац. ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2012. – Вип. 11. – С. 30–42.

20. **Іванюта С.П.** Про інтегральну оцінку рівня екологічної безпеки регіонів України / С.П. Іванюта // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М–во освіти і науки України, Київ. нац. ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2013. – Вип. 13. – С. 24–34.

21. Цікало О.В. Аналіз досвіду країн ЄС у сфері запобігання негативним наслідкам стихійних лих / О.В. Цікало, **С.П. Іванюта** // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М–во освіти і науки України, Київ. нац. ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2014. – Вип. 14. – С. 69–79. (*Здобувачем проаналізовано актуальні підходи ЄС у сфері запобігання стихійним лихам різного характеру та пом'якшення їх негативних наслідків*).

22. **Іванюта С.П.** Регіональна оцінка рівня техногенного навантаження в Україні / С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев // Вісник Вінницького політехнічного інституту: наук. журн. / Вінн. нац. техн. ун–т. – Вінниця, 2014. – № 6. – С. 23–30. (Входить до

міжнародної наукометричної бази РИНЦ). *(Здобувачем проаналізовано основні чинники погіршення безпеки експлуатації потенційно небезпечних об'єктів та проведено на цій основі регіональну оцінку рівня техногенного навантаження).*

23. **Іванюта С.П.** Про безпеку функціонування мостів на автошляхах України в умовах інженерно-геологічних загроз / С.П. Іванюта // Геоінформатика. – 2009. – № 1 (29). – С. 82–90. (Входить до наукометричних баз WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bible).

24. **Іванюта С.П.** Використання геоінформаційних технологій для регіональної оцінки геологічних загроз безпеці міжнародних транспортних коридорів в Україні / С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев // Геоінформатика. – 2010. – № 1. – С. 72–78. (Входить до наукометричних баз WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bible). *(Здобувачем здійснено регіональну оцінку впливу небезпечних геологічних процесів на безпеку функціонування міжнародних транспортних коридорів).*

25. **Іванюта С.П.** Геоінформаційний аналіз гідрометеорологічних загроз для безпеки функціонування головних життєзабезпечуючих інженерних систем України / С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев // Геоінформатика. – 2010. – № 3. – С. 66–73. (Входить до наукометричних баз WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bible). *(Здобувачем здійснено аналіз гідрометеорологічних загроз для безпеки функціонування головних життєзабезпечуючих інженерних систем).*

26. **Іванюта С.П.** Геоінформаційна оцінка природно–техногенних загроз регіональній безпеці Івано–Франківської області / С.П. Іванюта // Геоінформатика. – К., 2011. – № 4. – С. 78–84. (Входить до наукометричних баз WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bible).

27. **Іванюта С.П.** Розробка методики оцінки ризику збитків від надзвичайних ситуацій в регіонах України / С.П. Іванюта // Східно–Європейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 3, № 6 (75). – С. 48–53. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, Index Copernicus, BASE, EBSCO, РИНЦ).

28. **Ivanyuta, Sergiy.** Assessment of threats from exogenous geological processes to safety of international transport corridors in Ukraine / S.P. Ivanyuta // Science & Military Journal. – 2015. – Vol. 1, Issue 1. – P. 39–42. ISSN 1336-8885.

29. **Ivanyuta, Sergiy.** Estimation of flood damage in urban areas of Ukraine / S.P. Ivanyuta // EUREKA: Physics and Engineering. – 2016. – Vol. 1 (2), Issue 1. – P. 31–37. ISSN 2461-4254.

30. **Ivanyuta, Sergiy.** Analysis of natural and man-made threats for regional security in Ukraine / S.P. Ivanyuta // EUREKA: Physics and Engineering. – 2016. – Vol. 3 (4), Number 3. – P. 46–55. ISSN 2461-4254.

#### **Статті в інших виданнях**

31. **Іванюта С.П.** Запровадження сучасних підходів для зниження ризику природних катастроф в Україні // Стратегічні пріоритети. – К.:НІСД, 2016. – №1 (38). – С.110–117.

32. **Іванюта С.П.** Передумови та необхідність створення національної платформи зниження ризику стихійних лих в Україні // Стратегічні пріоритети. – К.:НІСД, 2014. – №1 (30). – С.158–163.

33. **Іванюта С.П.** Екологічна безпека регіонів України: порівняльні оцінки / С.П. Іванюта, А.Б. Качинський // Стратегічні пріоритети. – К.:НІСД, 2013. – №3 (28). – С.157–164. *(Здобувачем запропоновано систему показників, що характеризують стан екологічної безпеки у регіональному вимірі та здійснено ранжирування регіонів держави за інтегральним показником безпеки).*

34. Качинський А.Б. Оцінка економічного ризику надзвичайних ситуацій в областях Західного регіону України / А.Б. Качинський, **С.П. Іванюта** // Регіональна економіка / НАН України, Міністерство економіки України, Інститут регіональних досліджень НАН України. – Л., 2012. – № 2. – С. 64–72. *(Здобувачем визначено ймовірності втрат та економічний ризик природних і техногенних надзвичайних ситуацій в областях Західного регіону України).*

35. Качинський А.Б. Аналіз екологічних і природно–техногенних загроз безпеці Автономної Республіки Крим / А.Б. Качинський, **С.П. Іванюта** // Стратегічні пріоритети. – К.:НІСД, 2011. – №1 (18). – С. 49–58. *(Здобувачем визначено екологічні загрози регіональній безпеці Автономної Республіки Крим та досліджено функції безпеки регіону для основних об'єктів їх захисту).*

36. Яценко Л. Д. Обґрунтування індикаторів стану екологічної безпеки України / Л.Д. Яценко, **С.П. Іванюта** // Стратегічні пріоритети. – К.:НІСД, 2013. – №1 (26). – С.134–138. *(Здобувачем проаналізовано основні тенденції прояву актуальних природних і техногенних загроз в Україні та запропоновано комплекс індикаторів для оцінки стану екологічної безпеки держави).*

37. **Іванюта С.П.** Зростання загроз екологічній безпеці у зв'язку з розробкою родовищ солі у Карпатському регіоні // Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції (5-8 жовтня 2015 р., м. Трускавець). – К.: ДКЗ, 2015. – С. 304–309.

38. **Іванюта С.П.** Екологічні, соціальні та економічні наслідки воєнних дій на сході України та шляхи їхнього відновлення // Перспективи відновлення Сходу України на засадах збалансованого розвитку: Матеріали конференції (24-25 вересня 2015 р., м. Слов'янськ). – К., 2015. – С. 76–79.

39. **Іванюта С.П.** Геоінформаційні системи при регіональному вимірі екологічних та техногенних загроз для об'єктів критичної інфраструктури // Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури: Міжнародна науково-практична конференція (20-21 квітня 2015 р., м. Київ).

40. Yakovlev, E.O., **Ivanyuta, S.P.** Geoinformation Analysis of Regional Threats of Dangerous Exogenous Geological Processes on Functioning of International Transport Corridors // Proceedings of the 11th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2012, Kiev, Ukraine, 14 - 17 May 2012. – EAGE: Curran Associates, 2014. – P. 31–35. – ISBN: 978-1-63266-993-3. *(Здобувачем проаналізовано регіональні загрози для функціонування міжнародних транспортних коридорів).*

41. **Іванюта С.П.** Оцінка геологічних загроз для безпеки функціонування залізничного транспорту України // Концепція захисту критичної інфраструктури: стан, проблеми та перспективи її впровадження в Україні : зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. (7-8 листопада 2013 р., Київ – Вишгород). – К., НІСД, 2014. – С. 121–126.

42. **Ivanyuta, S.P.**, Yakovlev, Y.O. Actual ecological and resource problems for the treatment of persistent organic pollutants // Proceedings of the 12<sup>th</sup> International HCH and Pesticides Forum, 6-8 November, 2013, Kiev, Ukraine. – IHPA, 2015. – P. 320–325. – ISBN: 978-87-991210-0-7. *(Здобувачем досліджено екологічні проблеми у сфері поводження зі стійкими органічними забруднювачами).*

43. Yakovlev, E.O., **Ivanyuta, S.P.**, Yakushenko, L.M. The Use of GIS Technology in Assessing Environmental Threats Extracting Shale Gas // Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2013, Kiev, Ukraine, 13 - 16 May 2013. – EAGE: Curran Associates, 2014. – P. 44–47. – ISBN: 978-1-62993-771-7. *(Здобувачем проведено аналіз використання геоінформаційних технологій для оцінки екологічних загроз при видобуванні сланцевого газу).*

44. **Іванюта С.П.** Оцінка загроз екологічній безпеці головних життєзабезпечуючих систем з використанням геоінформаційних технологій /С.П. Іванюта // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: XI міжнародна науково–практична конференція, 16–21 вересня 2012 р.: збірник наукових праць. – К.:МП «Леся», 2012.– С. 142–148.

45. Качинський А.Б., **Іванюта С.П.** Аналіз екологічних і природно–техногенних загроз безпеці Автономної Республіки Крим /А.Б. Качинський, С.П. Іванюта // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: XI міжнародна науково–практична конференція, 16–21 вересня 2012 р.: збірник наукових праць. – К.:МП «Леся», 2012.– С. 45–58. *(Здобувачем визначено характер змін природно–техногенних загроз регіональній безпеці Автономної Республіки Крим).*

46. Яковлев Є.О. Географічні особливості прояву техногенних і природних геологічних небезпек в Україні та їх геоінформаційні оцінки / Є.О. Яковлев, **С.П. Іванюта**, Л.М. Якушенко // Просторовий аналіз техногенних і природних ризиків в Україні: міжнародна науково–практична конференція, 12–14 листопада 2009 р.: збірник наукових праць. – К.:НАНУ, 2009. – С. 91–96. *3 (Здобувачем з використанням ГІС-технологій здійснено аналіз прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України).*

47. **Іванюта С.П.** Екзогенні геологічні загрози для безпеки функціонування залізничного транспорту України / С.П. Іванюта // Підвищення ефективності використання водних, теплових та енергетичних ресурсів та охорона навколишнього середовища: міжнар. наук.–практ. конф., 12–14 травня 2008 р.: тези допов. – К.:КНУБА, 2008. – С. 93–95.

## АНОТАЦІЯ

**Іванюта С.П. Наукові основи оцінки ризиків і загроз екологічній безпеці регіонів України. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, 2017.

Представлено наукові засади оцінки ризиків і загроз для удосконалення структури екологічного моніторингу та підвищення рівня екологічної безпеки регіонів України. Розроблено нові методи оцінки загроз і ризиків екологічній безпеці регіонів, що забезпечують їх ранжирування за інтегральним показником безпеки. Визначено характер і швидкість зміни функцій безпеки для об'єктів захисту регіонів України, встановлено залежність між швидкістю зміни функцій та рівнем безпеки регіонів. Розроблено новий метод оцінки комплексного ризику екологічній безпеці регіонів з урахуванням збитків від реалізації загроз для населення, потенційно небезпечних об'єктів і довкілля.

Розроблено методи оцінки загроз безпеці експлуатації об'єктів критичної транспортної інфраструктури регіонів за критерієм їх розташування у зонах прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів. Проведено оцінку актуальних загроз інженерно-геологічного походження для безпеки експлуатації магістральних електромереж, газопроводів, залізничних шляхів, міжнародних транспортних коридорів, мостових комплексів в регіонах України. Здійснено програмну реалізацію розроблених методів оцінки загроз безпеці експлуатації об'єктів критичної транспортної інфраструктури з використанням технологій геоінформаційних систем на регіональному рівні. Розроблено нову методику оцінки рівня техногенного навантаження регіонів України з урахуванням щільності об'єктів критичної інфраструктури.

Ключові слова: екологічна безпека, природні і техногенні загрози, оцінка ризику, регіони, об'єкти інфраструктури, геоінформаційні системи, екологічний моніторинг.

## ANNOTATION

**Ivanyuta S.P. Scientific fundamentals of assessment of risks and threats for ecological security of Ukrainian regions. – Manuscript.**

A dissertation submitted in satisfaction of the requirements for the degree of doctor of technical sciences on specialty 21.06.01 – ecological security. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, 2017.

Scientific fundamentals of assessment of natural and man-made risks and threats to improve the structure of ecological monitoring and improvement of ecological security of Ukraine's regions are presented.

New methods for assessment risks and threats to regions' ecological security are developed. With the use of these methods the ranking of regions by a combined index of security are carried out. The changes of natural and technogenic threats are discovered with the aim of improvement decision-making processes in the field of risk reduction for ecological security of regions.

The nature of the impact of natural and man-made threats to the state of the main objects of region's protection including population, industrial facilities and the environment is investigated. It is shown that the use of reliability theory can adequately assess the security level of Ukraine's regions. Based on this the improvement of estimation method and its practical application for the main objects of region's protection is completed. The evaluation results showed that the most secure facilities in the western

region of the state are population and the environment due to reduced anthropogenic changes. But in the eastern regions of the country, characterized by high levels of technogenic and natural resources, industrial facilities and population are the least protected.

The estimation of the speed of changing in time of security features of Ukraine's regions for each object of protection is done. The definition of this indicator is made based on the calculation of slope linear regression line for the data point's arguments of known security features and time. The greatest value of this indicator reflects the fastest changing and accordingly lower security relative to other regions of the country, while a low value indicates that the security feature of the region is reduced more slowly and the region is more secure.

Methods of inclusive assessment of threats to security operation of critical transport infrastructure of the criterion of their location in areas of sustainable space-time display of dangerous exogenous geological processes have been developed. A comprehensive assessment of actual threats of engineering and geological origin for the safe operation of the main-pipelines, railways, international transport corridors, bridges at regional level is completed.

Software implementation of methods developed for comprehensive assessment of security threats operation of critical transport infrastructure with the use of GIS technology at the regional level is realized. A graphical user interface, capacities of the operating environment and the practical needs of the operator is developed. It provides execution sequence of actions of the operator to assess threats to the security of critical transport infrastructure: the choice of region for research, selection of type of critical transportation infrastructure, selection of dangerous exogenous processes, and output of evaluation. A database of digital maps of actual threats of engineering and geological origins and their impact on the security operation of main railway lines and gas pipelines in regions of Ukraine has been created because of practical implementation of developed software.

Method for assessment of anthropogenic impact for regions of Ukraine is grounded, as well as the grouping of regions of Ukraine by a combined level of anthropogenic impact is conducted. The environmental and technogenic ranking regions of Ukraine is prepared with the use of method developed in the thesis for anthropogenic impact assessment regions of Ukraine, considering the density of critical infrastructure. It was established that geospatial division of region's anthropogenic impact generate prevailing influence from trunk railway, road and bridge facilities, international transport corridors and main power supply.

Dynamics of processes of changing of the risks of natural and man-made origin at regional level as well as the mechanism of their effects on the ecological security of Ukraine's regions are defined. A system of indicators of region's environmental security is developed with the aim to analyze the nature of changes in the major threats to environmental security and reasonably determine priorities for their neutralization. On this basis, a method for assessing threats and risks to region's ecological security is developed and their ranking by integral index of security is held.

Keywords: ecological security, natural and man-made threats, risk assessment, regions, infrastructure, geographic information systems, environmental monitoring.

## АННОТАЦИЯ

**Иваниюта С.П. Научные основы оценки рисков и угроз экологической безопасности регионов Украины. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Киев, 2017.

Представлены научные основы оценки рисков и угроз для совершенствования структуры экологического мониторинга и повышения уровня экологической безопасности регионов Украины. Разработаны новые методы оценки угроз и рисков экологической безопасности регионов, обеспечивающих их ранжирование по интегральному показателю безопасности. Определены характер и скорость изменения функций безопасности для объектов защиты регионов Украины, установлена зависимость между скоростью изменения функции и уровнем безопасности регионов. Разработан новый метод оценки комплексного риска экологической безопасности регионов, учитывающий убытки от реализации угроз для населения, потенциально опасных объектов и окружающей среды.

Разработаны методы оценки угроз безопасности эксплуатации объектов критической транспортной инфраструктуры регионов по критерию их расположения в зонах проявления опасных экзогенных геологических процессов. Проведена оценка актуальных угроз инженерно-геологического происхождения для безопасности эксплуатации магистральных электросетей, газопроводов, железнодорожных путей, международных транспортных коридоров, мостовых комплексов в регионах Украины. Осуществлена программная реализация разработанных методов оценки угроз безопасности эксплуатации объектов критической транспортной инфраструктуры с использованием технологий геоинформационных систем на региональном уровне. Разработана новая методика оценки уровня техногенной нагрузки регионов Украины с учетом плотности объектов критической инфраструктуры.

Ключевые слова: экологическая безопасность, природные и техногенные угрозы, оценка риска, регионы, объекты инфраструктуры, геоинформационные системы, экологический мониторинг.