



Самойленко Віктор Миколайович

професор кафедри фізичної географії та геоекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор географічних наук, професор

Сфера діяльності – теоретичні та методично-прикладні дослідження в географії, геоекології й гідроенвіронментології, серед них геотрансформаційне моделювання динаміки та стійкості екосистем різного типу для їхньої збалансованої реабілітації, створення екомереж і оптимізації геоекологічного моніторингу, зосібна для міжнародного геоекологічного співробітництва, а також розвідки з дидактики географії. Автор понад 200 наукових і навчально-методичних праць, поміж них 14 монографій та 26 підручників і навчальних посібників, з яких 4 електронні.



Діброва Іван Олександрович

доцент кафедри фізичної географії та геоекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат географічних наук

Сфера діяльності – методично-прикладні дослідження у природничій і конструктивній географії, геоекології та дидактиці географії. Автор і співавтор понад 30 науково-методичних публікацій, зокрема 3 монографій, 2 підручників і 2 навчальних посібників.

ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

**В.М. САМОЙЛЕНКО
І.О. ДІБРОВА**

ПРИРОДНИЧО- ГЕОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

**В.М. САМОЙЛЕНКО
І.О. ДІБРОВА**



***В.М.САМОЙЛЕНКО
І.О.ДІБРОВА***

**ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНЕ
МОДЕЛЮВАННЯ**

Підручник

**Київ
Ніка-Центр
2019**

УДК 502.2:911.5(075.8)

C17

*Рекомендовано до видавання вченою радою географічного факультету
Київського Національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол № 1 від 16 вересня 2019 року)*

- Автори:** *В.М.Самойленко* – професор кафедри фізичної географії та геоєкології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор географічних наук, професор
І.О.Діброва – доцент кафедри фізичної географії та геоєкології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат географічних наук
- Рецензенти:** *М.Д.Гродзинський*, член-кореспондент Національної академії наук України, доктор географічних наук, професор (*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*)
В.І.Осадчий, член-кореспондент Національної академії наук України, доктор географічних наук (*Український гідрометеорологічний інститут*)
О.Ю.Дмитрук, доктор географічних наук, професор (*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*)

Самойленко В.М.

C17 Природничо-географічне моделювання : підручник / В.М. Самойленко, І.О. Діброва. – Київ : Ніка-Центр, 2019. – 320 с.
ISBN 978-966-521-736-7

Викладено теоретично-методичні підвалини природничо-географічного моделювання. Під ним розуміється дослідження структури, динаміки та стану природничих геосистем, зв'язків і процесів усередині них, між ними та із зовнішнім середовищем за допомогою природничо-географічних моделей. Природнича геосистема тлумачиться як складна вкеровна природно-натурально-антропогенна система з експлуатацією її ресурсів.

Обґрунтовано принципи та способи модельно-параметричної формалізації геосистем, задавання їхньої стохастичної структури та застосування комплексу моделей стійкості і надійності геосистем. Запропоновано підходи до геоєкологічного модельного районування. Розглянуто зміст оптимізаційно-діагностичного моделювання, зокрема для оптимізації режимів управління геосистемами та геоєкологічного моніторингу, а також діагностики першопричин погіршення стану геосистем. Наведено приклади тематичного математично-геоінформаційного природничо-географічного моделювання. Серед них ландшафтно-гідрорадіоекологічне районування, моделювання басейнових геосистем, екомереж і берегових геотонів та оптимізаційно-діагностичні рішення.

Для студентів і викладачів природничих, насамперед географічних, спеціальностей університетів і вищих закладів освіти, а також фахівців у сфері збереження й відновлення довкілля на основі оптимізації ресурсокористування з урахуванням транскордонного природоохоронного співробітництва.

УДК 502.2:911.5(075.8)

ISBN 978-966-521-736-7

© В.М.Самойленко, І.О.Діброва 2019
© Ніка-Центр, 2019

*Recommended for publication by academic council of geographic department
of Taras Shevchenko Kyiv National University
(Protocol No 1 dated September 16, 2019)*

Authors: *V.M.Samoilenko* – Professor of the Chair for Physical Geography and Geoecology at Taras Shevchenko Kyiv National University, Doctor of Science in Geography, Professor

I.O.Dibrova – Associate Professor of the Chair for Physical Geography and Geoecology at Taras Shevchenko Kyiv National University, Candidate of Science in Geography

Reviewers: *M.D.Grodzynskiyi*, Corresponding Member of Ukrainian National Academy of Science, Doctor of Science in Geography, Professor (*Taras Shevchenko Kyiv National University*)

V.I.Osadchyi, Corresponding Member of Ukrainian National Academy of Science, Doctor of Science in Geography, (*Ukrainian Hydrometeorological Institute*)

O.Y.Dmytruk, Doctor of Science in Geography, Professor (*Taras Shevchenko Kyiv National University*)

Samoilenko V.M.

S17 Natural-geographic modeling : textbook / V.M. Samoilenko, I.O. Dibrova. – Kyiv: Nika-Tsentr, 2019. – 320 c.
ISBN 978-966-521-736-7

The theoretical and methodical foundations of natural-geographic modeling are outlined. Modeling refers to the study of the structure, dynamics and condition of natural geosystems, relationships and processes within and between them and with the external environment using natural-geographical models. The natural geosystem is interpreted as a complex controllable natural-anthropogenic system with the exploitation of its resources.

Principles and methods of model-parametric formalization of geosystems, setting their stochastic structure and application of complex models of stability and reliability of geosystems are substantiated. Approaches to geoecological model zoning are proposed. The content of optimization-diagnostic modeling is considered, in particular for optimization of the modes of geosystems management and geoecological monitoring, as well as diagnostics of the root causes of the geosystems state deterioration. Examples of thematic mathematical-geoinformation natural-geographical modeling are given. Among them are landscape-hydroradioecological zoning, modeling of basin geosystems, ecological networks and coastal geotones and optimization-diagnostic solutions.

Textbook is intended for students and lectures of natural, especially geographic, specialties of universities and higher education institutions, as well as specialists in the scope of conservation and restoration of the environment based on the optimization of resource use, taking into account transboundary environmental cooperation.

UDC 502.2:911.5(075.8)

ISBN 978-966-521-736-7

© V.M.Samoilenko, I.O.Dibrova, 2019

© Nika-Tsentr, 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
УВЕДЕННЯ В ДИСЦИПЛІНУ.....	7
Частина 1. ТЕОРЕТИЧНО-МЕТОДИЧНІ ПІДВАЛИНИ МОДЕЛЮВАННЯ	30
1 ЗАСНОВКИ МОДЕЛЮВАННЯ.....	30
2 МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ГЕОСИСТЕМ	53
2.1 Модельно-параметрична формалізація геосистем.....	53
2.2 Стохастична структура геосистем.....	60
2.3 Стійкість і надійність геосистем.....	69
3 ГЕОЕКОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	96
3.1 Геоекологічне модельне районування.....	96
3.2 Оптимізаційно-діагностичне моделювання.....	105
3.2.1 Оптимізація режимів управління геосистемами	105
3.2.2 Оптимізація геоекологічного моніторингу.....	110
3.2.3 Діагностика першопричин погіршення стану геосистем	118
Частина 2. ПРИКЛАДИ ТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	125
4 ЛАНДШАФТНО-ГІДРОРАДІОЕКОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ	125
4.1 Перша алгоритмічна схема.....	126
4.2 Друга алгоритмічна схема.....	136
5 МОДЕЛЮВАННЯ БАСЕЙНОВИХ ГЕОСИСТЕМ.....	153
5.1 Моделювання середніх і великих басейнових геосистем.....	154
5.2 Моделювання малих урболандшафтних басейнових геосистем	176
6 МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОМЕРЕЖ.....	191
6.1 Концептуальні підвалини моделювання екомереж.....	192
6.2 Критеріальний аспект моделювання екомереж.....	208
6.2.1 Критерії ідентифікації й рівня природно-каркасної значущості можливих елементів екомереж.....	208
6.2.2 Критерії рівня стану об'єктів моделювання екомереж.....	218

6.3	Алгоритм і приклади моделювання екомереж.....	225
7	МОДЕЛЮВАННЯ БЕРЕГОВИХ ГЕОТОНІВ.....	245
7.1	Геотонне структурування.....	245
7.2	Моделювання акваторійної межі хвилеприбійного мезогеотону	251
7.3	Моделювання геоелементів стану та суходільних меж хвилепри- бійного і прибережного мезогеотонів.....	263
8	ОПТИМІЗАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНІ МОДЕЛЬНІ РІШЕННЯ.....	280
8.1	Оптимізація вимірювання показників ландшафтного різноманіт- тя.....	280
8.2	Реалізація методики діагностики першопричин погіршення ста- ну геосистем.....	288
	РЕКОМЕНДОВАНІ ПЕРШОДЖЕРЕЛА.....	303
	СЛОВНИК ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ.....	306
	ВИКОРИСТАНІ ПЕРШОДЖЕРЕЛА.....	311

ПЕРЕДМОВА

Підручник створено на основі багаторічного досвіду теоретичних і методично-прикладних розробок її першого автора – доктора географічних наук, професора Самойленка В.М., зважаючи й на розвідки разом з другим автором монографії – кандидатом географічних наук Дібровою І.О. та тривале викладання навчальних дисциплін з моделювання на географічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Такі розробки стосуються математично-геоінформаційного моделювання різноманітних природничих геосистем для їхньої збалансованої реабілітації, створення екомереж і оптимізації геоecологічного моніторингу, зокрема й під час транскордонного природоохоронного співробітництва. За зазначений методологічно-методичний доробок правлять, по-перше, результати виконаних за наукового керівництва першого автора понад 35 науково-дослідницьких проєктів, більш ніж 20 з яких розроблялися за національними та міжнародними науково-технічними екологічними програмами. По-друге, цей доробок формують понад 200 опублікованих у вітчизняних і закордонних виданнях наукових і навчально-методичних праць авторів підручника, серед яких 14 монографій і 26 підручників та навчальних посібників модельного спрямування.

Метою однойменної з підручником та відповідної йому навчальної дисципліни "Природничо-географічне моделювання" є формування у студентів здатності коректно та творчо застосовувати набуті після прослуховування дисципліни знання, вміння й навички щодо математично-геоінформаційного й споріднених з ним видів моделювання чинників динаміки природничих геосистем та власне стану цих геосистем і тенденцій його зміни, враховуючи відгуки систем на антропогенне навантаження, для оптимізації цього стану. Дисципліну найтісніше поєднано з дисциплінами із статистичних і стохастичних математичних методів у географії та з географічних інформаційних систем і технологій, спільно з якими вона утворює цикл з математично-модельного та геоінформаційного забезпечення підготовки географів, які творчо володіють новітніми технологіями дослідження довкілля.

Автори вдячні за слушні зауваження науковим рецензентам монографії: члену-кореспонденту Національної академії наук України, доктору географічних наук, професору Гродзинському М.Д., члену-кореспонденту Національної академії наук України, доктору географічних наук Осадчому В.І. та доктору географічних наук, професору Дмитруку О.Ю.

Автори сподіваються, що цей підручник буде корисним студентам і викладачам не лише географічних, але й інших, насамперед природничих, спеціальностей університетів і вищих закладів освіти, а також фахівцям у сфері збереження й відновлення довкілля, передусім на основі оптимізації ресурсокористування з урахуванням транскордонного природоохоронного співробітництва.

Автори будуть вдячні за критичні зауваження й пропозиції стосовно змісту й структури цього видання, які можна надсилати за адресою: МСП 01601, Київ-601, вул. Володимирська, 64, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, географічний факультет, кафедра фізичної географії та геоecології, професору Самойленку В.М. *E-mail: viksam1955@gmail.com*

УВЕДЕННЯ В ДИСЦИПЛІНУ

Початково у загальних рисах розглянемо **поняття про модель і моделювання**, як загалом, так і в природничій географії, та про **класифікації моделей**. Останні, зазвичай *можуть відображати обраний об'єкт моделювання та/або метод моделювання і певні особливості процесу моделювання*.

Існує декілька десятків визначень терміна "модель", який походить від латинської назви *modulus*, що перекладається як "міра", "мірило", "зразок".

Найбільш простим загальним визначенням *моделі* для завдань цього підручника є її тлумачення як *об'єкта-замінника, що у чомусь є подібним до оригінала*. Оригінал при цьому виступає як *об'єкт дослідження* (або *об'єкт моделювання*). Під останнім будемо розуміти як власне географічний об'єкт досліджень – **природничу географічну систему (геосистему)**, так і певний досліджуваний природничо-географічний процес чи явище або комбінацію природничої геосистеми та процесів/явищ, які визначають її динаміку та стійкість.

З позицій моделювання доквілля *модель у широкому розумінні* визначено у [40] як *умовний образ географічного об'єкта досліджень, сконструйований таким чином, щоб віддзеркалити риси цього об'єкта, істотні для поставленої мети досліджень*. За таких умов міра відображення об'єкта досліджень, або міра адекватності моделі об'єкту досліджень ніколи не може бути повною і визначається в залежності від мети та способів моделювання. Отже, необхідним атрибутом виконання моделлю функцій замінника є визначені дослідником ті, які його цікавлять, *відношення подібності* між елементами оригінала та моделі. Наприклад, для картографічної моделі за такі відношення може правити геометрична подібність тощо. Звідси, у **широкому розумінні, моделювання доквілля** можна кваліфікувати як вивчення об'єкта досліджень за його моделлю-замінником, яка володіє потрібними досліджуваними властивостями цього об'єкта.

Підсумовуючи наведене вище згідно із спрямованістю підручника, можна деталізувати **визначення моделі та моделювання в природничій географії**.

Таким чином, під **природничо-географічною моделлю** в цілому будемо розуміти *явище, предмет, знакове утворення або умовний образ (опис, схему тощо), які знаходяться у певній відповідності із зазначеним вище об'єктом дослідження та здатні замінити його в процесі дослідження шляхом подавання інформації про цей об'єкт*.

Природничо-географічне моделювання ж будемо кваліфікувати як *дослідження структури, динаміки та стану, зокрема стійкості, природничих геосистем, зв'язків і процесів всередині них, між ними та із зовнішнім середовищем за допомогою природничо-географічних моделей*. **Природнича ж геосистема** буде тлумачитися як складна вкеровна природно-натурально-антропогенна система з експлуатацією її ресурсів (див. детальніше р.1).

Отже природничо-географічне моделювання є застосуванням однойменних йому моделей. За такого підходу одразу зазначимо, що модель може виступати і програмою, і засобом, і результатом дослідження, яке стосується аналізу, оцінювання чи прогнозування стану природничої геосистеми, її структурно-функціональних характеристик, плину процесів у геосистемі тощо.

Систематизація природничо-географічних моделей, на тлі загальнометодологічного розподілу їх на *теоретичні, напівемпіричні та емпіричні* моделі, може здійснюватися на основі різних **принципів систематизації**. Найбільш доцільними з них є (рис.У.1):

- за *об'єктом моделювання (дослідження)*. Ним, як вже зазначалося, може бути передусім власне природнича геосистема, а також географічний процес або явище, які визначають її стан, і певне поєднання цих складників модельного об'єкта;
- за *низкою ознак*, де насамперед домінує *призначення*;
- за *логікою застосування* моделей;
- за *способом побудови* моделей і *способом передавання відношень подібності* між оригінальним географічним об'єктом дослідження і його моделлю-замінником;
- за певними можливими *комбінаціями* щойно перелічених *принципів*.



Рис.У.1 Систематизація природничо-географічних моделей

Досить уживаною є систематизація природничо-географічних моделей **за об'єктом моделювання (дослідження)**. На основі цього принципу систематизації виділяють:

- 1) **моделі чинників/умов стану природничих геосистем**, які відтворюють провідні ознаки та параметри плину або прояву цих чинників/умов;
- 2) **моделі структури геосистем**, які відображають їхню будову й основні структурно-функціональні складники;
- 3) **моделі властивостей (атрибутів) геосистем**, які зосереджують увагу на тих особливостях і провідних атрибутах систем, які потребують дослідження;
- 4) **моделі внутрішніх і зовнішніх причинно-наслідкових зв'язків** у природничих геосистемах чи між ними та/або чинниками їхнього стану. Вони демонструють взаємозв'язки відповідних передумов і наслідків, які спричинюються цими передумовами;
- 5) **моделі місцезнаходження геосистем**, які сприяють розумінню просторових закономірностей їхньої локалізації;
- 6) **інтегровані моделі**, які є певними комбінаціями вищезазначених моделей, наприклад структури, властивостей та місцезнаходження об'єктів дослідження тощо.

За певним набором ознак, серед яких переважає **призначення**, природничо-географічні моделі можна диференціювати на:

- 1) **імітаційні моделі**, які відтворюють конкретний атрибут або характерну рису об'єкта моделювання чи набір таких атрибутів/рис;
- 2) **систематизаційні моделі**, за допомогою яких створюються класифікації та інші систематизації об'єктів моделювання;
- 3) **оптимізаційні моделі** як власне моделі оптимального або нормативного стану природничих геосистем або моделі шляхів і способів досягнення чи підтримання такого стану тощо;
- 4) **оцінювальні моделі**, які у свою чергу можна поділяти на *розрахункові, прогностні та розрахунково-прогностні*, причім такий поділ може бути застосований і для типізованих за іншими ознаками моделей.

За логікою застосування можна розрізняти:

- 1) **моделі-аналоги**, за допомогою яких динаміку оригінального географічного об'єкта дослідження модельно відтворюють у найбільш слушний для цього спосіб;
- 2) **моделі-презентації**, які комбінаційно-послідовно сприяють створенню загального уявлення щодо географічного об'єкта-оригінала, що вивчається;
- 3) **моделі-інтерпретації**, які призначено для тлумачення й різнобічного пояснення загальної суті та/або окремих специфічних рис географічного об'єкта-оригінала;
- 4) **моделі комплексного дослідження (вивчання)** обраного географічного об'єкта, процесу або явища чи їхньої певного поєднання.

Крім вищенаведених принципів, вельми доцільним є систематизація природничо-географічних моделей **за способом їхньої побудови й способом передавання відношень подібності** між оригінальним географічним об'єктом вивчання та його моделлю-замінником. З огляду на таке, по-перше, **за способом побудови** розрізняють **прототипні й концептуальні моделі** (див. рис.У.1):

Прототипні моделі, в свою чергу, вже за способом передавання відношень подібності поділяють на:

1) **генералізовані моделі**. Вони забезпечують компактне відображення інформації про об'єкт моделювання у вигляді, наприклад, матеріального його макета тощо (приклади на фото У.1 і У.3 б));

2) **ідеалізовані моделі**. Ці моделі є модифікацією оригінала, яку втілено в елементах однорідного чи різнорідного субстрату. Їх побудовано за певними, теоретично обґрунтованими правилами таким чином, що зазначена модифікація має за прообраз лише певні властивості реального об'єкта. За приклад останнього може правити фізична модель штучного дощування обраних ділянок природничих геосистем з фіксацією в процесі дощування певних параметрів цих геосистем тощо.

Частково спорідненими з прототипними ідеалізованими моделями є т. зв. *електричні моделі*, за допомогою яких, утім, вивчаються процеси іншої фізичної природи, а саме механічні, гідродинамічні, акустичні тощо. Сюди відноситься, наприклад, метод електрогідродинамічних аналогій, який модельно відтворює динаміку підземних вод тощо.



Фото У.1 Генералізована модель англійського мегаліта Стоунхендж (Таїланд)

Концептуальні моделі, теж вже за способом передавання відношень подібності, додатково диференціюються на:

1) **концептуальні неформалізовані моделі**, серед них:

а) **вербально-звукові моделі** – словесні описи географічних об'єктів дослідження з можливим додатковим тематичним звуковим супроводом або самостійні звукоряди, які характеризують зазначені об'єкти. За останні можуть правити т.зв. звукові ландшафти (*англ. soundscapes*), які відтворюють звукоряди досліджуваного ландшафту тощо (див. [92], приклад на фото.У.2);

б) **іконічні моделі** – зарисовки, малюнки, листівки, картини, слайди, фото, зокрема у визначеному спектрі, та інші фрагментарно-відбиткові зображення об'єктів моделювання (приклад на фото У.3 а)), а також відеоряди;

2) **концептуальні формалізовані моделі**, поміж них:

а) **графічно-знакові моделі**, які подаються за допомогою знакових утворень – графічної й семантично-знакової символіки. Детальну систематизацію цих моделей, як дуже важливих і значущих у природничо-географічному моделюванні, окремо розглянуто далі;

б) **логіко-математичні**, серед них **власне математичні моделі**, які будуються за допомогою формул і математичних або логіко-математичних операцій зі змінними. Останні відображають певні параметри стану й динаміки географічних об'єктів, процесів і явищ, які вивчаються, або інші аспекти природничої географії;

в) **алгоритмічні моделі**, які подаються у вигляді *алгоритмічних схем* різноманітного спрямування тощо та містять обґрунтований порядок (послідовність) виконання певних модельних операцій.

Усі концептуальні формалізовані моделі мають широкі можливості для модифікації форми запису.

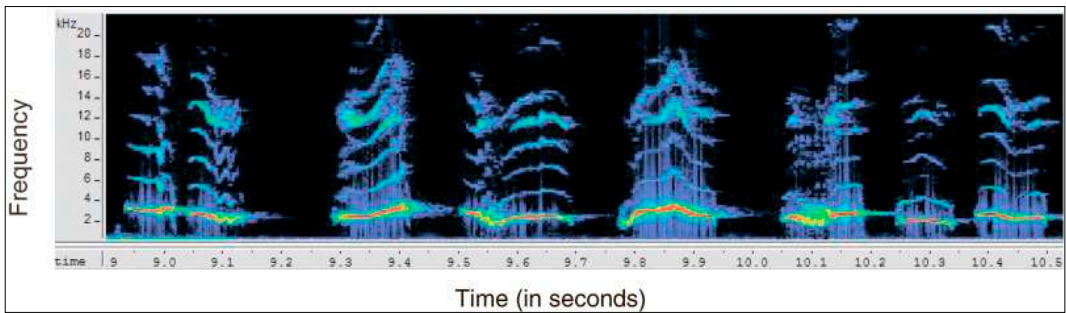


Фото У.2 Приклад спектрограми звукового ландшафту (за [92])

Додатково слід зазначити, що, *по-перше*, **концептуальні формалізовані моделі** можна також принципово розділити на:

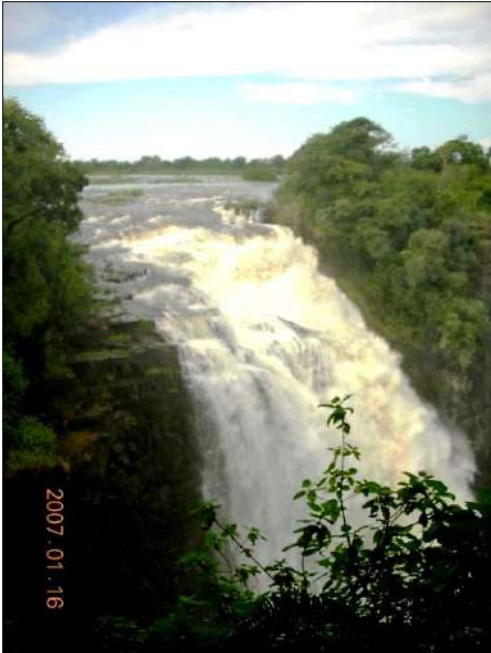
– **слабко формалізовані**, які відповідають слабко формалізованим методам матаналізу та моделювання – теоріям нечітких множин (лінгвістичної змінної), графів тощо (див. [40]);

– **точно формалізовані**. Ці моделі у *природничій географії і стосовно геопараметрів* у цілому можна поділити на (див. наші праці [39, 47]):

1) **детерміновані** (або **факторні** чи **генетичні**) моделі. За ними визначаються практично єдині, детерміновані значення геопараметрів за їхніми чинниками, генезисом, теоретичною моделлю відповідного процесу тощо. Способи побудови таких моделей вважаються максимально наближеними до комплексу умов детермінованого експерименту (досліді);

2) **суто ймовірнісні** (або **суто стохастичні**) моделі. За ними отримуються величини, які аналізуються та оцінюються як суто випадкові складники випадкових геопараметрів або як випадкові геопараметри певної ймовірності без вирізнення їхніх детермінованих складників чи абстрагування від них;

3) **детерміновано-стохастичні** (або **факторно-ймовірнісні**) моделі. Це найбільш перспективний і обґрунтований вид моделей для геопараметрів за повною їхньою структурою як випадкових величин. Побудова таких моделей у цілому ґрунтується на різних комбінаціях засобів факторних (генетичних) і суто ймовірнісних моделей.



а)



б)

Фото У.3 Фото водоспаду Вікторія (Замбія/Зімбабве) як іконічна модель (а) та генералізована модель Великого Бар'єрного рифа (Австралія) (б)

*По-друге, інколи прототипні генералізовані та концептуальні неформалізовані моделі об'єднують в одну групу **портретних моделей**.*

За умов інтегрування певних викладених вище принципів систематизації та/або рис моделей, досить часто оперують **комбінованими природничо-географічними моделями**.

За найбільш характерні приклади таких моделей можуть правити:

– глобус як генералізовано-картографічна модель, що є комбінацією прототипної генералізованої моделі та різновиду графічно-знакових моделей (див. далі);

– тематичний відеофільм про виверження вулкана як комбінація вербально-звукових і іконічних моделей, до того ж з подаванням цього фільму як моделі-інтерпретації (приклад на рис.У.2);

– модель-презентація кругообігу води в природі як інтегрована за об'єктом дослідження модель, яка реалізована через слайд-шоу мультимедійного проєктора й містить практично всі різновиди концептуальних моделей тощо.



Рис.У.2 – Фрагмент тематичного відеофільму про виверження вулкана

Практично всі природничо-географічні моделі може бути реалізовано в різних:

1) **режимах застосування**, таких як:

- статичний;
- кінематично-анімаційний;
- динамічний, поєднаний з певними етапами процесу тощо;
- інтерактивний або не інтерактивний;
- комбінований, наприклад кінетично-анімаційний та інтерактивний тощо;

2) **формах створення/відображення**, таких як:

- не цифрова (не електронна);
- цифрова (електронна);
- плоска (двовимірна);
- тривимірна, зокрема стерео-голографічна (приклад на рис.У.3);
- комбінована.



Рис.У.3 Тривимірна форма відображення *моделей* (за *Christopher East*, [48])

Згідно з передбаченим вище окремим розглядом вирізняють *чотири групи графічно-знакових моделей* як різновиду концептуальних формалізованих природничо-географічних моделей, а саме **моделі** (рис.У.4):

- аналітично-ілюстративні;
- картографічно-геоінформаційні;
- структурно-логічні;
- комбіновані.



Рис.У.4 Систематизація графічно-знакових природничо-географічних моделей

Практично всі складники чотирьох груп моделей рис.У.4, як і природничо-географічні моделі загалом (див. рис.У.1), може бути реалізовано у певних режимах застосування й формах створення/відображення. Ці групи моделей, у свою чергу, поділяються на їхні відповідні типи, види й підвиди, які стисло і розглядаються далі, а детальний опис усіх цих моделей наведено в наших працях [50, 53, 54] тощо.

Зокрема, до *аналітично-ілюстративних моделей* як групи належать такі *типи моделей*, як:

1) **зображувальні моделі** з такими видами, як схематичні малюнки й прості схеми тощо;

2) **графіко-діаграмні моделі**, за види яких правлять графіки, діаграми, некартографічні перетинно-секційні моделі, серед них поперечні профілі, вертикальні розрізи й блок-діаграми, та комбіновані графіко-діаграмні моделі;

3) **табличні моделі**, а саме числові, текстові та текстово-числові таблиці як види цих моделей;

4) **комбіновані аналітично-ілюстративні моделі**. Вони можуть бути варіаційним поєднанням трьох щойно зазначених типів на рівні їхніх видів, наприклад, певних видів табличних моделей з певними видами графіко-діаграмних або зображувальних тощо.

До *структурно-логічних моделей* як групи належать такі *типи моделей*, як:

- 1) **структурно-інформаційні схематичні моделі**, з такими найбільш характерним їхнім видом, як графі;
- 2) **структурно-логічні графічно-зображувальні моделі**, серед яких т.зв. фрейми є досить показовим видом;
- 3) **комбіновані структурно-логічні моделі**. Вони можуть бути поєднанням певних видів структурно-інформаційних схематичних і структурно-логічних графічно-зображувальних типів моделей, наприклад, фреймів із графами тощо.

Примітки.

1. **Граф** – структурно-інформаційна схематична графічно-знакова модель у вигляді:

- 1) ієрархічної (деревоподібної) структури. Іншими словами, це ієрархічний граф, за приклад якого може правити рис.У.1 і рис.У.3 та інші аналогічні схеми систематизації;
- 2) мережної структури. Це мережний граф, приклад якого як графа екологічної мережі наведено у р.6 на рис.6.24-6.25.

За елементи графа як моделі зазвичай правлять *вершини* (грані, вузли) *графа* – змістові складники модельного об'єкта, подані спеціальними знаками-символами – точками, кругами, прямокутниками тощо. Останні, зазвичай, поіменовано/позначено словами або літерами чи цифрами й поєднано спрямованими лінійними *зв'язками* ("гілками", дугами) *графа*.

Ієрархічний граф завдяки його вигляду ще називають "деревом подій" або "деревом цілей" тощо. Форма цього графа може бути або такою, як у "традиційного дерева", тобто побудованою від головної вершини (кореня) знизу до наступних вершин вгору, або, досить часто, протилежною до щойно викладеного. Тоді головна вершина (корінь) графа знаходиться вгорі з трасуванням від неї вниз відповідних "гілок" з їхніми вершинами (приклад на рис.У.5)

2. **Фрейм** – структурно-логічна графічно-зображувальна модель, яка за формою є графічно-знаковим образним зображенням обраних змістово-цілісних фрагментів географічної інформації та/або її різновидів (приклад на рис.У.6)

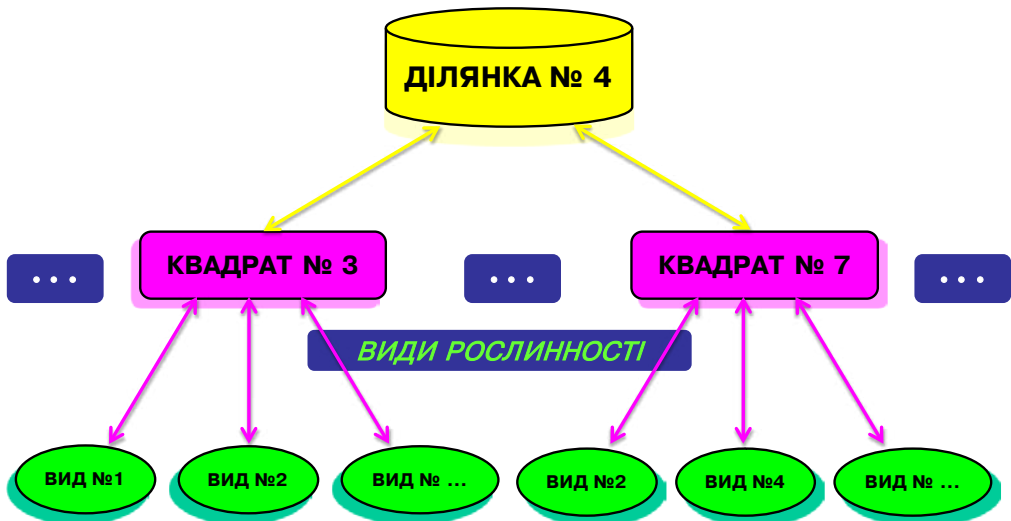


Рис.У.5 Приклад ієрархічного графа квадратів дослідної земельної ділянки та видів їхньої рослинності

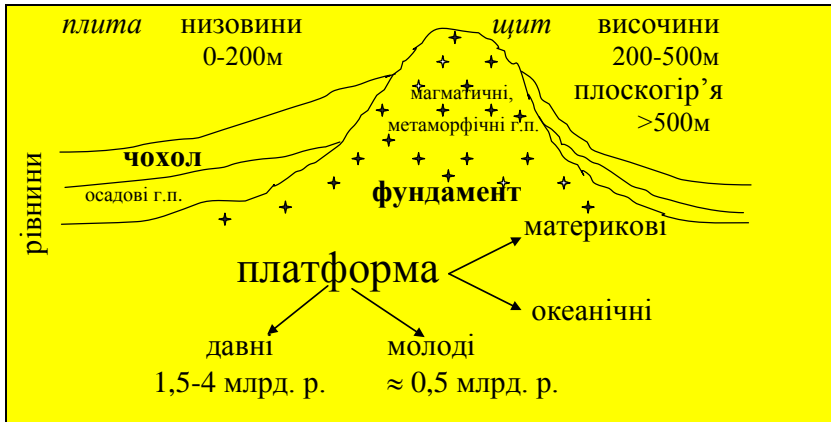


Рис.У.6 Фрейм "Будова платформи" як приклад (за [53])

До *картографічно-геоінформаційних моделей*, як найбільш застосовної для природничо-географічного моделювання групи графічно-знакових моделей, належать такі *типи моделей*, як (див. рис.У.4):

1) *картографічні моделі*, які містять такі їхні види, як географічні карти, серед них картограми, топоплани, картографічні перетинно-секційні моделі (поперечні профілі, вертикальні розрізи й блок-діаграми) та комбіновані картографічні моделі;

2) *геоінформаційні моделі* як комплекс різноманітних растрових і/або векторних багатощарих моделей, які створюються за допомогою комп'ютеризованих просторово-аналітичних програмно-спеціалізованих засобів, передусім ГІС-інструментарію (див. [46, 48, 53] і далі).

Квінтесенцією *картографічних моделей* є, зрозуміло, такий вид цих моделей, як *географічні карти*, які посідають провідне й домінуюче місце у природничій географії. Ці карти можна систематизувати за багатьма їхніми принциповими ознаками, наприклад за змістом, зокрема як загальногеографічні й тематичні (приклади на рис.У.7-У.8), за аудиторним призначенням, за масштабом тощо (див. детальніше наші праці [41, 46, 48]).

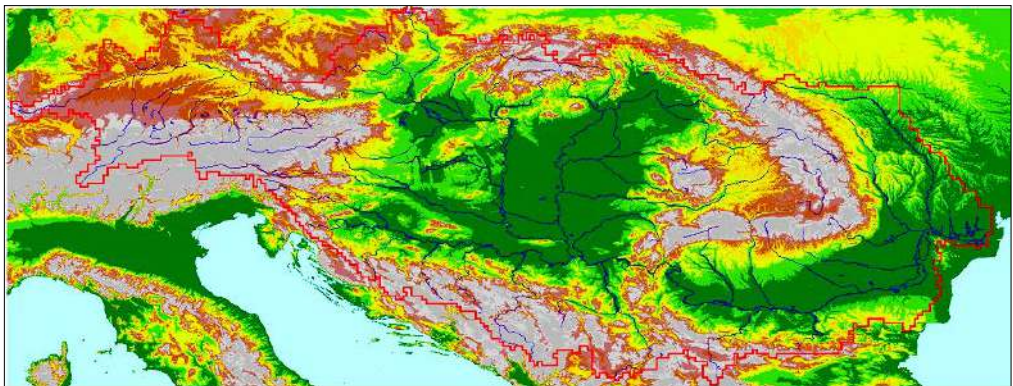


Рис.У.7 – Фрагмент загальногеографічної карти басейну річки Дунай (за [48])

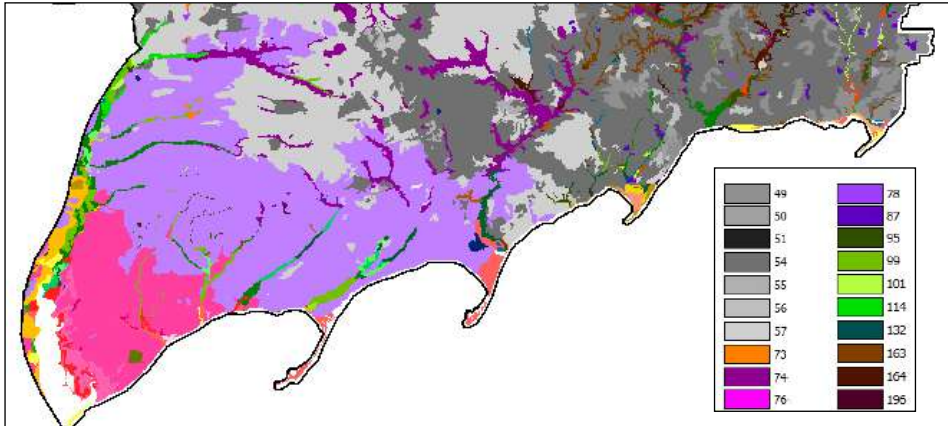


Рис.У.8 – Фрагмент тематичної карти ґрунтів Північного Приазов'я (за [57])

На відміну від карт, **топоплани** (топографічні плани) є вельми великомасштабними моделями, зазвичай більшими за 1 : 10 000. Вони використовують лише власні прямокутні координати й не базуються на певній картографічній проєкції чи визначеній системі координат. Ці моделі відзначаються також нескладною легендою та й загалом неускладненою компоновкою.

Картографічні перетинно-секційні моделі є наступним видом моделей, які безпосередньо поєднано з географічними та/або прямокутними координатами визначених географічних карт чи топопланів, зважаючи на особливості математичної основи цих карт і планів, зокрема наявність певних викривлень на картах тощо. Вони об'єднують такі **підвиди** моделей, як картографічні поперечні профілі, картографічні вертикальні розрізи й картографічні блок-діаграми.

Найбільш характерними прикладами **комбінованих картографічних моделей**, як ще одного виду, згідно з назвою цього виду є доповнення основних карт тематичними чи допоміжними "картами-врізаннями", зокрема у вигляді картограм, комбінація карт чи топопланів з картографічними перетинно-секційними моделями тощо.

Геоінформаційні моделі можна розділити на такі їхні **види**, як:

1) **загальні**;

2) **спеціальні** з такими *підвидами*, як моделі: рендерингу; "драпування"; кінематично-анімаційної або динамічної інтерактивної візуалізації тривимірних зображень; маршрутно-оптимізаційні; дослідницькі; тренінгові; мультимедійних засобів накопичення просторових даних, а також інші спеціальні;

3) **комбіновані**.

За **загальні геоінформаційні моделі** правлять одиничні або поєднані й подані в цифровому вигляді картографічні моделі всіх видів і комбіновані графічно-знакові географічні моделі певних видів (картосхеми, картодіаграми тощо, див. далі), створені для всіх типів просторових об'єктів чи їхніх сполучень (приклад на рис.У.9).

Першим з підвидів **спеціальних геоінформаційних моделей** є *моделі рендерингу* – комплексної побудови тривимірних зображень. Серед них у сфері природничої географії домінує такий різновид, як *візуальні цифрові моделі рельєфу* (ЦМР, приклад на рис.У.10).

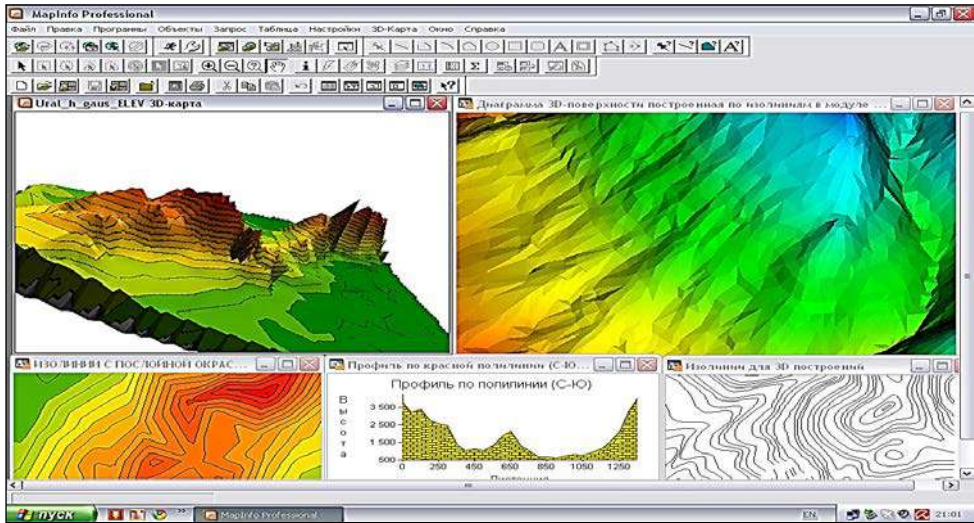


Рис.У.9 Загальні та спеціальні плоскі й тривимірні геоінформаційні моделі топографічної поверхні з горизонталями та її поперечного профілю, побудовані засобами ГІС-інструментарію *MapInfo Professional*

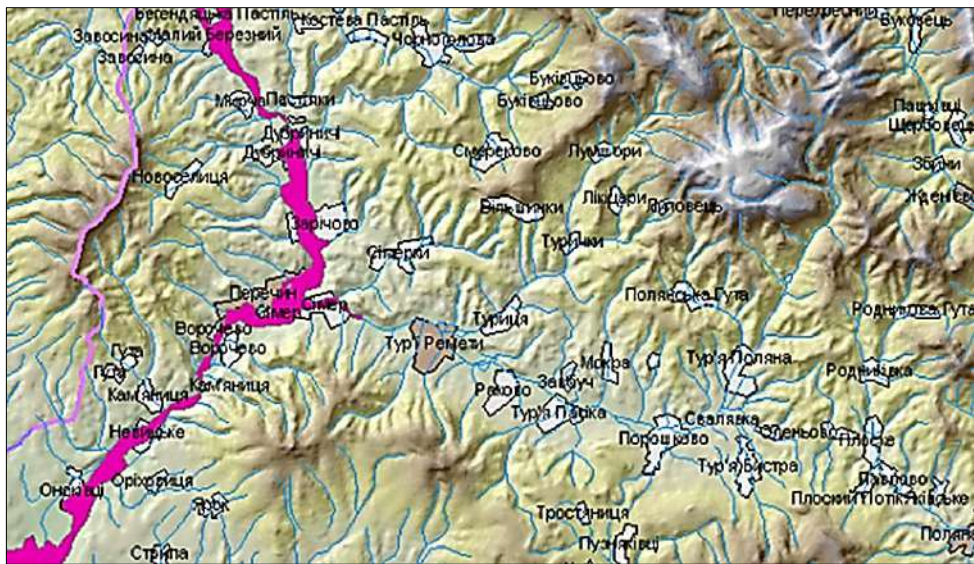


Рис.У.10 Візуальна ЦМР (за [48])

Примітка. Цифрова модель рельєфу (інколи висот) (ЦМР, англ. *Digital Elevation Model, DEM*, син. *Digital Terrain Model, DTM* – цифрова модель місцевості) – цифрове відображення топографічної поверхні, яке здійснюється, насамперед, за допомогою:

- 1) растрової моделі рельєфу у вигляді набору висотних відміток поверхні в точках регулярної мережі за *DEM* як стандартом Геологічної зйомки США;
- 2) векторної моделі *TIN* – нерегулярної триангуляційної мережі (англ. *triangulated irregular network*), яка початково використовує зазначений набір у точках нерегулярної мережі.

За наступний, поєднаний з попереднім, підвид спеціальних геоінформаційних моделей правлять т.зв. моделі "драпування" – накладання (проектування) на тривимірне зображення, зазвичай ЦМР, плоских цифрових шарів. Ними можуть бути векторні й растрові тематичні географічні карти тощо, а у результаті такого накладання отримується оптимальне за унаочнюванням тривимірне подавання таких карт (приклад на рис.У.11).

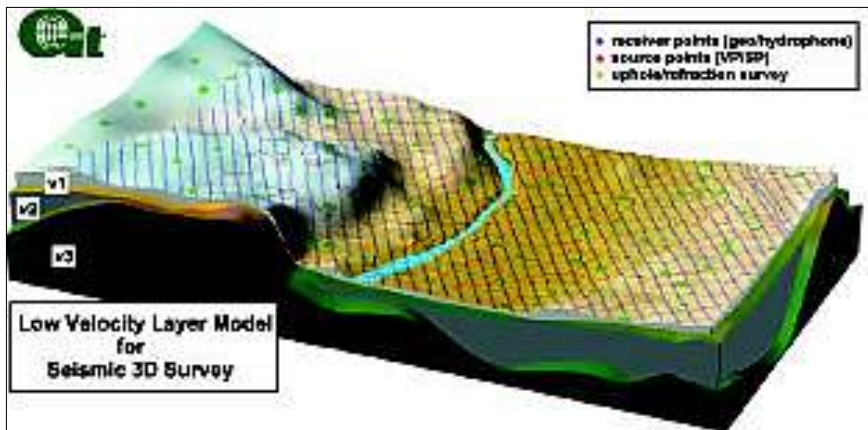


Рис.У.11 Модель "драпування" тривимірної поверхні рельєфу тематичними плоскими цифровими шарами, побудована засобами пакета програмного забезпечення *Golden Software Surfer* (за [123, 48])

Моделі кінематично-анімаційної або динамічної інтерактивної візуалізації тривимірних зображень як підвид спеціальних геоінформаційних моделей зазвичай теж будуються на основі ЦМР. Утім вони імітують пересування "глядачів" (дослідників) певною географічною місцевістю, що вивчається, з можливістю зупинок у потрібних місцях такої віртуальної подорожі. Остання досить часто імітується з висоти пташиного польоту або борту літального апарата у т.зв. інтерактивних "моделях обльоту", зокрема і з відтворенням погодних умов тощо для посилення ефекту присутності (приклад на рис.У.12).

Наступний підвид моделей, які розглядаються, кваліфікується як *маршрутно-оптимізаційні моделі*. Вони загалом вирішують т.зв. геоінформаційну задачу з маршрутизації. Ці моделі можуть бути досить корисними у прикладній природничій географії. Вони потрібні, зокрема, під час визначення оптимального за дослідницькими цілями і іншими чинниками маршруту й регламенту пересування реальними географічними об'єктами вивчення, зосібна автотранспортом (приклад на рис.У.13), туристськими або екологічними стежками тощо, як і власне для вибору таких маршрутів і стежок. Вельми доцільним в процесі роботи з маршрутно-оптимізаційними геоінформаційними моделями безпосередньо на місцевості буде й одночасне застосування мобільних комп'ютерних і позиційно-навігаційних засобів дослідження. Це, до того ж, може сприяти безпосередньому використанню *in situ* наявної й накопиченню нової цифрової географічної і супутньої до неї дослідницької інформації (приклад на рис.У.14).

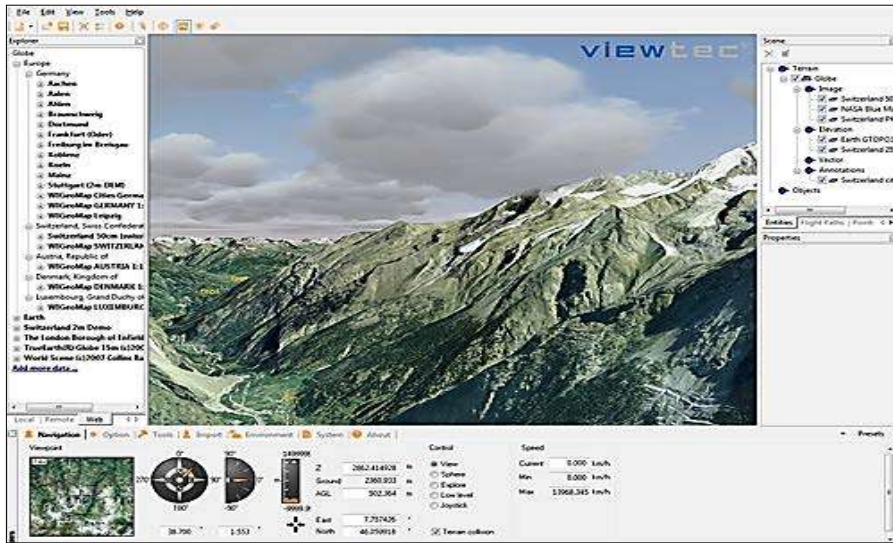


Рис.У.12 Імітація погодних умов у моделі динамічної інтерактивної тривимірної візуалізації поверхні, створеної засобами пакета програмного забезпечення *TerrainView-Globe* (за [124, 48])

Примітки.

1. **Маршрутизація** – геоінформаційна модельна задача відшукування найбільш ефективного маршруту між вузлами мережі як маршруту найменшої вартості з урахуванням додатково заданих чинників.

2. **Маршрут найменшої вартості** – найменша за вартістю, тобто витратами ресурсів, зусиль тощо, відстань між двома точками цифрового шару.

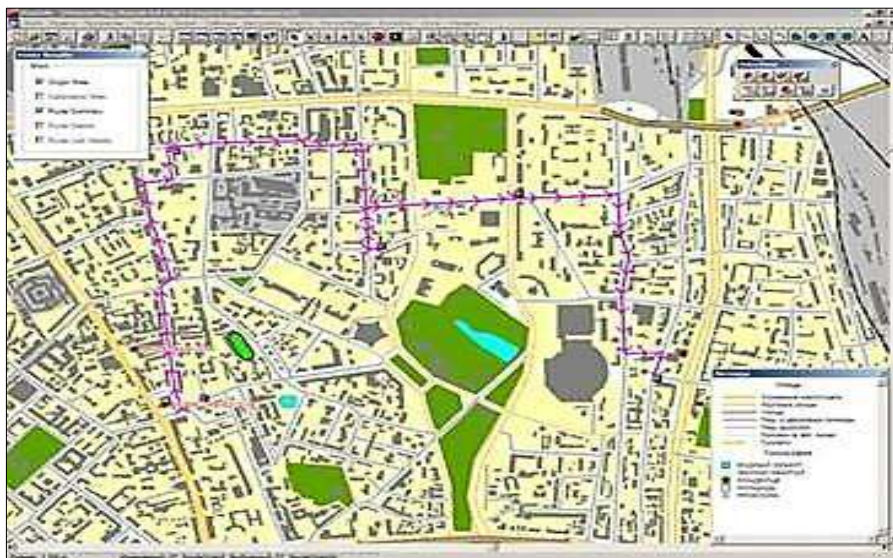


Рис.У.13 Визначення найбільш ефективного маршруту за маршрутно-оптимізаційною моделлю, створеною засобами ГІС-інструментарію *MapInfo Professional* (за [124, 48])



Рис.У.14 Використання й отримання на місцевості просторових даних із застосуванням мобільного комп'ютера з приєднаним GPS-приймачем і засобів пакета програмного забезпечення *Encom Discover Mobile* ГІС-інструментарію *MapInfo Professional* (за [124, 48])

Застосування сучасних дослідницьких геоінформаційних моделей забезпечує відстеження, вивчення й дослідження вельми специфічних рис плину процесів і явищ, які визначають стан природничо-географічних систем (приклад на рис.У.15) або безпосередніх чинників погіршення цього стану (приклад на рис.У.16) тощо.

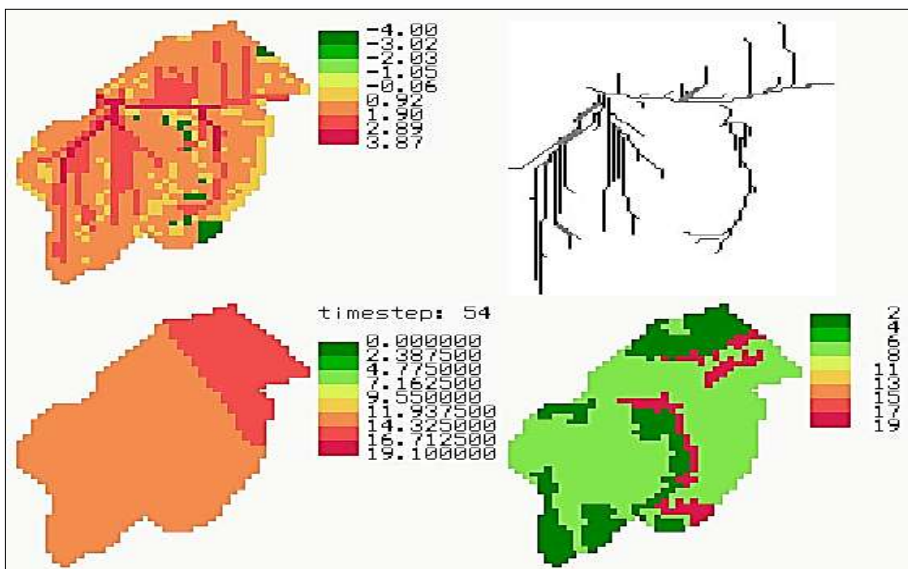


Рис.У.15 Дослідницька геоінформаційна модель характеристик місцевого стоку, створена засобами пакета програмного забезпечення *PCRaster* (за [125, 48])

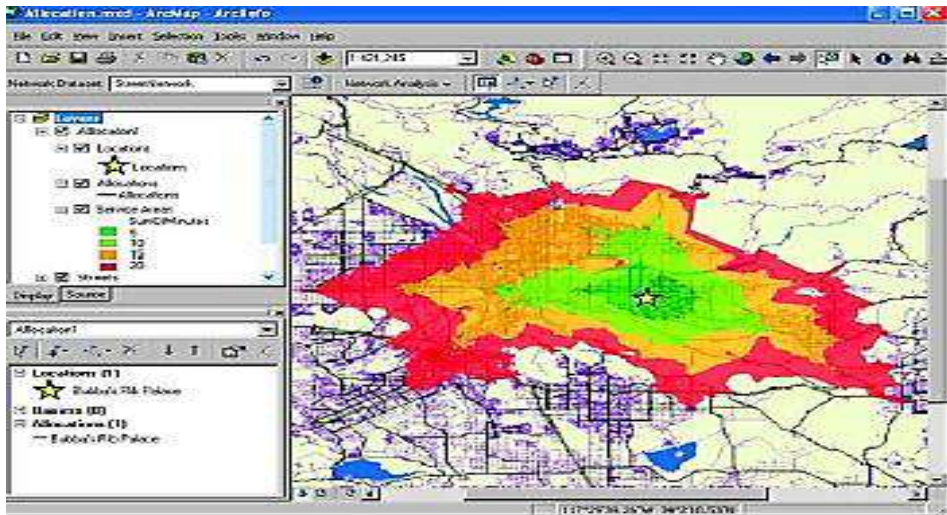


Рис.У.16 Дослідницька геоінформаційна модель зон впливу точкового джерела забруднення довкілля, побудована засобами програмних пакетів *ArcGIS Desktop* ГІС-інструментарію *ArcGIS* компанії *ESRI Ltd.* (за [126, 48])

За характерний приклад *тренінгових моделей*, як підвиду спеціальних геоінформаційних, править растрова модель даних *MAP*. Її успішно використовують у всьому світі ([46, 48]) як засіб навчання у геоінформатиці. Водночас ця модель є вельми застосовною для комп'ютеризованої побудови (організації) просторових баз даних (приклад на рис.У.17).

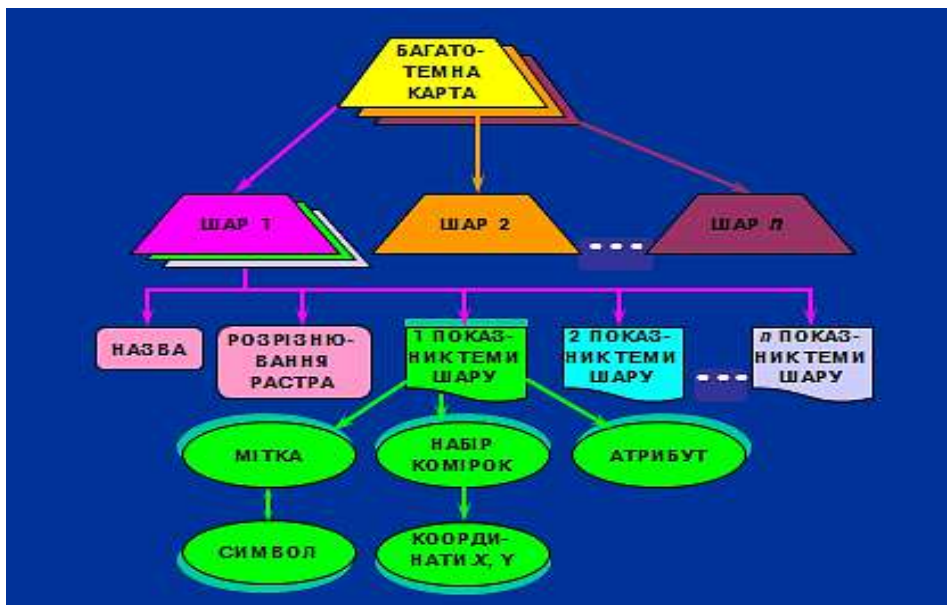


Рис.У.17 Схема тренінгової геоінформаційної моделі даних *MAP*

Серед таких спеціальних геоінформаційних навчальних моделей, як *моделі мультимедійних засобів накопичення просторових даних*, домінують географічні *електронні карти*. Вони правлять за складники відповідних електронних атласів, бібліотек і баз даних тощо (приклад на рис.У.18).

Примітки.

1. **Електронна карта** – цифрова карта і/або набір тематичних цифрових шарів даних і програмні засоби їхньої візуалізації з розміщенням такої карти (шарів) і засобів на певному носії-накопичувачу інформації, зокрема й накопичувачах інформаційних мереж.

2. **Електронний атлас** – мультимедійний інтегрований інформаційний засіб, який розміщено на носії-накопичувачу інформації, зосібна й інформаційно-мережному. Він містить систематизовану збірку електронних карт, створених за єдиною програмою й обраною тематичною спрямованістю, а також цифрову інформацію інших типів і необхідні засоби візуалізації атласу.

3. **Візуалізація (графічно-знакове відтворення, відображення)** у геоінформаційній термінології – проектування й генерація тексту, зображень, зокрема геообразень, картографічних зображень і іншої графіки найчастіше на екрані монітора на основі певних вихідних цифрових даних і правил і алгоритмів їхнього перетворення.

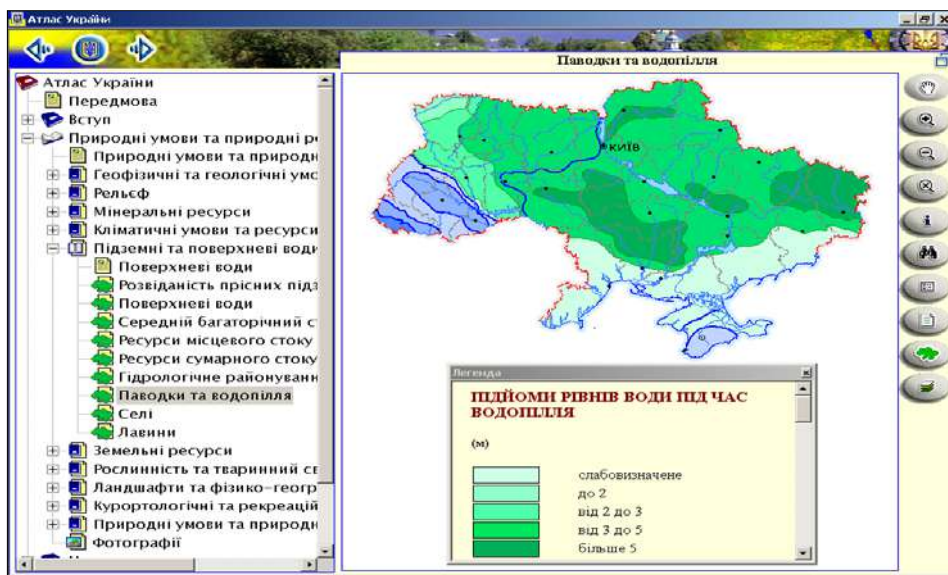


Рис.У.18 Зміст (меню) електронних карт атласу на прикладі електронного Атласу України ([2])

До *інших спеціальних* геоінформаційних моделей можна віднести не розглянуті вище моделі, зокрема:

– *моделі накладання цифрових шарів* (приклад на рис.У.19);

– *моделі інформаційно-мережного перегляду просторових даних*. Вони забезпечуються ресурсами Інтернету, насамперед таким її картографічно-геоінформаційним сервісом з тривимірної візуалізації земної поверхні, як проект "Google Earth" (web-сайт [127]) (приклад на рис.У.20);

– *інші геоінформаційні моделі* (див. наші праці [46, 48]).

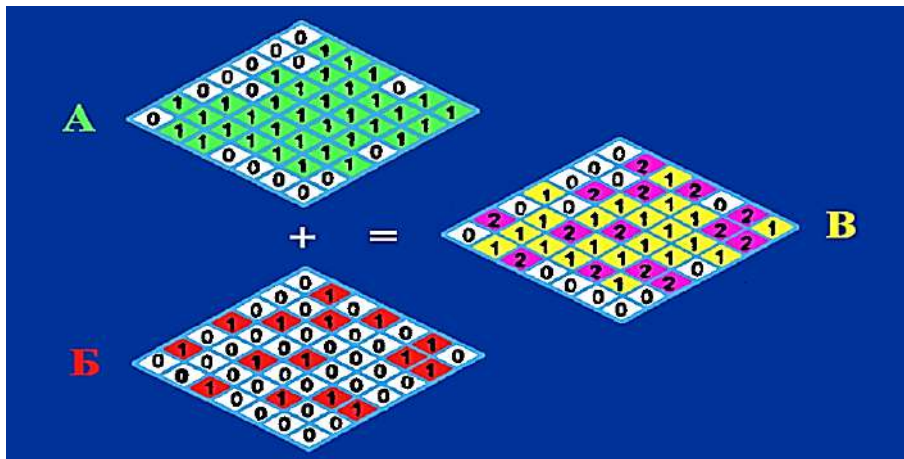


Рис.У.19 Модель растрового накладання шарів типу "точка в полігоні" (А: 0 = відсутність трави, 1 = трава; Б: 0 = відсутність бур'яну, 1 = бур'ян; В: 0 = відсутність трави або бур'яну, 1 = трава або бур'ян, 2 = трава та бур'ян) (за [11], [48])

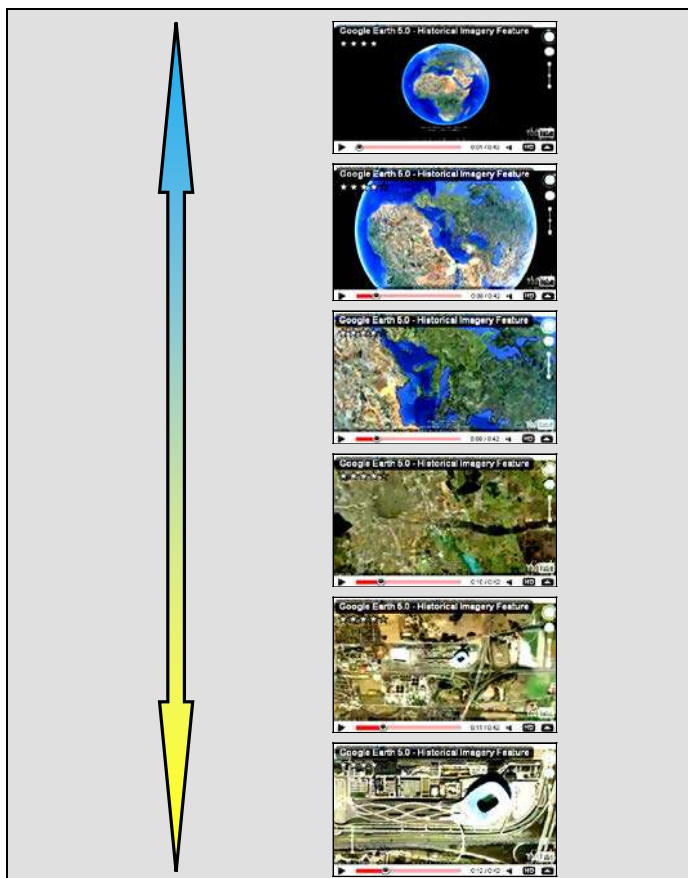
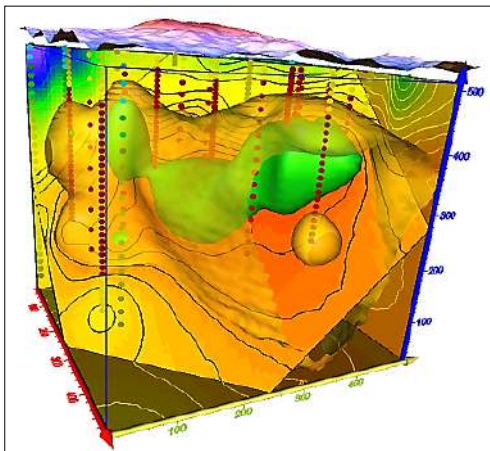


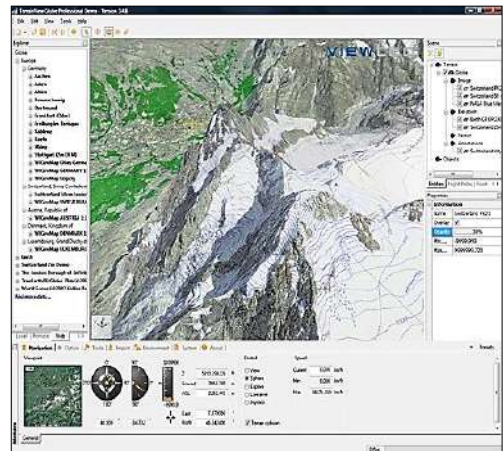
Рис.У.20 Приклад перегляду просторових даних у "Google Earth" (за [127, 48])

Комбіновані геоінформаційні моделі, як третій вид поєднують корисні властивості загальних і спеціальних геоінформаційних моделей. Найбільш цікавими прикладами такого поєднання є, зокрема, модельне комбінування:

- загальних цифрових карт точок і ізоліній та спеціальних візуальних ЦМР у вигляді цифрової блок-діаграми із заданим кутом огляду (рис.У.21 а);
- загальною цифровою карти топографічної поверхні, поданої в горизонталях, з візуальною ЦМР (рис.У.21 б)).



а)



б)

Рис.4.46 – Комбінована модель: а) у вигляді блок-діаграми із заданим кутом огляду, яка поєднує просторові дані карт точок і ізоліній з візуальною ЦМР і побудована засобами програмного пакета *Golden Software Voxler* (за [123, 48]); б) відтворення горизонталей на візуальній ЦМР, яку створено засобами програмного пакета *TerrainView-Globe* (за [124, 48])

До *комбінованих графічно-знакових моделей* саме як четвертої групи останніх (див. рис.У.4) належать різноманітні "міжгрупові" поєднання відповідних видів трьох вже розглянутих груп. Зокрема, за такі моделі правлять картосхеми, картодіаграми, картографічні ескізи, а також інші доцільні комбінації моделей, наприклад, графів з картами (див. р.6), карт з графіками чи діаграмами, карт з таблицями тощо.

Окремо слід зауважити, що, *по-перше*, моделі загалом, а точніше адекватні методи моделювання можна принципово розділити на *симплексні* або *сингулярні*, тобто окремі, одиночні на відміну від комплексних, і *комплексні*. Серед *найбільш застосованих симплексних методів природничо-географічного моделювання* слід відзначити такі.

1. **Група методів кореляційного та регресійного аналізів**, а також **спектрального аналізу**, основи яких досить повно викладено в наших підручниках з ймовірнісних математичних методів [39, 47], змістово поєднаних з цим підручником.

2. **Метод групового урахування аргументів (МГУА)**, який розроблено на основі подальшого розвитку методів регресійного аналізу. Метод реалізує задачі синтезу оптимальних моделей високої складності, яка є адекватною складності досліджуваного природничо-географічного об'єкта або процесу (див. [40]).

3. Група методів прогнозної екстраполяції реалізації (реалізацій) випадкового процесу певного геопараметра. Зміст застосування кожного з цих методів зводиться до моделювання розвитку такого процесу у майбутньому за його значеннями у минулому, базуючись на гіпотезі про стійкість рис процесу на період прогнозу. Завдяки такій гіпотезі модель, найбільш вдала для апроксимації вже наявних значень реалізації випадкового процесу або значень, усереднених для заданих перетинів у випадку оперування декількома реалізаціями, буде найкращою і для прогнозу. За таких умов вихідні для екстраполяції значення реалізації досліджуваного процесу може бути перетворено шляхом згладжування (вирівнювання) часового ряду різними способами. Серед методів прогнозної екстраполяції, які власне і призначено для підбору та оцінки параметрів апроксимувальної і, одночасно, прогнозної залежності (тренду), найбільш розповсюдженими є:

- 1) метод найменших квадратів і його модифікації (розглянутий у нашій праці [47]);
- 2) метод експоненційного згладжування;
- 3) метод ймовірнісного моделювання (прогнозного моделювання ймовірностей);
- 4) метод адаптивного згладжування.

Три останніх методи достатньо повно викладено у [34] та інших джерелах.

4. Група методів факторного аналізу різних модифікацій, а також змістово сполучна з нею **група методів, заснована на теорії розпізнавання образів**, зокрема методи **кластерного аналізу**. Факторний аналіз спрямовано на дослідження зв'язків між змінними об'єкта чи процесу моделювання та вибір оптимальної і репрезентативної кількості таких змінних. Натомість кластерний аналіз орієнтовано на класифікацію і виявлення однорідних змінних в їхніх підмножинах (кластерах). У географічних і поєднаних з ними дисциплінах досить часто факторний і кластерний аналізи об'єднуються в одну принципову **групу методів багатомірного статистичного аналізу**. Складники такої групи на прикладі гідрологічних процесів досить повно розглянуто в [59].

5. Матричний метод моделювання та аналізу. Інструментарій цього методу призначено для:

- 1) ідентифікації факторів досліджуваного природничо-географічного процесу або явища;
- 2) вирізнення однорідних комплексів факторів за характером їхнього впливу на процес;
- 3) формування матриць впливу комплексів факторів один на одного та на процес досліджень і певні операції з такими матрицями з метою власне моделювання заданих показників процесу (див. [34] тощо).

6. Метод графів, які вже розглядалися як структурно-інформаційні схематичні графічно-знакові моделі (див. попередній текст). Цей метод стосовно природничих геосистем досить докладно викладено у [40].

Щойно перелічені симплексні методи 1-4 базуються, зазвичай, на точно формалізованих моделях, як і метод імітаційного моделювання (див. п.3.2). Методи ж 5-6 ґрунтуються на слабо формалізованих моделях. До останніх методів також належать вже згадані й досить перспективні для природничої географії методи моделювання, які засновано на теорії нечітких множин. Їхнє застосування для природничо-географічних систем наразі знаходиться в стадії розвитку.

По-друге, можна вирізнити декілька послідовних **етапів розробки** визначеної **комплексної природничо-географічної моделі**, враховуючи можливість часткової перестановки цих етапів і із забезпеченням кожного з них вже розглянутими адекватними симплексними моделями. Такими етапами є:

- 1) **словесний (вербальний) опис** моделі;
- 2) **графічне або картографічно-геоінформаційне подавання** моделі;
- 3) **опис** моделі за допомогою **блок-схем або матриць рішень** без послідовності останніх;
- 4) **математичний опис**, який виконується у вигляді формул і математичних операцій над змінними;
- 5) **алгоритмічний опис** моделі, який вже, зазвичай, враховує послідовність рішень і подається у вигляді **алгоритмічних схем**. Алгоритмічний опис моделі або процесу моделювання найчастіше застосовується:
 - а) для упорядкування логіки математичного опису;
 - б) для подання моделі об'єкта, яка не має аналітичного опису;
 - в) у випадку, коли аналітичний опис моделі є вельми складним;
 - г) для підготовки опису моделі з метою програмування;
- 5) **програмний опис** моделі, призначений для безпосереднього застосування комп'ютеризованих технологій із заданою алгоритмічною мовою тощо.

Примітка. Згідно з міжнародним стандартом ISO 19109 ([114]) і іншими відповідними документами наразі застосовними для роботи з географічно координованими (просторовими) даними передусім через інформаційні мережі є:

- 1) **мова UML** (абр. від англ. *Unified Modeling Language* – *Універсальна Моделювальна Мова*) – мова моделювання, яка використовується для розробки комп'ютеризованих моделей даних;
- 2) **мова GML** (абр. від англ. *Geography Markup Language* – *Географічна Мова Розмітки*) – програмувальна мова розмітки, яка застосовує XML-кодування для передавання та зберігання просторових даних.

Слід також мати на увазі, що, по-перше, всі зазначені вище типи і види моделей тощо, як і відповідні їм методи моделювання наведено для загального розуміння процесу природничо-географічного моделювання. Вони не претендують на універсальність і їх може бути обґрунтовано і з дещо інших позицій чи за іншими ознаками та принципами.

По-друге, **найбільша увагу** в підручнику приділено **логіко-математичним і математично-геоінформаційним моделям**. Вони є достатньо репрезентативними і змістовими для вирішення актуальних задач адекватного опису природничих гео-систем і оцінювання та прогнозування їхнього стану з метою оптимізації цього стану.

По-третє, слід зважати на можливість різноманітного поєднання викладених ознак і принципів систематизації моделей. Це є однією з головних передумов розвитку **комплексних методів природничо-географічного моделювання**, розгляду яких насамперед і присвячено цей підручник.

До того ж у цілому проводячи паралелі між двома дисциплінами – з ймовірнісних математичних методів у географії (див. наші праці [39, 47]) і з природничо-географічного моделювання – і зважаючи на причини, які викликають об'єктивну

зумовленість застосування саме ймовірнісних методів у природничій географії, перелічені в [39, 47], слід зазначити таке. **Природничо-географічне моделювання точно формалізованими методами**, яким у цьому підручнику надано перевагу, можна в загальних рисах розділити на **два принципові напрями**:

1) моделювання загального змісту та принципової структури обмінно-потоків процесів у природничих геосистемах, а саме обміну енергією, речовиною тощо;

2) моделювання просторово-часової динаміки чинників і параметрів стану природничих геосистем різного рангу та типу або певних складників цих геосистем. Важливим постулатом при цьому є те, що за умов неможливості виявлення всіх чинників просторово-часових змін геопараметрів, тобто чинників т.зв. *параметричних збурень* природничих геосистем як динамічних систем, існують способи моделювання, які спираються лише на об'єктивно чинні закономірності, властиві безпосередньо цим параметричним збуренням.

Перший напрям моделювання забезпечується, зазвичай, функціональними (детермінованими) прийомами загальної та вищої математики, насамперед за допомогою використання диференціальних рівнянь тощо. Другий же напрям підтримується передусім згаданими вище ймовірнісними методами математичного аналізу.

Стисло викладемо також **загальні вимоги до природничо-географічних моделей**. Отже така **модель повинна**:

1) задовольняти умовам повноти, адаптивності та еволюційності. Модель має забезпечувати можливість уведення в неї достатньо широкого діапазону змін і доповнень з метою послідовного наближення до моделі, що задовольняє її розробника за точністю відтворення об'єкта моделювання;

2) бути достатньо абстрактною, щоб сприяти варіюванню великою кількістю змінних, але не настільки абстрактною, щоб виникали сумніви у надійності і практичній користі отриманих за моделлю результатів. Ця вимога не стосується певних простих моделей;

3) задовольняти умови, які обмежують час вирішення обраної для моделювання задачі;

4) орієнтуватися на реалізацію за допомогою наявних технічно-технологічних, насамперед комп'ютеризовано-мережних засобів;

5) забезпечувати отримання корисної інформації про об'єкт моделювання в аспекті поставленої мети його дослідження;

6) будуватися з використанням усталеної термінології та/або достатньо обґрунтованої нової термінології з розкриттям зв'язку останньої з усталеною;

7) передбачати можливість перевірки справедливості моделі та відповідності її оригіналу, зокрема згідно з обґрунтованими дослідником принципами моделювання.

Структурно підручник з природничо-географічного моделювання складається з **двох частин**.

У першій частині викладаються розроблені авторами цього підручника теоретично-методичні підвалини природничо-географічного моделювання. Зокрема, викладено засновки такого моделювання, підходи до модельно-параметричної формалізації природничих геосистем, дослідження їхньої стохастичної структури та стійкості й надійності. Також висвітлено принципи геоecологічного модельного районування та оптимізаційно-діагностичного моделювання геосистем.

У другій частині приділено увагу прикладам тематичного моделювання різних природничих геосистем. Зосібна, тут розглядаються алгоритми ландшафтно-гідрорадіоекологічного модельного районування територій і способи та приклади результатів моделювання басейнових геосистем, екологічних мереж і берегових геотонів, а також деякі інші прикладні модельні рішення.

Контрольні запитання й завдання до введення в дисципліну:

1. Що править за об'єкт дослідження в процесі природничо-географічного моделювання?
2. Що таке природничо-географічна модель?
3. Як кваліфікується природничо-географічне моделювання?
4. Чим відрізняється природнича геосистема від геосистеми загалом?
5. Прокоментуйте систематизацію природничо-географічних моделей за об'єктом моделювання (дослідження).
6. Чим відрізняються оцінювальні моделі від оптимізаційних?
7. Проілюструйте на прикладах сутність ідеалізованих моделей.
8. Навіщо застосовують алгоритмічні моделі?
9. Які моделі є найбільш перспективними й обґрунтованими для геопараметрів за повною їхньою структурою як випадкових величин?
10. Що таке портретні моделі?
11. Чим відрізняється динамічний режим застосування моделей від кінематично-анімаційного?
12. Що таке граф? Наведіть його приклади.
13. Побудуйте фрейм для обраної Вами географічної інформації.
14. Проілюструйте на прикладах картографічні перетинно-секційні моделі.
15. Що таке цифрова модель рельєфу?
16. Прокоментуйте створення моделей "дранування".
17. Для чого застосовуються моделі кінематично-анімаційної або динамічної інтерактивної візуалізації тривимірних зображень і якими є їхні переваги?
18. Поясніть зміст маршруту найменшої вартості та наведіть його приклади.
19. Які Ви знаєте тренінгові геоінформаційні моделі?
20. Наведіть приклади моделі інформаційно-мережного перегляду просторових даних.
21. Якими можуть бути комбіновані геоінформаційні моделі?
22. До якої групи моделей відносяться картосхеми й картодіаграми?
23. На чому базуються методи прогнозної екстраполяції?
24. Чим відрізняється факторний аналіз від кластерного? Наведіть приклади.
25. Навіщо застосовується алгоритмічний опис моделі або процесу моделювання?
26. Що таке мова GML?
27. Прокоментуйте з прикладами загальні вимоги до природничо-географічних моделей.

Частина 1. ТЕОРЕТИЧНО-МЕТОДИЧНІ ПІДВАЛИНИ МОДЕЛЮВАННЯ

1 ЗАСНОВКИ МОДЕЛЮВАННЯ

Природничо-географічне моделювання як моделювання структури, динаміки та стану природничих геосистем здійснюється за закономірностями власної динаміки цих геосистем. За кінцеву мету при цьому править стабілізація структури та стану геосистем шляхом геоecологічно-економічної оптимізації користування геосистемними ресурсами та інших заходів з геоecологічної безпеки на основі сучасних моніторингових систем і мереж та геоінформаційних технологій.

Для і під час моделювання використовуються, передусім, такі методологічні принципи та підходи.

Природничо-географічна система або *природнича геосистема* певного ієрархічного рангу (надалі, інколи просто "*геосистема*", абрєвіатурно "*ГЕО*") розглядається як складна вкєровна природно-натурально-антропогенна система з експлуатацією її ресурсів, яка містить чотири генезисно-еволуційні структурно-функціональні підсистеми (*ГЕП*). А саме, така геосистема подається через поєднання та взаємодію її (квазі)природної (*КПГЕП*), натурально-антропогенної (*НАГЕО*) та антропогенної підсистем (*АГЕП*), а також підсистеми геосистемних каркасних меж (*КМГЕО*), як зовнішньоструктурних, тобто всієї *ГЕО*, так і внутрішньоструктурних різного гатунку (див. наші праці [49, 52]). Це можна записати, поперше, як

$$\{ГЕО\} \in \{ГЕП\} \in \{КПГЕП; НАГЕП; АГЕП; КМГЕО\} . \quad (1.1)$$

По-друге, праву частину моделі (1.1) для *структурно-функціональної формалізації природничої геосистеми* можна також інтерпретувати як перетин (квазі)природної підсистеми комбінацією натурально-антропогенної та антропогенної підсистем і об'єднання всіх трьох таких підсистем з підсистемою каркасних меж геосистеми. А отже, відповідно застосовуючи оператори кон'юнкції та диз'юнкції, можна записати, що

$$\{ГЕО\} \in \{ГЕП\} \in \{((КПГЕП) \cap (НАГЕП \cup АГЕП)) \cup КМГЕО\} . \quad (1.2)$$

Примітка. Для певних різновидів каркасних меж, насамперед антропогенних, а також т.зв. структуро-нерозподільних тощо, не виключеною є доцільність зміни останнього оператора формули (1.2) на оператор кон'юнкції (див., наприклад, нашу працю [49]).

По-третє, динаміку складників моделі (1.2) можна формалізаційно подати як

$$\begin{aligned} D \{ГЕО\} = D \{ГЕП\} = & \{((КПГЕП(\omega_{КПГЕП}, R_{КПГЕП}, t)) \cap \\ & \cap (НАГЕП(\omega_{НАГЕП}, R_{НАГЕП}, t) \cup АГЕП(R_{АГЕП}, t))) \cup \\ & \cup КМГЕО((\omega_{КМГЕО}, R_{КМГЕО}, t))\} , \end{aligned} \quad (1.3)$$

де *КПГЕП*($\omega_{КПГЕП}, R_{КПГЕП}, t$) і *НАГЕП*($\omega_{НАГЕП}, R_{НАГЕП}, t$) – набір випадкових полів (квазі)природної та натурально-антропогенної підсистем *ГЕО*; *АГЕП*($R_{АГЕП}, t$) – набір "антропогенно"-детермінованих полів антропогенної підсистеми *ГЕО*;

$KMGEO((\omega_{KMGEO}, R_{KMGEO}, t)$ – набір випадкових і/або "антропогенно"-детермінованих полів підсистеми каркасних меж GEO в залежності від походження / функціонування таких меж; ω у цілому – сукупність елементарних результатів досліду або його серій, а отже ω_{KPGEP} , ω_{NAGEP} і ω_{KMGEO} – числа фіксацій випадкових полів за їхніми значеннями та/або координатами, відповідно, (квазі)природної та натурально-антропогенної підсистем і підсистеми (квазі)природних і натурально-антропогенних каркасних меж GEO ; R у цілому – загальна просторова область (визначення) всіх полів моделі (1.3), тобто загальні межі геосистеми при $R \in (x, y)$ у прямокутній системі координат зазвичай обраного ГІС-інструментарію, а отже ця область містить власні просторові області (різнорангові субобласті) полів геосистем-складників, тобто, з огляду на модель (1.3), $R \in \{((R_{KPGEP} \cap (R_{NAGEP} \cup R_{AGEP})) \cup R_{KMGEO})\}$; t – параметр неперервного часу.

Примітка. Специфіку задавання "антропогенно"-детермінованих полів моделі (1.3), зокрема умовність ад'єктива "детерміновані" та оперування т.зв. позиційно квазінезмінними полями, розглянуто більш докладно в наших монографіях [36-39, 45, 47, 49].

"Базова" під час структурно-функціональної формалізації (квазі)природна підсистема GEO ототожнюється з відповідними геосистемами, які тією, чи іншою мірою віддзеркалюють референційний (реконструйований) для моделювання природний стан GEO , зосібна й гіпотетично-інваріантний тощо (див. нашу монографію [58]). Такі природні, а найчастіше, з огляду на "уявність" зазначених референційних систем, квазіприродні геосистеми може бути формалізаційно задано як різнорівневі геосистеми, по-перше, ландшафтних територіальних структур ($ЛТС$). Поміж останніх – генетико-морфологічна ($ГМЛТС$), позиційно-динамічна ($ПДЛТС$), басейнова ($БЛТС$) і геотонна ($ГТЛТС$) структура, а також біоландшафтна територіальна структура ($БЛЛТС$) (див. р.6) тощо. По-друге, (квазі)природні геосистеми можуть задаватися певним чином поєднаними із щойно зазначеними $ЛТС$ таксонами фізико-географічного ($ФГТ$), басейнового територіального ($БТР$) і морфологічно-позиційного ($БМТР$), геоботанічного ($ГБР$), зоогеографічного ($ЗГР$) та ін. районування тощо (приклад на рис.1.1). Спрощений формалізаційний запис таких побудов виглядає як

$$\{KPGEP\} \in \{ГМЛТС \cap ПДЛТС \cap БЛТС \cap ГТЛТС \cap БЛЛТС \cap \PhiГТ \cap БТР \cap БМТР \cap ГБР \cap ЗГР \cap КПН\} . \quad (1.4)$$

де $КПН$ – інші (квазі)природні геосистеми, а також певні комбінації таких геосистем.

Натурально-антропогенну та антропогенну підсистеми GEO формул (1.1)-(1.3) доцільно ототожнювати з відповідними сукупностями певною мірою антропізованих геосистем – від "суто" натуральних до "суто" штучних.

При цьому рівень натуральності геосистем розуміється як міра успадкованої, набутої чи успадковано-набутої здатності реальних геосистем до нештучної самоорганізації та саморегуляції шляхом самовкервного упорядкування речовинно-енергетичних потоків в єдиній системі. За таких умов провідні чинники та параметри натуральних або близьких до них систем можуть бути як схожими, так і геть

відмінними від "попередніх до антропоізації". Утім в усіх випадках ці чинники та параметри повинні визначатися певними нештучними процесами довкілля тощо.

Власне міра антропоізації та рівень натуральності геосистем змістово-функціонально та експертно-параметрично визначається в залежності від міри антропогенного впливу на них (табл.1.1), тобто його змісту, інтенсивності, тривалості тощо. При цьому оперують сьома категоріями, подекуди з поділом для суходільних (теральних) геосистем категорій 4 і 5 на 2 субкатегорії кожна – верхню і нижню для категорії. Це зумовлює і віднесення геосистем до (приклад на рис.1.2):

– натурально-антропогенної підсистеми, яка містить натуральні, майже натуральні та напівнатуральні геосистеми з категоріями міри антропоізації / рівня натуральності 1-3;

– антропогенної підсистеми, яку сформовано відносно далекими й далекими від натуральних, чужими до натуральних і штучними геосистемами з категоріями (субкатегоріями) міри антропоізації / рівня натуральності 4а-7.

Таблиця 1.1 – Міра антропоізації та рівень натуральності геосистем у залежності від міри антропогенного впливу на них (на основі нашої монографії [58], н/к – нижньокатегорійний; в/к – верхньокатегорійний)

Міра антропогенного впливу на геосистеми	Категорійний код і міра антропоізації геосистем	Код і рівень натуральності геосистем	Категорійні діапазони значень і середньокатегорійні значення індексу антропоізації геосистем ($I_{АНТ}$,%) *
майже відсутній вплив	1 – вельми незначна антропоізація	1 – натуральні	(0...15,8]; 7,9
слабкий вплив	2 – незначна антропоізація	2 – майже натуральні	(15,8...28,3]; 22,1
помірний вплив	3 – помірна антропоізація	3 – напівнатуральні	(28,3...39,2]; 33,7
н/к помірно-сильний вплив	4а – н/к помірно-значна антропоізація	4а – н/к відносно далекі від натуральних	(39,2...44,8]; 42,0
в/к помірно-сильний вплив	4б – в/к помірно-значна антропоізація	4б – в/к відносно далекі від натуральних	(44,8...50,4]; 47,6
н/к сильний вплив	5а – н/к значна антропоізація	5а – н/к далекі від натуральних	(50,4...57,1]; 53,8
в/к сильний вплив	5б – в/к значна антропоізація	5б – далекі від натуральних	(57,1...63,7]; 60,4
вельми сильний вплив	6 – вельми значна антропоізація	6 – чужі натуральним	(63,7-79,5]; 71,6
надзвичайно сильний вплив	7 – надмірна антропоізація	7 – штучні	(79,5-100]; 89,8

* задається та/або обчислюється для модельних об'єктів як розрахунковий за табл.1.1-1.3 і ін. або як середньовиважений за формулами (1.7), (1.8) тощо (див. далі)



Рис.1.1 Фізико-географічні зони, краї та області України як геосистеми (квазі)природної підсистеми *GEO* (на основі [58]: I ... XXV – коди фізико-географічних областей; ≡ – межі зон і країв, = – межі країв, — – межі областей)

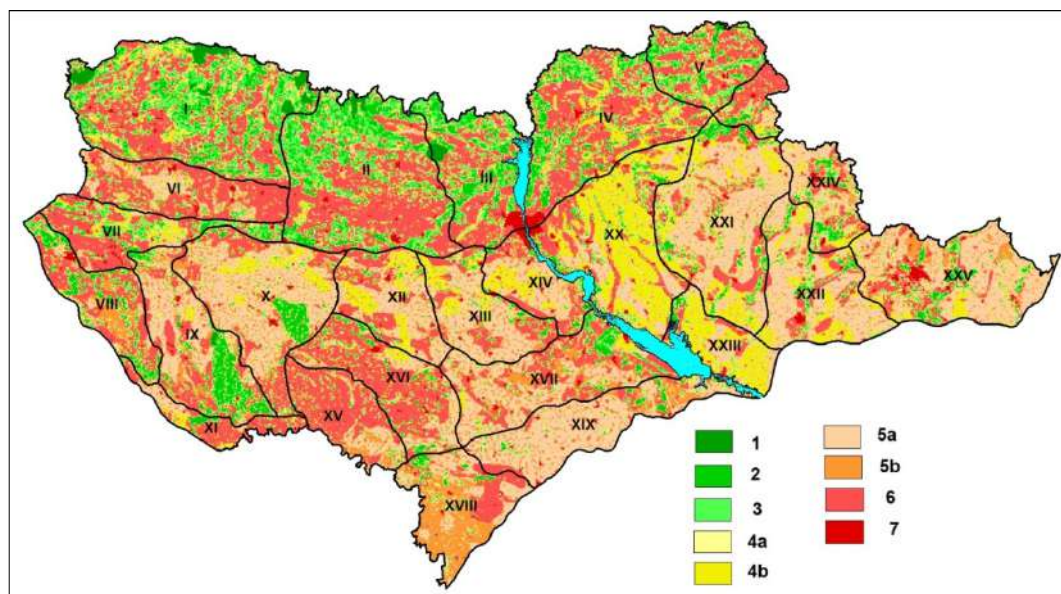


Рис.1.2 Поля геосистем натурально-антропогенної (1-3) та антропогенної (4а-7) підсистем фізико-географічних областей України (див. рис.1.1; 1...7 – коди рівня натуральності геосистем за табл.1.1)

Зазначена вище міра антропогенного впливу для *суходільних (теральних) геосистем* задається через визначальні атрибути тих, які формують геосистеми, різно-типових і різнорівневих систем землекористування та/або наслідків землекористу-

вання (СЗК/НЗ або, скорочено, "систем землекористування" чи "землекористувальних систем"). Останні подаються через типізовані земельні угіддя й покритви з урахуванням цільового призначення земель тощо. А отже, тип, ранг і власне назва СЗК/НЗ визначають і тотожний їм тип, ранг і назву тих, які вони формують, геосистем, які і є складниками натурально-антропогенної та антропогенної підсистем ГЕО за формулами (1.1)-(1.3).

Безпосередньо використовуються різні варіанти т.зв. **робочої шкали міри антропізації (рівня натуральності) суходільних (теральних) геосистем** (див. детальніше [58]). Таку шкалу для рівнинних геосистем України, розроблену на основі [58], наведено в табл.2.2.

Таблиця 1.2 – Робоча шкала міри антропізації (рівня натуральності) суходільних (теральних) геосистем, спричиненої різними системами землекористування та/або його наслідків (СЗК/НЗ) ($PK_{АНТ}$ – розрахункові категорії міри антропізації геосистем за табл.1.1; $I_{АНТ,Т,Р,і}$ – розрахункові часткові індекси антропізації геосистем, %, за (1.7))

Коди, назви й символи натурально-антропогенних і антропогенних геосистем, сформованих певними СЗК/НЗ	Міра антропізації ($PK_{АНТ} / I_{АНТ,Т,Р,і}$ %)
I – природоохоронна ($ПО_I$), зокрема:	1, 2
природних і біосферних заповідників і заповідних територій міжнародного значення – I.1 ($ПО_{I,1}$)	1 / 7,9 %
заповідних зон національних природних і регіональних ландшафтних парків, заказників загальнодержавного значення та заповідних урочищ – I.2 ($ПО_{I,2}$)	2 / 22,1 %
II – болотяна (боліт і заболочених земель) ($БО_{II}$)	2 / 20,0 %
III – лісова (лісогосподарська) ($ЛІ_{III}$), зокрема:	2
III.1 – широколистяно-лісова ($ЛІ_{III,1}$)	2 / 26,4 %
III.2 – хвойно-лісова ($ЛІ_{III,2}$)	2 / 27,7 %
III.3 – мішано-лісова ($ЛІ_{III,3}$)	2 / 27,7 %
IV – чагарниково-трав'яна (чагарникової та трав'яної натуральної рослинності) ($ЧТ_{IV}$)	3 / 33,7 %
V – аграрна (сільськогосподарська) ($АГ_V$), зокрема:	3-6
V.1 – лук і пасовищ ($АГ_{V,1}$)	3 / 35,2 %
V.2 – сіножатей ($АГ_{V,2}$)	3 / 36,8
V.3 – хмільників, квітників тощо ($АГ_{V,3}$)	4b / 48,4%
V.4 – ягідників ($АГ_{V,4}$)	5a / 51,4%
V.5 – садів ($АГ_{V,5}$)	5a / 52,1 %
V.6 – виноградників ($АГ_{V,6}$)	5a / 54,2
V.7 – ріллі та перелогів ($АГ_{V,7}$), зокрема:	(4b...6] / (44,8 %...79,5 %]
V.7.1 – нелісова розорана ($АГ_{V,7,1}$), поміж неї за інтегрального коефіцієнта розчленованості рельєфу ($K_{РРЕЛ}$) *:	(4b...5b] / (44,8 %...63,7 %]
слабко похилі за $K_{РРЕЛ} \leq 0,25$ – V.7.1.1 ($АГ_{V,7,1,1}$)	4b / 46,7 %
помірно похилі за $K_{РРЕЛ} = (0,25...0,5]$ – V.7.1.2 ($АГ_{V,7,1,2}$)	5a / 50,5 %
середньо похилі за $K_{РРЕЛ} = (0,5...1,0]$ – V.7.1.3 ($АГ_{V,7,1,3}$)	5a / 54,3 %
істотно похилі за $K_{РРЕЛ} = (1,0...2,0]$ – V.7.1.4 ($АГ_{V,7,1,4}$)	5b / 58,0 %
сильно похилі за $K_{РРЕЛ} > 2,0$ – V.7.1.5 ($АГ_{V,7,1,5}$)	5b / 61,8 %

Коди, назви й символи натурально-антропогенних і антропогенних геосистем, сформованих певними СЗК/НЗ	Міра антропоізації ($PK_{АНТ} / I_{АНТ,Т,Р,і\delta}$ %)
V.7.2 – лісова розорана ($AG_{V.7.2}$), зосібна:	6 / (63,7 % ... 79,5 %]
V.7.2.1 – широколистяно-лісова розорана ($AG_{V.7.2.1}$), серед неї за $K_{PPEЛ}$:	6 / (63,7 % ... 69,0 %]
слабко похилі за $K_{PPEЛ} \leq 0,25$ – V.7.2.1.1 ($AG_{V.7.2.1.1}$)	6 / 64,3 %
помірно похилі за $K_{PPEЛ} = (0,25 \dots 0,5]$ – V.7.2.1.2 ($AG_{V.7.2.1.2}$)	6 / 65,3 %
середньо похилі за $K_{PPEЛ} = (0,5 \dots 1,0]$ – V.7.2.1.3 ($AG_{V.7.2.1.3}$)	6 / 66,4 %
істотно похилі за $K_{PPEЛ} = (1,0 \dots 2,0]$ – V.7.2.1.4 ($AG_{V.7.2.1.4}$)	6 / 67,4 %
сильно похилі за $K_{PPEЛ} > 2,0$ – V.7.2.1.5 ($AG_{V.7.2.1.5}$)	6 / 68,5 %
V.7.2.2 – мішано-лісова розорана ($AG_{V.7.2.2}$), поміж неї за $K_{PPEЛ}$:	6 / (69,0 % ... 74,3 %]
слабко похилі за $K_{PPEЛ} \leq 0,25$ – V.7.2.2.1 ($AG_{V.7.2.2.1}$)	6 / 69,6 %
помірно похилі за $K_{PPEЛ} = (0,25 \dots 0,5]$ – V.7.2.2.2 ($AG_{V.7.2.2.2}$)	6 / 70,6 %
середньо похилі за $K_{PPEЛ} = (0,5 \dots 1,0]$ – V.7.2.2.3 ($AG_{V.7.2.2.3}$)	6 / 71,7 %
істотно похилі за $K_{PPEЛ} = (1,0 \dots 2,0]$ – V.7.2.2.4 ($AG_{V.7.2.2.4}$)	6 / 72,7 %
сильно похилі за $K_{PPEЛ} > 2,0$ – V.7.2.2.5 ($AG_{V.7.2.2.5}$)	6 / 73,8 %
V.7.2.3 – хвойно-лісова розорана ($AG_{V.7.2.3}$), серед неї за $K_{PPEЛ}$:	6 / (74,3 % ... 79,5 %]
слабко похилі за $K_{PPEЛ} \leq 0,25$ – V.7.2.3.1 ($AG_{V.7.2.3.1}$)	6 / 74,8 %
помірно похилі за $K_{PPEЛ} = (0,25 \dots 0,5]$ – V.7.2.3.2 ($AG_{V.7.2.3.2}$)	6 / 75,9 %
середньо похилі за $K_{PPEЛ} = (0,5 \dots 1,0]$ – V.7.2.3.3 ($AG_{V.7.2.3.3}$)	6 / 76,9 %
істотно похилі за $K_{PPEЛ} = (1,0 \dots 2,0]$ – V.7.2.3.4 ($AG_{V.7.2.3.4}$)	6 / 78,0 %
сильно похилі за $K_{PPEЛ} > 2,0$ – V.7.2.3.5 ($AG_{V.7.2.3.5}$)	6 / 79,0 %
VI – гідротехнічно-гідромеліоративна ($ГТГМ_{VI}$) , зокрема:	5а, 6
VI.1 – осушувально-зволожувальна ($ГТГМ_{VI.1}$)	5а / 52,8 %
VI.2 – осушувальна або зволожувальна ($ГТГМ_{VI.2}$)	6 / 65,2 %
VI.3 – гідромеліоративно-геонегативна (зафіксованих геонегативних наслідків меліорації) ($ГТГМ_{VI.2}$)	6 / 79,5 %
VII – рекреаційно-оздоровча (PKO_{VII})	6 / 67,0 %
VIII – селитебна (CE_{VIII}) , зосібна:	6, 7
VIII.1 – сільської (дискретної) забудови ($CE_{VIII.1}$)	6 / 63,8 %
VIII.2 – міської та селищної міського типу (суцільної) забудови ($CE_{VIII.2}$), поміж неї з кількістю жителів:	7 / (79,5 % ... 100 %]
$\leq 10\ 000$ – VIII.2.1 ($CE_{VIII.2.1}$)	7 / 80,8 %
$(10\ 000 - 20\ 000]$ – VIII.2.2 ($CE_{VIII.2.2}$)	7 / 83,4 %
$(20\ 000 - 50\ 000]$ – VIII.2.3 ($CE_{VIII.2.3}$)	7 / 85,9 %
$(50\ 000 - 100\ 000]$ – VIII.2.4 ($CE_{VIII.2.4}$)	7 / 88,5 %
$(100\ 000 - 200\ 000]$ – VIII.2.5 ($CE_{VIII.2.5}$)	7 / 91,0 %
$(200\ 000 - 500\ 000]$ – VIII.2.6 ($CE_{VIII.2.6}$)	7 / 93,6 %
$(500\ 000 - 1\ 000\ 000]$ – VIII.2.7 ($CE_{VIII.2.7}$)	7 / 96,2 %
$> 1\ 000\ 000$ – VIII.2.8 ($CE_{VIII.2.8}$)	7 / 98,7 %
IX – промислово-будівельна (промислових і/або будівельних об'єктів) ($ПБ_{IX}$)	7 / 82,5 %
X – гірничопромислова ($ГП_X$)	7 / 89,8 %

Закінчення табл.1.2

Коди, назви й символи натурально-антропогенних і антропогенних геосистем, сформованих певними СЗК/НЗ	Міра антропоізації ($PK_{АНТ} / I_{АНТ,Т,Р,іВ}$ %)
XI – транспортно-зв'язкова (об'єкти транспорту та зв'язку) ($TЗ_{XI}$), серед неї:	4, 6, 7 / 44,8 %; 71,6 %; (79,5 %...100 %]
грунтові дороги (путівці) – XI.1 ($TЗ_{XI,1}$)	4 / 44,8 %
удосконалені ґрунтові дороги – XI.2 ($TЗ_{XI,2}$)	6 / 71,6 %
шосе, ЛЕП низької напруги – XI.3 ($TЗ_{XI,3}$)	7 / 82,9 %
удосконалені шосе, вузькоколіїні залізниці тощо, ЛЕП середньої напруги – XI.4 ($TЗ_{XI,4}$)	7 / 89,7 %
автостради, ширококоліїні залізниці, ЛЕП високої напруги – XI.5 ($TЗ_{XI,5}$)	7 / 96,6 %
XII – без(рідко)рослинна (територій з відсутньою або незначною рослинністю) ($БРР_{XII}$), зокрема:	1, 2
XII.1 – оголених скель (оголених виходів і відслонень гірських порід) ($БРР_{XII,1}$)	1 / 12,6 %
XII.2 – пісків ($БРР_{XII,2}$)	2 / 22,1 %
XII.3 – рідкорослинна (територій з рідкою (розкиданою) рослинністю) ($БРР_{XII,3}$)	2 / 26,0 %
XII.4 – згарищ ($БРР_{XII,4}$)	4а / 43,8 %
XIII – гетерогенні та інші геосистеми ($ГІГ_{XIII}$), зокрема:	2, 4а, 5а
XIII.1 – перехідна лісо-чагарниково-трав'яна (перехідної лісо-чагарниково-трав'яної рослинності) ($ГІГ_{XIII,1}$)	2 / 26,0 %
XIII.2 – аграрно-лісова ($ГІГ_{XIII,2}$)	4а / 44,8 %
XIII.3 – аграрно-натурально-рослинна (агроугідь з істотними площами натуральної рослинності) ($ГІГ_{XIII,3}$)	5а / 57,1 %
XIII.4 – аграрно-комплексна (комплексних агроугідь) ($ГІГ_{XIII,4}$)	5б / 60,4 %

* $K_{PPEЛ}$ – інтегральний коефіцієнт розчленованості рельєфу за [26]

Звідси, зважаючи на можливість вирізнення щойно наведених у табл.1.2 геосистем і на тлі *ГЕО* у цілому, і на тлі її певних (квазі)природних геосистем потрібного рівня, які визначають межі обраних для моделювання об'єктів загалом, можна, з урахуванням можливості подальшого задавання відповідних полів (див. (1.3)), спрощено записати для геосистем першого рівня (рангу), що

$$\{НАГЕП, АГЕП\} \in \{ПО_I \cup БО_{II} \cup Л_{III} \cup ЧТ_{IV} \cup АГ_V \cup ГТГМ_{VI}, \cup \cup РКО_{VII} \cup СЕ_{VIII} \cup ПБ_{IX} \cup ГП_X \cup ТЗ_{XI} \cup БРР_{XII} \cup ГІГ_{XIII}\} . \quad (1.5)$$

Аналогічно формалізуються і геосистеми наступних рівнів табл.1.2. Наприклад, лісову геосистему 1-го рівня можна далі поділяти на другорівневі широколистяно-хвойно- та мішано-лісову геосистеми, тобто (див. табл.1.2)

$$\{Л_{III}\} \in \{Л_{III,1} \cup Л_{III,2} \cup Л_{III,3}\} \quad (1.6)$$

тощо.

Шкала за табл.1.2 або будь-які її робочі модифікації, як загалом і вихідна шкала табл.1.1, можуть оцінювально оперувати середньовиваженим за площами відповідних натурально-антропогенних і антропогенних геосистем **індексом антропізації суходільних (теральних) геосистем** певного об'єкта моделювання ($I_{АНТ,Т}^{**}$, %) за формулою

$$I_{АНТ,Т}^{**} = \sum_{i=1}^n I_{АНТ,Т,P,i} \bullet s_i , \quad (1.7)$$

де $I_{АНТ,Т,P,i}$ – розрахунковий індекс антропізації, який є частковим для i -тої розрахункової натурально-антропогенної або антропогенної геосистеми об'єкта моделювання, заданого межами його (квазі)природної підсистеми, і визначається за табл.1.2 або її робочими модифікаціями, зокрема за табл.5.11 у п.5.2; s_i – загальна частка площі геосистеми з $I_{АНТ,P,i}$ (в частках одиниці, за яку править загальна площа модельного об'єкта); n – кількість розрахункових натурально-антропогенних і/або антропогенних геосистем об'єкта моделювання.

Примітки.

1. Принципи та способи деталізації або модифікації шкали табл.1.2 розглянуто в [58].

2. Склад і категорювання натурально-антропогенних і антропогенних геосистем у табл.1.2 наведено для модельних геосистем регіонально-районного рангу з відповідними цьому масштабами моделювання. Це стосується, наприклад, геосистем, заданих межами до фізико-географічних районів включно тощо. Для модельних геосистем локального рангу та великого масштабу моделювання склад і категорювання зазначених геосистем, як, подекуди, і (квазі)природних геосистем, може бути дещо іншим. Наприклад, селитебні геосистеми регіонально-районного рангу категорюються в цілому у табл.1.2 як антропогенні 6-7 категорії міри антропізації. Вони розрізняються лише ієрархічно за кількістю жителів. Натомість склад і категорювання рівня натуральності локальних геосистем-компонентів міст, як ландшафтно-урбанізаційних систем, під час великомасштабного моделювання є різноманітним з вирізненням вже 10 різновидів таких геосистем – від природоохоронної до промислової, (див. далі п.5.2 і табл.5.11).

Щодо шкали міри антропізації (рівня натуральності) **аква-теральних геосистем**, спричиненої відповідними їм системами землекористування, насамперед водокористування, слід зазначити таке.

Наразі ця складна модельна проблема є несповна розв'язаною і геосистеми водних об'єктів суходолу з їхніми береговими зонами (берегами) потребують детальної розробки окремих специфічних підходів і шкал оцінювання міри їхньої антропізації. При цьому, для **геосистем натуральних і штучних водойм разом з їхніми береговими зонами**, а саме озер, лиманів, водосховищ і неруслих ставків, це є завданням майбутнього. Його вирішення має базуватись на підвалинах гідроінвайроментології та гідроекології (див. наші праці [40, 49, 55, 58] та ін.).

Натомість для **геосистем натуральних і штучних водотоків**, зокрема річок і струмків, каналів і водоводів тощо, а також руслових ставків на них, разом з берегами цих об'єктів доцільно використовувати в першому наближенні адекватний індекс і **шкалу міри антропізації** (рівня натуральності). Останні визначаються в залежності від наявності чи відсутності *заданих варіантів антропогенного впливу* на зазначені геосистеми та/або наслідків такого впливу як безпідірної або підпірної каналізації русла і берегів. Відповідну цьому шкалу наведено в табл.2.4 і вона опе-

рує лише оцінювальними категоріями без вирізнення субкатегорій. При цьому коди варіантів антропогенного впливу визначають і тотожні їм коди різних типів аква-теральних геосистем, які розглядаються. Це можуть бути, наприклад, геосистеми II типу, V.1 типу тощо. Не слід забувати, що, знову-таки, типи геосистем з 1-3 категоріями міри антропізації за табл.1.3 є натурально-антропогенними, що стосується типів I-III, а з 4-7 категоріями – антропогенними, куди тяжіють типи IV.1-VII.3 (приклад на рис.1.3).

Таблиця 1.3 – Шкала міри антропізації (рівня натуральності) аква-теральних геосистем русла (ложа) і берегів натуральних і штучних водотоків, зокрема із ставками на них, в залежності від варіантів антропогенного впливу на геосистеми та/або його наслідків *

Категорійний код і міра антропізації геосистем і діапазони $I_{АНТ,К,АТ,i}$ та його $I_{АНТ,К,АТ}^*$, %	Коди та варіанти антропогенного впливу (безпідпірної або підпірної каналізації) на геосистеми, які визначають адекватні коди типів цих геосистем
1 – вельми незначна антропізація (0...15,8]; 7,9	I – русло й береги, штучно не спрямлені та/або поглиблені й нетрансформовані гідротехнічними спорудами, та без штучного підпору водотоку з розташуванням в межах природних і біосферних заповідників і заповідних урочищ
2 – незначна антропізація (15,8...28,3]; 22,1	II – русло й береги, штучно не спрямлені та/або поглиблені й нетрансформовані гідротехнічними спорудами, та без штучного підпору водотоку з розташуванням поза межами природних і біосферних заповідників і заповідних урочищ
3 – помірна антропізація (28,3...39,2]; 33,7	III.1 – штучно трансформовані береги з руслом, штучно не спрямленим і/або поглибленим і нетрансформованим гідротехнічними спорудами; III.2 – загачений водотік разом з його підпертим незаблокованим гирлом з не спрямленим (поглибленим) руслом і штучно нетрансформованими берегами; III.3 – підперте заблоковане гирло водотоків з не спрямленим (поглибленим) руслом і штучно нетрансформованими берегами
4 – помірно-значна антропізація (39,2...50,4]; 44,8	IV.1 – штучно спрямлене та/або поглиблене русло, нетрансформоване гідротехнічними спорудами, з штучно нетрансформованими берегами; IV.2 – загачений водотік разом з його підпертим незаблокованим гирлом) зі спрямленим (поглибленим) руслом і штучно нетрансформованими берегами; IV.3 – підперте заблоковане гирло водотоків зі спрямленим (поглибленим) руслом і штучно нетрансформованими берегами
5 – значна антропізація (50,4...63,7]; 57,1	V.1 – штучно спрямлене та/або поглиблене русло, нетрансформоване гідротехнічними спорудами, з штучно трансформованими берегами; V.2 – загачений водотік, зокрема його підперте незаблоковане гирло, зі спрямленим (поглибленим) руслом і штучно трансформованими берегами; V.3 – підперте заблоковане гирло водотоків зі спрямленим (поглибленим) руслом і штучно трансформованими берегами; V.4 – русловий ставок-загата з нетрансформованим ложем;

Категорійний код і міра антропоїзації геосистем і діапазони $I_{АНТ,К,АТ,i}$ та його $I_{АНТ,К,АТ,*}$, %	Коди та варіанти антропогенного впливу (безпідпірної або підпірної каналізації) на геосистеми, які визначають адекватні коди типів цих геосистем
6 – вельми значна антропоїзація (63,7-79,5]; 71,6	VI.1 – русло й береги, штучно спрямлені гідротехнічними спорудами відкритого типу (каналами, колекторами тощо); VI.2 – русловий відкритий підпірний ставок-накопичувач
7 – надмірна антропоїзація (79,5-100]; 89,8	VII.1 – русло й береги, штучно спрямлені гідротехнічними спорудами закритого типу (тунелями тощо); VII.2 – русловий закритий підпірний ставок-накопичувач; VII.3 – русловий, нерусловий або комбінований підпірний і/або напірний канал, водовід тощо з трансформованим ложем

* (0...15,8] ... (79,5-100] – категорійні діапазони розрахункового індексу антропоїзації $I_{АНТ,К,АТ,i}$ та його середньокатегорійні значення $I_{АНТ,К,АТ,*}$ у %, див. (1.8) і табл.1.1

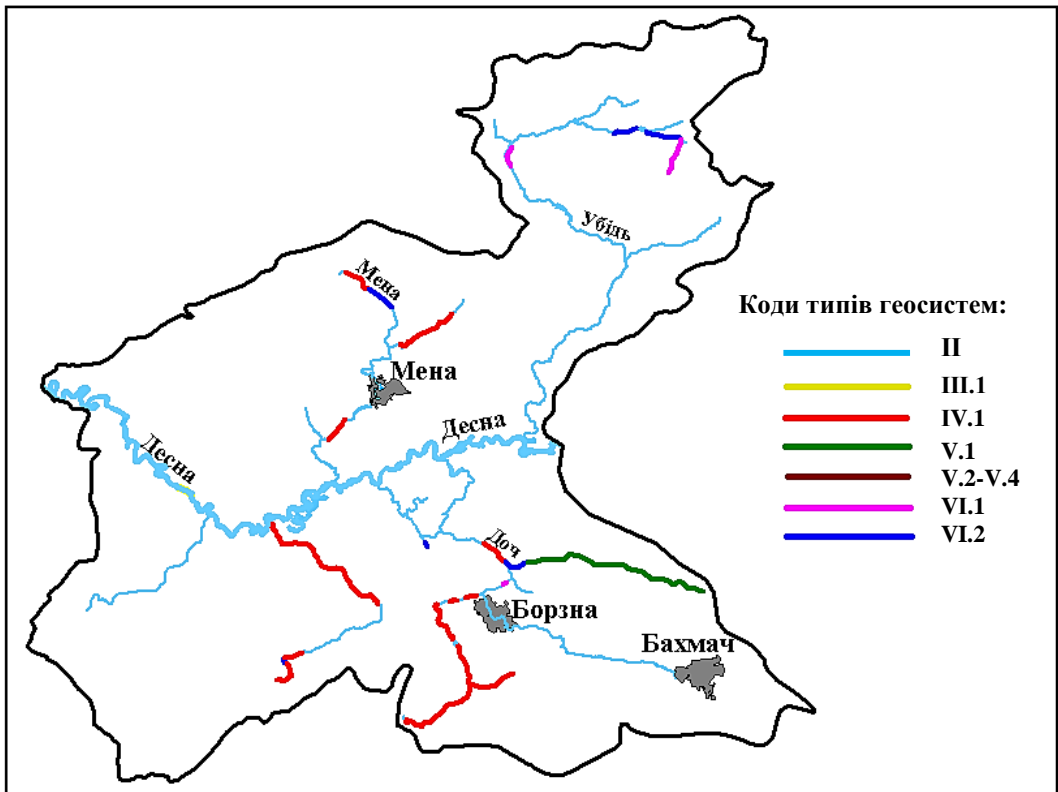


Рис.1.3 Naturally-антропогенні (II-III.1) та антропогенні (IV.1-VI.2) акваторальні геосистеми русла (ложа) і берегів (на прикладі Середньодеснянської басейнової територіальної геосистеми) (на основі [55]; коди типів геосистем – за табл.1.3)

Шкала за табл.2.4 теж може оперувати середньовиваженим за відповідними довжинами **індексом антропоізації** набору вже **аква-теральних геосистем** певного об'єкта моделювання ($I_{АНТ,АТ}^{**}$, %) з визначенням цього індексу як

$$I_{АНТ,АТ}^{**} = \sum_{i=1}^n I_{АНТ,АТ,Р,i} \cdot l_i , \quad (1.8)$$

де $I_{АНТ,АТ,Р,i}$ – розрахунковий індекс антропоізації, який є частковим для i -того розрахункового варіанта антропогенного впливу за другим стовпчиком табл.1.3 і чисельно варіантно визначається з першого стовпчика цієї таблиці як $I_{АНТ,АТ,Р,i} \equiv \equiv I_{АНТ,К,АТ}^*$ або з відповідних категорійних діапазонів; l_i – загальна частка довжини ділянок розрахункової гідромережі об'єкта дослідження з $I_{АНТ,АТ,Р,i}$ (у частках одиниці стосовно загальної довжини цієї гідромережі, яка параметризується за [55]); n – кількість розрахункових варіантів антропогенного впливу за табл.1.3.

Формалізація **підсистеми каркасних меж ГЕО** (див. моделі (1.1)-(1.3)) суттєво залежить від обраної чи розробленої класифікаційної схеми таких меж (див. наприклад, наші праці [49, 52]). У загальних рисах, цю підсистему можна диференціювати на **другопорядкові підсистеми** (квазі)природних (**КПКМ**), натурально-антропогенних (**НАКМ**) і антропогенних (**АКМ**) **каркасних меж геосистеми**, тобто за обраними підходами

$$\{КМГЕО\} \in \{КПКМ \cup НАКМ \cup АКМ\} , \quad (1.9)$$

$$\begin{aligned} D \{КМГЕО\} &= \{КМГЕО(\omega_{КМБГ}, R_{КМБГ}, t)\} = \\ &= \{КПКМ(\omega_{КПКМ}, R_{КПКМ}, t) \cup НАКМ(\omega_{ПАКМ}, R_{НАКМ}, t) \cup АКМ(R_{АКМ}, t)\} , \quad (1.10) \end{aligned}$$

де $\omega_{КМБГ}$, $\omega_{КПКМ}$ і $\omega_{НАКМ}$ – числа фіксацій випадкових субполів відповідних підсистем за (1.9); $R_{КПКМ}$, $R_{НАКМ}$ і $R_{АКМ}$ – просторові субобласті випадкових і "антропогенно"-детермінованих субполів усіх підсистем моделі (1.9), зважаючи на те, що межі в цілому можуть подаватися не лише як площинні, а й як лінійні просторові об'єкти (див. [49]), а загальна просторова область субполів підсистем **КМГЕО** $R_{КМГЕО} \in \{R_{КПКМ} \cup R_{ПАКМ} \cup R_{АКМ}\}$ з огляду, що при цьому $R_{КМБГ} \neq R$.

У всіх випадках, під час структурно-функціональної формалізації (квазі)природно-натурально-антропогенних геосистем **ГЕО** для безпосереднього моделювання слід обов'язково зазначати:

– елемент, модуль чи їхню комбінацію тощо (квазі)природної підсистеми, за яким задано загальні межі **ГЕО** як об'єкта моделювання. Це можуть бути, наприклад, геосистеми фізико-географічних областей або районів; геосистеми басейнової **ЛТС** (басейнові геосистеми), геосистеми урочищ, геосистеми берегових ландшафтних смуг, геосистеми геотонних меж, (квазі)геосистеми мережної **БЛТС**, див. р.6, тощо;

– визначальні гіперпозиційні атрибути геосистем з їхнім поділом на суходільні (теральні) та аква-теральні. При цьому слід зважати, наприклад, на те, що басейнова геосистема, як аква-теральна природнича в цілому, складається з суходільних геосистем її водозбору та аква-теральних геосистем її водотоків (див. р.5) тощо;

– ранг геосистемних об'єктів моделювання. Його слід зазначати, за необхідності, на додаток до ієрархічного рівня, згаданого в першому абзаці цього переліку. Зокрема, за таких умов, можна вести мову про басейнові макрогеосистеми, берегові мезогеотони, див. р.7, тощо;

– деякі інші специфічні атрибути геосистем, необхідні для їхнього модельного задавання.

Наприклад, початково увесь басейн Дніпра можна розглядати як басейнову геосистему найвищого ієрархічного рангу – макрогеосистему (рис.1.4), а кожен басейн приток 1 порядку та кожне дніпровське водосховище з їхніми береговими зонами – як інтегровані геосистеми другого рангу (мезогеосистеми).



Рис.1.4 Макрогеосистема басейна Дніпра, вирізена на космічному знімку NOAA (за даними УЦМЗР, див. наші праці [46, 48])

Принципові засновки природничо-географічного моделювання базуються також на тому, що у чотиривимірній вкоровній динамічній природничій геосистемі розрізняють **2 головних класи структурно-функціональної організації**. Це клас (квазі)природно-натурально-антропогенних **таксонів** (структур і субструктур) різного рівня та **клас ресурсів** геосистеми. Обидва ці класи реалізуються через різного виду **природно-соціально-економічні функції (ПСЕФ)** з урахуванням того, що геосистема **ГЕО** є невід'ємним складником економіки та довкілля.

Природно-соціально-економічні функції тлумачаться як характеристики виконання геосистемою цільових запитів і вимог ресурсокористувачів, зважаючи на природоохоронні критерії. Ці функції розподілено на два головних типи – **геоеколо-**

гічно-позитивні або геопозитивні, а саме довіклля-ресурсо-відтворювальні, довіклля-ресурсо-охоронні тощо, та *геоекологічно-негативні* або *геонегативні*, серед них довіклля-ресурсо-деградаційно-редукційні, "екоризикові" тощо (див. далі).

Стабілізація та поліпшення стану природничої геосистеми трактується як цільові функції. Вони припускають два етапи **нормування** для управління геосистемою (режимом її роботи) – **геоекологічне** та **геоекологічно-економічне**, – з переходом до **тарифікації природних ресурсів** геосистеми та її субструктур із можливістю застосування механізму платного водо- та ресурсокористування.

Першим принциповим критерієм геоекологічно-економічного збалансування управління станом природничої геосистеми і вибору оптимального режиму функціонування різних геосистем, за безумовного пріоритету геоекологічних нормативів, є мінімізація необхідних витрат (видатків) на ліквідацію чи обмеження геонегативних ПСЕФ (ГН ПСЕФ) і на максимізацію відтворення геопозитивних ПСЕФ (ГП ПСЕФ) геосистеми, тобто

$$\left(\begin{array}{l} n \\ \prod_{i=1} (ГН ПСЕФ)_i \rightarrow \min \\ n \\ \prod_{i=1} (ГП ПСЕФ)_i \rightarrow \max \end{array} \right) \longleftrightarrow GEO, opt, \quad (1.11)$$

де **n** – кількість формалізованих геонегативних і геопозитивних природно-соціально-економічних функцій; **opt** – позначка оптимізації як спрямованості нормування.

Оцінка та оптимізація режимів функціонування геосистем базуються, *по-перше*, на їхній **систематизації** (класифікації, диференціації тощо) **та/або структуруванні**, щодо формалізації якого вже частково йшла мова у попередньому тексті. Систематизація та/або структурування геосистем проводяться на основі синтезованого набору класифікаційних детерміновано-стохастичних критеріїв. Останні можуть відображати типи, ранги та рівні геосистем та фактичні й бажані цілі їхнього функціонування, враховуючи домінуючу ознаку, вертикальні та горизонтальні часові зв'язки, баланс речовини та енергії, взаємозумовленість складників геосистем тощо.

Систематизація та/або структурування геосистем загалом здійснюються, *по-перше*, шляхом послідовного застосування низки взаємопов'язаних критеріїв. При цьому спираються на існуючі або спеціально розроблені відповідні категорійно-класифікаційні схеми й аналогічні побудови з їхніми різномірними **таксонами** тощо (див. наприклад, співвідношення категорій табл.1.1 або ієрархію структур на рис.1.1).

По-друге, зрозуміло, що структурування різних за рангом і типом геосистем відзначається своїми критеріями та змістом таксонів (підсистем), які вирізняються, зі збереженням загальних підходів до зазначеного структурування. Серед них можна виокремити ієрархічну супідрядність таксонів (підсистем), вже розглянуте вирішення природної, натурально-антропогенної та антропогенної підсистем, застосування певної системи координат для структурування тощо.

Приклади систематизації/структурування суходільних геосистем вже наводилися на рис.1.1 і в табл.1.2, а аква-теральних геосистем русла (ложа) і берегів натуральних і штучних водотоків – у табл.1.3. Крім того, наприклад, загальну схему структурування аква-теральної геосистеми великої рівнинної водойми з вирізненням таксонів першого рівня – водних мас, ложа, берегової зони, приток і нижнього б'єсу, а також біоти як гіперпідсистеми другого рівня з подальшою їхньою диференціацією – викладено у наших працях [36, 40] з наведенням прикладу на рис.1.5 (див. також структурування берегової зони в р.7).

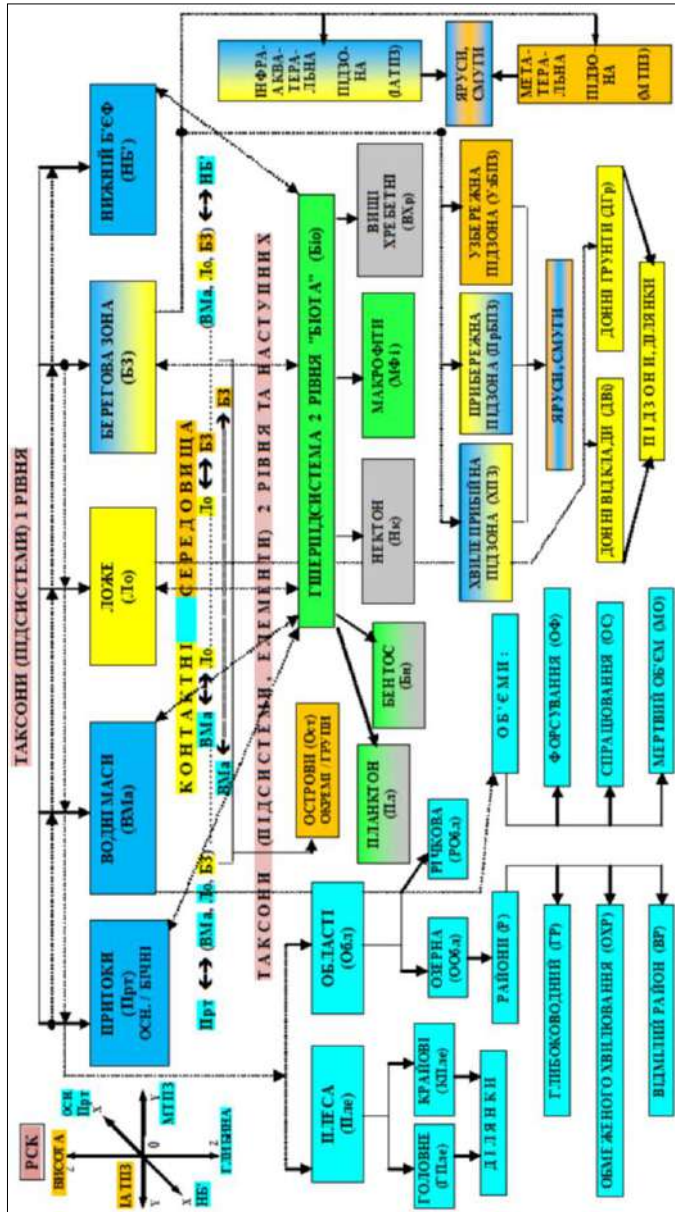


Рис.1.5 Приклад структурування геосистеми великої рівнинної водойми (PCK – розрахункова система координат)

Природні ресурси (ПРс), як другий головний клас структурно-функціональної організації природничої геосистеми, доцільно рангувати за двома групами стосовно основних їхніх видів, а саме:

1) 1 група: земельні (територіальні) (**ЗТРс**); водні (**ВРс**); біологічні (**БРс**) і мінерально-сировинні (**МСРс**) ресурси;

2) 2 група: транспортні (**ТРс**); енергетичні (**ЕРс**) та рекреаційно-оздоровчі (**РкРс**) ресурси, тобто

$$\{ПРс\} \in \{ЗТРс; ВРс; БРс; МСРс; ТРс; ЕРс; РкРс\} . \quad (1.12)$$

Відтворення першої групи ресурсів поєднано з паритетним співвідношенням параметрів стану геосистеми (див. далі) та її природно-соціально-економічних функцій, а другої групи – за переважання таких функцій.

Оцінка та оптимізація режимів функціонування природничих геосистем базуються, *по-друге*, на **структурно-функціональній тарифікації природних ресурсів геосистеми**. Під такою тарифікацією розуміється **визначення кількості та якості видів ресурсів геосистеми для їхнього платного використання та відтворення** за розрахунковим рівнем стану геосистеми, нормативами геоecологічної стабільності (зокрема безпеки) та, відповідним їм, оптимальним режимом розвитку геосистеми. За таких умов слід враховувати, що згадані показники природних ресурсів – кількість і якість – і у натуральному, і у вартісному вираженні, так само як і пріоритетність ресурсокористування та ресурсозбереження, є категоріями просторово-часовими. Вони визначаються на основі відповідного врахування національних пріоритетів з огляду на багаторічно-сезонну мінливість станів геосистем, наявність і специфіку ресурсів у геосистемах різного рівня та структурно-функціональної організації тощо.

Природні ресурси за (1.12) може бути **типізовано за багатьма класифікаційними ознаками**:

1) (умовно) поновні ресурси – водні, біологічні, рекреаційно-оздоровчі, транспортні;

2) (умовно) непоновні ресурси – земельні (територіальні), мінерально-сировинні;

3) (умовно) незамінні для часу існування та цілей геосистеми ресурси – водні, біологічні тощо;

4) (умовно) замінні ресурси – мінерально-сировинні, транспортні тощо.

У всіх випадках прийнята **тарифікаційна схема ресурсів природничої геосистеми**, з відповідними градаціями та критеріями наявності та стану природних ресурсів для різних навантажень на геосистему, повинна оперувати *рангами комплексних показників фактичного та спрогнозованого стану* певних видів природних ресурсів. Тобто, така схема має враховувати, з одного боку, традиційні кількісні параметри ресурсів, такі як експлуатаційні чи перспективні запаси і т.ін., а також, у кращому випадку, деякі якісні їхні атрибути, зокрема клас якості тощо. З іншого боку, тарифікаційна схема має зважати на результати системного цільового імовірного кількісного обліку та визначення якості ресурсів за складниками геосистеми з орієнтацією на оптимальні *ПСЕФ* під час геоecологічно-економічно збалансованої експлуатації ресурсів.

Природно-соціально-економічні функції (ПСЕФ), є, як вже зазначалось, характеристиками виконання геосистемою цільових запитів і вимог ресурсокористувачів, зважаючи на природоохоронні критерії. Ці функції треба розподіляти на **геопозитивні та геонегативні**, а їхнє формалізоване подавання використовувати в алгоритмах будь-яких модельних задач стосовно геосистеми – як т.зв. "обернених", так і "прямих". При цьому зміст "обернених" задач визначає тарифікація природних ресурсів геосистеми та регламентація ресурсокористування в ній. Натомість сутність "прямих" задач зумовлюється критеріальним оцінювання різних ознак стану геосистем для власне обґрунтування стратегії геоecологічно-економічної оптимізації їхнього функціонування (див. далі).

Потенціал природно-соціально-економічних функцій геосистеми (Pt ПСЕФ) визначають як добуток розрахункового, визначеної якості об'єму залучного (залученого) до експлуатації ресурсного потенціалу ($V Pt ПРс$) та питомих витрат на відтворення кожної з геопозитивних ПСЕФ або ліквідацію (обмеження) кожної з геонегативних ПСЕФ ($V_{VIDT,LIK}$) за виразом

$$Pt ПСЕФ = V Pt ПРс \cdot V_{VIDT,LIK} \cdot \quad (1.13)$$

Примітки.

1.Залучний або залучений до експлуатації об'єм ресурсного потенціалу вирізняють на відміну від загального такого об'єму.

2.Потенціал кожної з геопозитивних функцій позначається Pt ГП ПСЕФ, кожної з геонегативних – Pt ГН ПСЕФ.

Певним чином зінтегровані ПСЕФ (див. далі) утворюють **загальний природно-соціально-економічний потенціал геосистеми** або, просто, **загальний потенціал геосистеми Pt ГЕО**). На нього слід зважати з огляду на задані геоecологічні критерії для визначення міри геоecологічно-економічного збалансування режиму функціонування геосистем, тобто експлуатації їхніх ресурсів.

За всіх оцінювань для потенціалів ПСЕФ (Pt ПСЕФ) і потенціалу геосистеми (Pt ГЕО) використовуються визначники "реальний" (що фактично реалізується), "можливий" (потенційний) і "доцільний" (оптимальний). *Принципом балансування динаміки стану геосистеми є досягнення за заданими її параметрами, враховуючи зниження чи ліквідацію геоecологічно-економічного збитку, оптимального потенціалу цієї геосистеми. Він у цілому трактується як міра можливостей виконання системою її ПСЕФ і чисельно моделюється через надійність геосистеми. Останню, у наведеній постановці, попередньо можна інтерпретувати як перетин умов обов'язкового збереження властивостей стійкості геосистеми та реалізації її заданого доцільного (оптимального) потенціалу (точне тлумачення наведених термінів – далі за текстом).*

Тобто, **зміст геоecологічно-економічного нормування** з відповідною оптимізацією управління станом природничої геосистеми має полягати в регулюванні антропогенного навантаження для запобігання зміні властивостей і структури геосистеми (за *критеріями стійкості*) та припиненню виконання нею вимогових природно-соціально-економічних функцій (за *критеріями надійності*).

Загальний потенціал геопозитивних ПСЕФ ($Pt\Sigma$ (ГП ПСЕФ)) визначають як

$$Pt\Sigma(\text{ГП ПСЕ}\Phi) = \sum_{i=1}^n (Pt \text{ ГП ПСЕ}\Phi)_i + \sum_{i=1}^n (Pt \text{ ГП ПСЕ}\Phi)_{\text{sin,em},i} + \\ + \sum_{i=1}^n (Pt \text{ ГП ПСЕ}\Phi)_{\text{sin,m},i} - \sum_{i=1}^n (Pt \text{ ГП ПСЕ}\Phi)_{\text{ant},i} , \quad (1.14)$$

де перший доданок – простий адитивний ефект, наступні, відповідно, синергічний ефект інтегрування потенціалів геопозитивних ПСЕΦ емерджентного типу, далі – те ж мультиплікативного типу і, нарешті, антагоністичний ефект інтегрування зазначених потенціалів; n – кількість природно-соціально-економічних функцій, формалізованих під час визначення різних ефектів інтегрування їхніх потенціалів.

Загальний потенціал геонегативних ПСЕΦ ($Pt\Sigma(\text{ГН ПСЕ}\Phi)$) визначається за аналогічною до (1.14) формулою

$$Pt\Sigma(\text{ГН ПСЕ}\Phi) = \sum_{i=1}^n (Pt \text{ ГН ПСЕ}\Phi)_i + \sum_{i=1}^n (Pt \text{ ГН ПСЕ}\Phi)_{\text{sin,em},i} + \\ + \sum_{i=1}^n (Pt \text{ ГН ПСЕ}\Phi)_{\text{sin,m},i} - \sum_{i=1}^n (Pt \text{ ГН ПСЕ}\Phi)_{\text{ant},i} . \quad (1.15)$$

Загальний потенціал обох видів природно-соціально-економічних функцій ($Pt\Sigma(\text{ПСЕ}\Phi)$), який розглядається як загальний потенціал геосистеми ($Pt \text{ ГЕО}$), розраховують за виразом

$$Pt\Sigma(\text{ПСЕ}\Phi) = Pt \text{ ГЕО} = Pt\Sigma(\text{ГП ПСЕ}\Phi) + Pt\Sigma(\text{ГН ПСЕ}\Phi) \pm \\ \pm \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N (Pt \text{ ГП,ГН ПСЕ}\Phi)_{\text{sin,ant},i,j} , \quad (1.16)$$

де останній доданок – синергічно-антагоністичний ефект інтегрування загальних потенціалів геопозитивних і геонегативних ПСЕΦ для формалізованих n геопозитивних та N геонегативних ПСЕΦ.

Наведені вище підходи використовуються для чисельного визначення **ефективності реальних, можливих чи доцільних за геоекологічними критеріями ПСЕΦ ($E(\text{ПСЕ}\Phi)$)**. Її ототожнюють з **ефективністю використання ресурсів природничої геосистеми [$E(\text{ГЕО})$]**, яка віддзеркалює міру геоекологічно-економічного збалансування такої експлуатації та адекватна **ефективності режиму експлуатації геосистеми**, тобто

$$E(\text{ГЕО}) = E(\text{ПСЕ}\Phi) = [Pt\Sigma(\text{ГП ПСЕ}\Phi) + Pt\Sigma(\text{ГН ПСЕ}\Phi)] - \\ - (V_{\text{VIDT}} + V_{\text{LIKV}}) \pm \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N (Pt \text{ ГП,ГН ПСЕ}\Phi)_{\text{sin,ant},i,j} = \\ = Pt\Sigma(\text{ПСЕ}\Phi) - (V_{\text{VIDT}} + V_{\text{LIKV}}) , \quad (1.17)$$

де, крім вже визначених символів, V_{VIDT} , V_{LIK} – відповідно, сумарні витрати на відтворення формалізованих або реалізованих геопозитивних і ліквідацію або обмеження геонегативних ПСЕФ.

Згідно з попередньою тезою, за **другий принциповий критерій геоекологічно-економічного збалансування управління станом природничої геосистеми**, в процесі імітаційно-оптимізаційного моделювання режимів її експлуатації, крім вимоги (2.1) править вимога

$$E(ГЕО) = E(ПСЕФ) \xrightarrow{\text{[для заданих параметрів стану]}} \max . \quad (1.18)$$

Для забезпечення всіх щойно викладених побудов може бути використано **класифікацію природно-соціально-економічних функцій природничої геосистеми** (табл.1.4).

Таблиця 1.4 – Класифікація геопозитивних (ГП) та геонегативних (ГН) природно-соціально-економічних функцій (ПСЕФ) природничої геосистеми

Види ПСЕФ	Підвиди ПСЕФ	Різновиди підвидів ПСЕФ
Геопозитивні ПСЕФ:		
1) довілля-ресурсо-відтворювальні (ДРВ)	ландшафтно-відтворювальні	геосистемно-структуротвірна, екосистемно-структуротвірна, збереження біоландшафтного різноманіття тощо
	ресурсо-відтворювально-постачальні	промислово-сировинна, енергетична, зрошувальна, водопостачальна, селитебна, транспортна, біопродукційна, землеробська тощо
	рекреаційно-оздоровчі	рекреаційна, спортивна, оздоровча тощо
	ландшафтно-естетичні	естетично-приваблива, композиційно-впорядкована, багатопланово-унікальна, ієрархічно-гармонійна, пейзажно-видово-гармонійна тощо
2) довілля-ресурсо-охоронні (ДРО)	історико-культурно-заповідні	збереження історико-культурного середовища, заповідання, екорекреаційна, спеціальної охорони певних територій тощо
	водоохоронні	водно-стоково-регульовальна, берегоохоронна тощо
	санітарно-екологічні	за складниками геосистеми
	грунтозахисні	грунто-структуротвірна, дренажна тощо
3) інші, серед них специфічні геопозитивні (ІСПП)	самоочишувальні	фільтрації, акумуляції, деградації забрудників, зокрема в різних складниках геосистеми, тощо
	специфічно-екомережні	геофондно-відтворювальна, біоміграційно-сприятлива, екотопічно-сприятлива, екотонно-позитивна (геотонно-позитивна) тощо
	імпактно-позитивні	за видами оптимізувального впливу на сусідні геосистеми тощо
	інші геопозитивні та підрядні, які посилюють певні ГП ПСЕФ	за змістом підсилення тощо

Види ПСЕФ	Підвиди ПСЕФ	Різновиди підвидів ПСЕФ
Геонегативні ПСЕФ:		
1) доквілля-ресурсо-деградаційно-редукційні (ДРДР)	ландшафтно-деградаційні	за складниками геосистем, компонентами біо-ландшафтного різноманіття тощо
	загальноресурсно-редукційні	за видами ресурсів тощо
	полюціо-міграційно-аккумулятивні	хімічно-забруднювальні, радіоактивно-забруднювальні і т.ін., зосібна за видами забруднення та складниками геосистеми тощо
	гідрогалодинамічно-несприятливі та ін.	підтоплювальна, заболочувальна, засолювальна тощо
2) "екоризикові" (ЕР)	життеризикові	за підсистемами й процесами геосистеми, механізмами впливу та прояву тощо
	екоструктурно-деструкційні чи геоструктурно-деструкційні	те ж
3) інші, поміж них специфічні геонегативні (ІСГН)	водно-стоково-трансформаційні несприятливі	водонепроникно-збільшувальна, ґрунтово-стоково-втратна, пересихаючо-збільшувальна тощо
	екомережно-деструкційні	генофондно-редукційна, біоміграційно-несприятлива, екотонно-негативна тощо
	імпаکتно-негативні	за видами негативного впливу на сусідні геосистеми тощо
	інші геонегативні та підрядні, які посилюють певні ГН ПСЕФ	за змістом посилення тощо

У цілому класифікація ПСЕФ природничої геосистеми за табл.1.4 наслідуює спадну ієрархічну схему її таксонів: *тип – вид – підвид – різновид підвиду* природно-соціально-економічних функцій. Зважаючи на досить повний виклад змісту цієї класифікації власне в табл.1.4, вона потребує лише стислих вибіркового коментарів.

Отже, **геопозитивні ПСЕФ** геосистеми, як тип таких функцій, містять три принципових **види** цих ПСЕФ.

Перший з них – **доквілля-ресурсо-відтворювальні (ДРВ)** функції – представлено чотирма головними підвидами. Вирізнення їхніх різновидів є в цілому достатньо очевидним з огляду на їхню приуроченість як до елементів власне (квазі)природної підсистеми, так і до комбінацій останніх з елементами натурально-антропогенної та антропогенної підсистем природничої геосистеми (див. початок цього підрозділу). Слід також зауважити, що різновиди біопродукційного підвиду функцій можуть визначатися, зважаючи як на загальні процеси продукування в геосистемі ([7]), так і на "антропізацію" цих процесів тощо.

Другий вид геопозитивних ПСЕФ – **доквілля-ресурсо-охоронні (ДРО)** функції проілюстровано в табл.1.4 п'ятьма характерними і достатньо зрозумілими за змістом підвидами. Слід зважати хіба що на те, що міра підтримання, наприклад, вод-

но-стоково-регулювальної функції геосистеми, насамперед басейнової, як різновиду водоохоронного підвиду *ДРО ПСЕФ* має бути узгоджена з певними умовами забезпечення фазово-етологічної стійкості геосистеми (див. далі р.2 і р.5).

У третьому виді геопозитивних *ПСЕФ* басейнової геосистеми – **інших, серед них специфічних (ІСПП)** – певного коментаря потребує наявність специфічно-екомережного підвиду таких функцій. Його вирізнення зумовлюється доцільним потенційним або вже реалізованим включенням елементів або підсистем геосистеми до складу екомережі певного рангу як певних елементів такої мережі – екологічних коридорів або ядер тощо (див. далі р.6). Крім того, вирізнені в табл.1.4 імпаکتно-позитивні функції як підвид можна розподіляти на його різновиди за змістом оптимізувального впливу природничої геосистеми на сусідні елементи (елементи оточення за [46, 48]).

Другий тип функцій природничої геосистеми – **геонегативні ПСЕФ** – також класифікаційно розподілено в табл.1.4 на три **види** функцій.

Серед чотирьох найбільш характерних підвидів першого виду таких функцій – **довкілля-ресурсо-деградаційно-редукційних (ДРДР)** – наприклад загальноресурсно-редукційні функції, у випадку диференціювання їх за видами ресурсів, можуть містити водно-ресурсно-редукційні, ґрунто-ресурсно-редукційні та інші відповідні різновиди функцій. У свою чергу, хімічно-забруднювальні функції як узагальнений різновид полюціо-міграційно-аккумулятивного підвиду функцій, може бути подано, наприклад для аква-теральних геосистем, своїми окремими компонентами, а саме сапробізаційною, евтрофувальною та токсично-забруднювальною функціями (див. [40]). Це стосується і інших різновидів зазначеного підвиду.

Для другого виду геонегативних *ПСЕФ* – **"екоризикових"** функцій – вирізнення трьох характерних підвидів зумовлено:

- співвіднесенням "чинників ризику" із загрозою для здоров'я людини, що вирізняє життеризикові функції;
- загрозою знищення певних еко- чи геосистемних компонентів і/або зв'язків, що стосується екоструктурно-деструкційних чи геоструктурно-деструкційних функцій;
- загрозою цілковитого знищення зазначених компонентів чи геосистеми у цілому, що ідентифікує геосистемно-втратні функції.

Серед чотирьох типових підвидів третього виду геонегативних *ПСЕФ* природничої геосистеми – **інших специфічних (ІСГН)** – склад, наприклад, екомережно-деструкційних функцій визначається їхнім відповідним набором, поданим в наших працях [44, 51]. Цей набір не дублює ті підвиди геонегативних функцій екомережі, які вже було включено до складу перших двох видів геонегативних функцій геосистеми (див. табл.1.4). Різновиди ж водно-стоково-трансформаційних несприятливих функцій як підвиду *ІСГН* відображають певні геоекологічно негативні особливості та процеси. Серед них, наприклад, збільшення водонепроникних поверхонь і, зокрема, зумовлене ним істотне зменшення ґрунтового складника водного стоку. Крім того, сюди відноситься збільшення тривалості та числа періодів пересихання певних аква-теральних геосистем, дуже часто наслідкове до першого різновиду, та інші процеси. До підрядного підвиду функцій, які посилюють певні геонегативні *ПСЕФ*, можна віднести природно-соціально-економічні функції, зумовлені загаль-

ними негативними змінами антропозованого довкілля, зокрема забрудненням його повітря тощо (див. [65-67, 49]).

Примітка.

Досить поширеною наразі є концепція т.зв. **екосистемних сервісів (послуг)** або **сервісів (послуг) екосистем** (англ. *ecosystem services*, див. [89, 93, 68] тощо). Поняття "екосистемні сервіси" за підходами цього підручника можна, по-перше, тлумачити як геосистемні сервіси або сервіси геосистем. По-друге, воно за змістом є досить близьким до розглянутого вище поняття "геопозитивні природно-соціально-економічні функції геосистем" (рис.1.6).

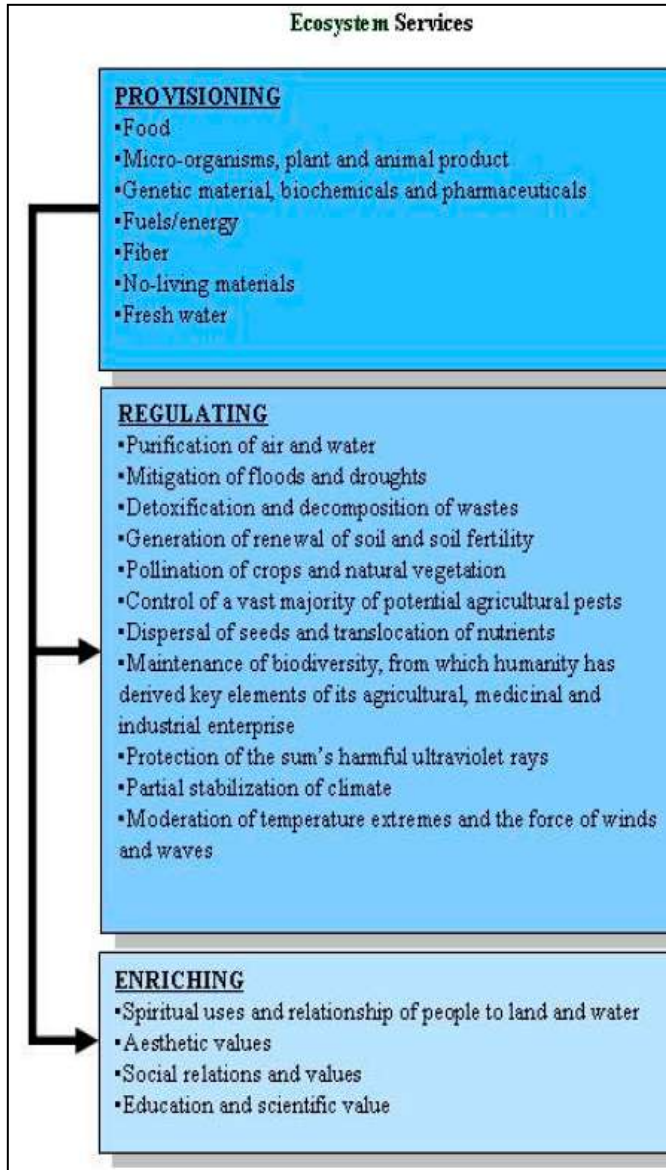


Рис.1.6 Приклад складу екосистемних сервісів (послуг) (за [118])

Екосистемні сервіси, наприклад у [118] (див. рис.1.6), ототожнюються з такими **функціями** екосистем, як:

1) *постачання*: продовольства, зосібна продуктів діяльності мікроорганізмів, рослин і тварин; генетичного матеріалу, біохімічної та фармацевтичної продукції; пального та енергії; волокон; прісної води тощо;

2) *регуляція шляхом*: очищення повітря та вод; послаблення інтенсивності повеней і посух; детоксикації та розкладання відходів; генерування відновлення ґрунтів і їхньої родючості; запилення агрокультур і природної рослинності; розсіювання насіння та переміщення поживних речовин; збереження біорізноманіття; часткової стабілізації клімату, зокрема через зменшення значень екстремальних температур і сили вітру та хвиль, тощо;

3) *поліпшення*: ставлення до довкілля та його використання; соціальних стосунків і цінностей; освітніх і наукових цінностей тощо.

Моделюючи динаміку природничої геосистеми, слід враховувати, що природно-соціально-економічні функції, по-перше, може бути поєднано з її підсистемами різного рівня. Наприклад, біопродукційна функція може оцінюватися для фації (геотопа) або підурочища чи урочища тощо.

По-друге, *ПСЕФ* можуть одночасно мати полярно-протилежний функціональний зміст. Зокрема, для аква-теральної геосистеми водойми функція розчищення її ложа (днорозчищувальна), з одного боку, є різновидом геопозитивних ресурсовідтворювально-постачальних функцій за рахунок збільшення внаслідок розчищення об'єму доступних для використання водних ресурсів водойми. З іншого боку, за умови депонування в ложі водойми токсичних забрудників, реалізація зазначеного розчищення ложа може призвести до переходу депонованих у ньому токсичних речовин у воду водойми, тобто до ініціювання її вторинного забруднення. За такої ситуації днорозчищувальна функція вже ідентифікується як геонегативна хімічно-забруднювальна та "екоризикова" – життеризикова для населення, яке споживає водні ресурси водойми.

У всіх випадках обрана для моделювання *детальна класифікаційна схема ПСЕФ* повинна будуватися, по-перше, за принципом просторово-часового поєднання з структурно-функціональною організацією природничої геосистеми конкретного типу, тобто з її головними таксонами та їхніми складниками більш низьких рівнів (див. приклади у наших працях [44, 45, 49, 55] тощо). По-друге, зазначена схема має створюватися з урахуванням компоновки та посилення чи послаблення під час реалізації інтегрованих *ПСЕФ*, зважаючи на різні ефекти їхнього інтегрування (див. попередній текст). Беруть до уваги і те, що під час геоекологічно-економічної оптимізації експлуатації природничих геосистем природоохоронні засоби та технології, які використовуються, досить часто є багатofункціональними. За приклад останнього може правити створення екомереж і заповідання територій, проектування біоплато вищої водної рослинності на водоймах тощо.

Контрольні запитання й завдання до розділу 1:

1. Які генезисно-еволюційні структурно-функціональні підсистеми природничої геосистеми Ви знаєте?
2. З чим ототожнюється (квазі)природна підсистема природничої геосистеми?
3. Як Ви розумієте рівень натуральності геосистем?

4. Поясніть на прикладах різницю між натурально-антропогенною та антропогенною підсистемами природничої геосистеми.
5. Від чого залежить міра антропізації геосистем?
6. Який рівень натуральності геосистем відповідає помірному антропогенному впливу на них?
7. Яким чином задається міра антропогенного впливу для суходільних геосистем?
8. Поясніть принципи побудови робочої шкали міри антропізації суходільних геосистем.
9. На які складники поділяється без(рідко)рослинна антропогенна геосистема I-го рівня для оцінювання міри її антропізації?
10. Як буде виглядати формалізований запис для складників аграрної антропогенної геосистеми I-го рівня?
11. Поясніть структуру формули індексу антропізації суходільних геосистем певного об'єкта моделювання.
12. Чим відрізняється шкала міри антропізації аква-теральних геосистем русла і берегів натуральних і штучних водотоків від такої шкали для суходільних геосистем?
13. Що таке індекс антропізації аква-теральних геосистем певного об'єкта моделювання?
14. Що слід обов'язково зазначати під час структурно-функціональної формалізації (квазі)природно-натурально-антропогенних геосистем ГЕО для безпосереднього моделювання?
15. На які головні класи структурно-функціональної організації поділяється природнича геосистема?
16. Поясніть зміст природно-соціально-економічних функцій геосистеми.
17. Як виглядає перший принциповий критерій геоecологічно-економічного збалансування управління станом природничої геосистеми?
18. Навіщо потрібні систематизація та/або структурування геосистем?
19. Побудуйте граф структурування певної геосистеми.
20. Яким чином ранжуються природні ресурси геосистеми?
21. Що таке структурно-функціональна тарифікація природних ресурсів геосистеми?
22. За якими ознаками можна типізувати природні ресурси геосистеми?
23. Поясніть зміст моделі потенціалу природно-соціально-економічних функцій геосистеми.
24. Якою є модель ефективності режиму експлуатації геосистеми?
25. Поясніть сутність другого принципового критерію геоecологічно-економічного збалансування управління станом природничої геосистеми?
26. Які Ви знаєте доквілля-ресурсо-відтворювальні ПСЕФ геосистеми?
27. Що таке "екоризикові" ПСЕФ геосистеми?
28. Проілюструйте на прикладах склад самоочищувальних ПСЕФ геосистеми.
29. Що таке екосистемні сервіси (послуги) і як вони співвідносяться з ПСЕФ геосистеми?

2 МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ГЕОСИСТЕМ

Викладені у р.1 методологічні принципи та підходи передбачають застосування і відповідного *понятійного апарату та способів моделювання стану природничих геосистем*. Такий апарат і способи послідовно викладаються у цьому розділі.

2.1 Модельно-параметрична формалізація геосистем

Моделювання стану геосистем спирається не лише на їхню структурно-функціональну, а й на *модельно-параметричну формалізацію*, яка стисло і розглядається далі. Одразу зазначимо, що **модельно-параметрична формалізація природничої геосистеми** проводиться для наступного дослідження її **стохастичної структури**, на чому базуються **інформаційні засади природничо-географічного моделювання**.

Таким чином, *модельно-параметрична (динамічна) формалізація природничої геосистеми* здійснюється шляхом задавання геосистеми на різних рівнях за допомогою наборів:

– груп ознак, показників і параметрів стану геосистеми за основними процесами та умовами в ній і її субструктурах, які визначають стан геосистеми та цих субструктур (*макрорівень*);

– систем компонентів за групами показників і параметрів (*мезорівень*);

– систем елементів (*n*-го порядку) за зазначеними компонентами (*мікрорівень*).

Динаміка природничої геосистеми розглядається як її параметричні збурення, спричинені природними чинниками та антропогенним навантаженням. Така динаміка в цілому подається як сукупність обраних детермінованих і випадкових функцій у вигляді відповідних детермінованих чи випадкових процесів і детермінованих або випадкових полів для різних рівнів формалізації (див. запис (1.3), пояснення до нього, а також детальніше наші праці [36, 39, 47, 40, 44, 45, 49, 55]).

Отже, *на макрорівні* геосистему формалізують:

1) **сукупністю** (системою) обраних **груп ознак стану геосистеми** або, просто, **груп ознак геосистеми**, кожна з яких записується як $ГЕО_{оз}$. Система цих груп ознак буде відповідати запису

$$\{ГЕО_{оз}\} \in \{ГЕО_{оз,1}, ГЕО_{оз,2}, \dots ГЕО_{оз,k}\} ; \quad (2.1)$$

2) **сукупністю** (системою) обраних **груп показників стану геосистеми**, які скорочено називають **геопоказниками** з позначенням їхніх груп як $ГЕО_{нк}(\omega)$, де ω – сукупність елементарних результатів досліду або його серій. А отже кожна група геопоказників є випадковою величиною, тобто

$$X(\omega) \equiv ГЕО_{нк,оз}(\omega) , \quad (2.2)$$

а система груп таких геопоказників запишеться як

$$\{ГЕО_{нк,оз}\} \in \{ГЕО_{нк,оз,1}(\omega), ГЕО_{нк,оз,2}(\omega), \dots ГЕО_{нк,оз,k}(\omega)\} , \quad (2.3)$$

де символ " $_{оз}$ " визначає групу ознак геосистеми, тобто у цьому випадку ознаку певної групи геопоказників;

3) **сукупністю** (системою) обраних **груп параметрів стану геосистеми**, які скорочено називають **геопараметрами** у *вузькому розумінні*. Групи таких геопараметрів позначають як $\Phi (ГЕО_{np,оз}(\omega))$ і для кожної з них можна записати, що

$$\Phi (X(\omega)) \equiv \Phi (ГЕО_{np,оз}(\omega)) , \quad (2.4)$$

тобто групи цих геопараметрів є унормованими другого порядку випадковими величинами, а саме групами унормованих геопоказників $ГЕО_{нк}(\omega)$. Система груп геопараметрів за (2.4), відповідно, матиме вигляд

$$\{ГЕО_{np,оз}\} \in \{\Phi (ГЕО_{np,оз,1}(\omega)), \dots \Phi (ГЕО_{np,оз,k}(\omega))\} , \quad (2.5)$$

де символ " $_{оз}$ " визначає групу ознак геосистеми.

З іншого боку, **динаміка геосистеми на макрорівні** подається як **система випадкових функцій**, у подальшому диференційованих у вигляді випадкових процесів або випадкових полів:

1) **груп геопоказників**. Загальним записом динаміки геосистеми як системи **випадкових функцій груп геопоказників** буде

$$\begin{aligned} D \{ГЕО_{нк,оз}\} &= \{X(\omega, R, t)_1, X(\omega, R, t)_2, \dots X(\omega, R, t)_k\} \equiv \\ &\equiv \{ГЕО_{нк,оз,1}(\omega, R, t), ГЕО_{нк,оз,2}(\omega, R, t), \dots ГЕО_{нк,оз,k}(\omega, R, t)\} , \end{aligned} \quad (2.6)$$

де R – неперервний параметр фізичного простору; t – неперервний параметр часу. При цьому областю визначення кожної випадкової функції $X(\omega, R, t)$ за параметром t (*часовою областю визначення випадкової функції*) є множина неперервного часу $T \{0, \infty\}$, $t \in T$. Областю визначення випадкової функції за параметром R (*просторовою областю її визначення*) є певна множина дво- чи тривимірного простору, тобто, відповідно, $R \in (x, y)$ або $R \in (x, y, z)$. Якщо *область значень* $X(\omega, R, t)$ (або *фазовий простір* $X(\omega, R, t)$) D задано як D^1 , то оперують скалярною дійсною або комплексною випадковою функцією, якщо ж як D^n – векторною;

2) **груп геопараметрів**. Загальним записом динаміки геосистеми як системи **випадкових функцій груп геопараметрів** буде

$$\begin{aligned} D \{ГЕО_{np,оз}\} &= \{\Phi (X(\omega, R, t))_1, \Phi (X(\omega, R, t))_2, \dots \Phi (X(\omega, R, t))_k\} \equiv \\ &\equiv \{\Phi (ГЕО_{np,оз,1}(\omega, R, t)), \dots \Phi (ГЕО_{np,оз,k}(\omega, R, t))\} . \end{aligned} \quad (2.7)$$

Стосовно записів (2.6)-(2.7) слід завважити, що коли оперують **випадковими процесами груп геопоказників чи груп геопараметрів**, зазвичай дійсними скалярними, відповідно враховують записи

$$X(\omega, t) \equiv ГЕО_{нк,оз}(\omega, t) , \quad (2.8)$$

$$\Phi (X(\omega, t)) \equiv \Phi (ГЕО_{np,оз}(\omega, t)) . \quad (2.9)$$

Коли ж оперують **випадковими полями груп геопоказників чи груп геопараметрів**, враховують, відповідно, такі тотожні перетворення, як, наприклад для тривимірних полів,

$$X(\omega, R, t) \equiv U(\omega, R, t) \equiv U(\omega, x, y, z, t) \equiv ГЕО_{нк, оз}(\omega, R, t) , \quad (2.10)$$

$$\Phi(X(\omega, R, t)) \equiv \Phi(U(\omega, R, t)) \equiv \Phi(U(\omega, x, y, z, t)) \equiv \Phi(ГЕО_{нк, оз}(\omega, R, t)) . \quad (2.11)$$

На мезорівні природничу геосистему формалізують **системами компонентів і субкомпонентів** за групами показників і геопараметрів. Загальні функціональні записи цього рівня формалізації мають вигляд:

- 1) $КМ_{оз}(\omega)$ – компонент групи геопоказників;
- 2) $\Phi(КМ_{оз}(\omega))$ – компонент групи геопараметрів;
- 3) $КМ_{оз}(\omega, R, t)$ – випадкова функція компонента групи геопоказників;
- 4) $\Phi(КМ_{оз}(\omega, R, t))$ – випадкова функція компонента групи геопараметрів геосистеми.

У поданих записах-переліках символ "оз" визначає вже власну ознаку компонента або субкомпонента певної групи геопоказників чи геопараметрів геосистеми. Аналогічні до макрорівня, записи систем (сукупностей) мезорівня та їхньої динаміки мають вигляд:

- 1) для системи компонентів певної групи геопоказників

$$\{КМ_{ГЕО, нк, оз}\} \in \{КМ_{оз, 1}(\omega), КМ_{оз, 2}(\omega), \dots КМ_{оз, k}(\omega)\} ; \quad (2.12)$$

- 2) для системи компонентів певної групи геопараметрів

$$\{КМ_{ГЕО, нр, оз}\} \in \{\Phi(КМ_{оз, 1}(\omega)), \dots \Phi(КМ_{оз, k}(\omega))\} ; \quad (2.13)$$

- 3) для системи випадкових функцій компонентів певної групи геопоказників

$$D \{КМ_{ГЕО, нк, оз}\} = \{КМ_{оз, 1}(\omega, R, t), \dots КМ_{оз, k}(\omega, R, t)\} ; \quad (2.14)$$

- 4) для системи випадкових функцій компонентів певної групи геопараметрів

$$D \{КМ_{ГЕО, нр, оз}\} = \{\Phi(КМ_{оз, 1}(\omega, R, t)), \dots \Phi(КМ_{оз, k}(\omega, R, t))\} . \quad (2.15)$$

На мікрорівні різних ієрархічних порядків – 1-го, 2-го, ... *n*-го – геосистему формалізують **системами елементів** за компонентами груп геопоказників і геопараметрів із використанням таких функціональних записів:

- 1) $ЕЛ_{оз, n}(\omega)$ – елемент *n*-го порядку певного компонента групи геопоказників;
- 2) $\Phi(ЕЛ_{оз, n}(\omega))$ – елемент *n*-го порядку певного компонента групи геопараметрів;
- 3) $ЕЛ_{оз, n}(\omega, R, t)$ – випадкова функція елемента *n*-го порядку певного компонента групи геопоказників;
- 4) $\Phi(ЕЛ_{оз, n}(\omega, R, t))$ – випадкова функція елемента *n*-го порядку певного компонента групи геопараметрів.

У цих записах-переліках символ " $_{оз,n}$ " визначає власну ознаку елемента n -го порядку компонента або субкомпонента певної групи геопоказників чи геопараметрів геосистеми. Інколи, спрощуючи, символ " $_n$ " не застосовують. Відповідні записи систем (сукупностей) мікрорівня та їхньої динаміки мають вигляд:

1) для системи елементів n -го порядку певного компонента групи геопоказників

$$\{EL_{KM,нк,оз,n}\} \in \{EL_{оз,n,1}(\omega), EL_{оз,n,2}(\omega), \dots EL_{оз,n,k}(\omega)\} ; \quad (2.16)$$

2) для системи елементів n -го порядку певного компонента групи геопараметрів

$$\{EL_{KM,пр,оз,n}\} \in \{\Phi(EL_{оз,n,1}(\omega)), \dots \Phi(EL_{оз,n,k}(\omega))\} ; \quad (2.17)$$

3) для системи випадкових функцій елементів n -го порядку певного компонента групи геопоказників

$$D\{EL_{KM,нк,оз,n}\} = \{EL_{оз,n,1}(\omega, R, t), \dots EL_{оз,n,k}(\omega, R, t)\} ; \quad (2.18)$$

4) для системи випадкових функцій елементів n -го порядку певного компонента групи геопараметрів

$$D\{EL_{KM,пр,оз,n}\} = \{\Phi(EL_{оз,n,1}(\omega, R, t)), \dots \Phi(EL_{оз,n,k}(\omega, R, t))\} . \quad (2.19)$$

Для спрощення термінології під час формалізації природничої геосистеми можна застосовувати скорочені назви. Наприклад, можна вживати назву "*компонент геопараметра (геопоказника)*" або "*елемент (компонента) геопараметра (геопоказника)*" замість, відповідно, "*компонент певної групи геопараметрів (геопоказників)*" або "*елемент певного компонента групи геопараметрів (геопоказників)*" тощо. Подекуди для всіх таких елементів застосовується також скорочення "**геоелементи**" або "**геоелементи стану**".

У цілому розрізняється такий *склад компонентів* (субкомпонентів) *і елементів* компонентів груп геопоказників і геопараметрів геосистеми (або, спільно, геопараметрів чи геопараметрів стану в широкому розумінні), як:

- *загальний* або повний;
- *оптимальний* із загального;
- *заданий* як реальний за існуючою інформацією або можливістю постановки нових серій досліду.

Слушно навести характерні приклади реалізації щойно поданих принципів модельно-параметричної формалізації природничої геосистеми.

Так, формалізацію аква-теральної **геосистеми великої водойми** без її берегової зони (див. рис.1.5) було виконано в наших монографіях [36, 38] таким чином, що, наприклад, для вихідного *макрорівня* та груп геопараметрів, тобто вже унормованих через оператор Φ_S груп геопоказників стану геосистеми, запис динаміки геосистеми згідно з (2.7) має вигляд системи 12-ти випадкових функцій

$$D\{GEO_{пр,оз}\} = \{\Phi(B\Gamma(\omega, R, t)), \Phi(\Gamma M(\omega, R, t)), \Phi(PE(\omega, R, t)),$$

$$\Phi (ГФХ(\omega, R, t)), \Phi (ГБ(\omega, R, t)), \Phi (ЕТ(\omega, R, t)), \Phi (ГМЛ(\omega, R, t)), \\ \Phi (ІГ(\omega, R, t)), \Phi (СГ(\omega, R, t)), \Phi (ГГ(\omega, R, t)), \Phi (МЕ(\omega, R, t)), \Phi (ГІСП(\omega, R, t)) \}, \quad (2.20)$$

де $\Phi (ВГ(\omega, R, t)) \dots \Phi (ГІСП(\omega, R, t))$ – унормовані випадкові функції геопараметрів (а далі – і компонентів та елементів, які їх складають) за групами ознак геосистеми водойми: $ВГ$ – водогосподарською, $ГМ$ – гідрометеорологічною, $РЕ$ – радіоекологічною, $ГФХ$ – гідрофізикохімічною, $ГБ$ – гідробіологічною, $ЕТ$ – екотоксикологічною, $ГМЛ$ – гідроморфолітодинамічною; $ІГ$ – інженерно-геологічною, $СГ$ – седиментогенезовою, $ГГ$ – гідрогеологічною, $МЕ$ – медично-екологічною та групою $ГІСП$ – інтегральних і спільних для різних груп чи їхніх більш низьких елементів, а також інших ознак. Серед останніх у [36], зокрема, вирізнялася група ландшафтно-екологічних ($ЛЕ$) ознак, яка потребує, зрозуміло, більш детальної окремої формалізації на різних рівнях.

Для *мезорівня* просторово-часова динаміка оптимального складу системи компонентів, наприклад, гідрофізикохімічної групи ($ГФХ$ -групи) геопараметрів геосистеми водойми згідно з (2.15) буде системою 7-ми випадкових функцій за записом

$$D \{KM_{ГФХ, np, оз}\} = \{\Phi (ЗФП(\omega, R, t)), \Phi (ФХП(\omega, R, t)), \Phi (ГР(\omega, R, t)), \\ \Phi (ССВ(\omega, R, t)), \Phi (ОР(\omega, R, t)), \Phi (БР(\omega, R, t)), \Phi (ІСГФХ(\omega, R, t))\} \}, \quad (2.21)$$

де власними ознаками компонентів є такі: $ЗФП$ – загальнофізичні показники якості води, $ФХП$ – фізико-хімічні показники якості води, $ГР$ – газовий режим і поєднані з ним показники, $ССВ$ – сольовий склад води, $ОР$ – органічні речовини, $БР$ – біогенні речовини, $ІСГФХ$ – певні інші специфічні інгредієнти та показники групи.

Для *мікрорівня* динаміка оптимального складу системи елементів першого порядку, наприклад, компонента "біогенні речовини" у воді ($БР$ за (2.21)) гідрофізикохімічної групи ознак геосистеми водойми згідно з (2.19) подається як система 7-ми випадкових функцій за записом

$$D \{EJ_{БР, np, оз}\} = \{\Phi (P_{заг}(\omega, R, t)), \Phi (PO_4(\omega, R, t)), \Phi (N_{заг}(\omega, R, t)), \\ \Phi (NH_4(\omega, R, t)), \Phi (NO_2(\omega, R, t)), \Phi (NO_3(\omega, R, t)), \Phi (Si(\omega, R, t))\} \}, \quad (2.22)$$

де за власні ознаки елементів править вміст таких біогенних речовин у воді, як: $P_{заг}$ – фосфор загальний, PO_4 – фосфати, $N_{заг}$ – азот загальний, NH_4 – азот амонійний, NO_2 – азот нітритний, NO_3 – азот нітратний, Si – силіцій.

Модельно-параметричну формалізацію ж **геосистеми берегової зони** водосховищ у [49] було здійснено на основі розробленої класифікаційної схеми головних сучасних фізико-географічних процесів у цій зоні. Досить застосовні і для інших геосистем групи та типи цих процесів наведено в табл.2.1, а види/підвиди – у [49].

За таких умов динаміка *макрорівневої* системи груп геопараметрів берегової зони виглядає згідно з (2.7) як система 16-ти випадкових функцій, а саме

$$D \{B3_{np, оз}\} = \{\Phi (TC_I(\omega, R, t)), \Phi (ЕДА_{II}(\omega, R, t)), \Phi (\Phi GM_{III}(\omega, R, t)), \\ \Phi (\Phi EA_{IV}(\omega, R, t)), \Phi (CK_V(\omega, R, t)), \Phi (ГТ_{VI}(\omega, R, t)), \Phi (ГГД_{VII}(\omega, R, t)), \\ \Phi (ГДА_{VIII}(\omega, R, t)), \Phi (ПФЕР_{IX}(\omega, R, t)), \Phi (ГAEA_X(\omega, R, t)), \Phi (АБ_{XI}(\omega, R, t)), \\ \Phi (АПФЕ_{XII}(\omega, R, t)), \Phi (НДЗ_{XIII}(\omega, R, t)), \Phi (ССА_{XIV}(\omega, R, t)), \Phi (\Phi Д_{XV}(\omega, R, t)), \\ \Phi (ПД_{XVI}(\omega, R, t)), \Phi (ГІСП(\omega, R, t))\} \}, \quad (2.23)$$

де $\Phi (TC_1(\omega, R, t)) \dots \Phi (ПД_{XVI}(\omega, R, t)), \Phi (ГПСП(\omega, R, t))$ – унормовані випадкові функції геопараметрів (а в наступних записях – і компонентів та елементів, які входять до їхнього складу) за групами ознак геосистеми берегової зони, за які правлять адекватні групи фізико-географічних процесів за табл.2.1, тобто, від термогіроаероциркуляційної субаерально-субаквальної до полюціо-динамічної групи геопараметрів, а також, додатково, групи інтегральних, спільних і інших геопараметрів з її відповідною подальшою ієрархічною диференціацією.

Таблиця 2.1 – Класифікаційна схема груп і типів сучасних фізико-географічних процесів у береговій зоні водосховищ

Коди, назви і символи груп процесів	Коди, назви і символи типів процесів
I – термогіроаероциркуляційні субаерально-субаквальні (TC_I)	I.1 – інсоляційно-циркуляційні ($TC_{I,1}$); I.2 – аероциркуляційні ($TC_{I,2}$); I.3 – термоциркуляційні ($TC_{I,3}$); I.4 – гіроциркуляційні ($TC_{I,4}$); I.5 – комплексні циркуляційно-стратифікаційні ($TC_{I,5}$)
II – соло-дефляційно-аккумулятивні (EDA_{II})	II.1 – соло-дефляційні ($EDA_{II,1}$); II.2 – соло-аккумулятивні ($EDA_{II,2}$)
III – флювіо-гідроміграційні (FGM_{III})	III.1 – стоково-поверхневі ($FGM_{III,1}$); III.2 – стоково-підземні ($FGM_{III,2}$); III.3 – інфільтраційно-гідроміграційні ($FGM_{III,3}$)
IV – флювіо-ерозійно-алювіальні (FEA_{IV})	IV.1 – флювіо-ерозійні ($FEA_{IV,1}$); IV.2 – флювіо-алювіальні ($FEA_{IV,2}$)
V – суфозійно-карстові (CK_V)	V.1 – власне суфозійні ($CK_{V,1}$); V.2 – поверхневого та підземного карсту ($CK_{V,2}$)
VI – гравігенно-теральні (GT_{VI})	VI.1 – гравігенно-схиліві незсувні ($GT_{VI,1}$); VI.2 – гравігенно-схиліві зсувні ($GT_{VI,2}$)
VII – гідрогаłodинамічні (GGD_{VII})	VII.1 – галогідроморфізаційні ($GGD_{VII,1}$); VII.2 – ксеродегалогідроморфізаційні ($GGD_{VII,2}$)
VIII – гідродинамічно-аквальні (GDA_{VIII})	VIII.1 – хвильові забережні ($GDA_{VIII,1}$); VIII.2 – течієві забережні ($GDA_{VIII,2}$); VIII.3 – водообмінні забережні ($GDA_{VIII,3}$)
IX – потамо-флювіальні ерозійно-алювіальні ($PFER_{IX}$)	IX.1 – потамо-флювіо-ерозійні ($PFER_{IX,1}$); IX.2 – потамо-флювіо-алювіальні ($PFER_{IX,2}$)
X – гляціо-аквальні ерозійно-аккумулятивні ($GAEA_X$)	X.1 – гляціо-ерозійні ($GAEA_{X,1}$); X.2 – гляціо-аккумулятивні ($GAEA_{X,2}$)
XI – абразійно-берегові (AB_{XI})	XI.1 – абразійно-берегові незсувні ($AB_{XI,1}$); XI.2 – абразійно-берегові зсувні ($AB_{XI,2}$)
XII – абразійно-потамо-флювіо-ерозійні берегові ($APFE_{XII}$)	XII.1 – абразійно-ерозійно-берегові незсувні ($APFE_{XII,1}$); XII.2 – абразійно-ерозійно-берегові зсувні ($APFE_{XII,2}$)
XIII – наносодинамічні забережні (HDZ_{XIII})	XIII.1 – укосотвірні (відмілинові) забережні ($HDZ_{XIII,1}$); XIII.2 – наносопотокові забережні (вздовжберегові) ($HDZ_{XIII,2}$)
XIV – седиментаційно-субаквальні (CSA_{XIV})	XIV.1 – донно-грунтотвірні забережні ($CSA_{XIV,1}$); XIV.2 – донно-грунтотвірні узбережно-прибережні ($CSA_{XIV,2}$)
XV – фітоценотично-динамічні (FD_{XV})	XV.1 – фітоценотично-динамічні забережні ($FD_{XV,1}$); XV.2 – узбережно-прибережні ($FD_{XV,2}$)
XVI – полюціо-динамічні ($ПД_{XVI}$)	XVI.1 – полюціо-трансформаційні ($ПД_{XVI,1}$); XVI.2 – полюціо-міграційно-аккумулятивні ($ПД_{XVI,2}$)

Динаміка вже мезорівневої системи компонентів, наприклад гідродинамічно-аквальної або (GDA_{VIII})-групи геопараметрів берегової зони буде відповідати запису

$$D \{KM_{ГДА, VIII, np, оз}\} = \{\Phi (ГДА_{VIII.1}(\omega, R, t)), \Phi (ГДА_{VIII.2}(\omega, R, t)), \Phi (ГДА_{VIII.3}(\omega, R, t))\}, \quad (2.24)$$

де $ГДА_{VIII.1} \dots ГДА_{VIII.3}$ – коди типів фізико-географічних процесів за табл.2.1, які як ознаки "дають" відповідні назви таким компонентам гідродинамічно-аквальної групи геопараметрів, як хвильовому забережному, течієвому забережному та водообмінному забережному.

Динаміку ж мікрорівневої системи елементів, наприклад флювіо-ерозійного компонента ($\Phi EA_{IV.1}$ -компонента) флювіо-ерозійно-алювіальної групи (ΦEA_{IV} -групи) геопараметрів берегової зони (див. табл.2.1) можна записати, з огляду на склад елементів за [49], як

$$D \{KM_{\Phi EA, IV, 1, np, оз}\} = \{\Phi (\Phi EA_{IV.1.1}(\omega, R, t)), \Phi (\Phi EA_{IV.1.2}(\omega, R, t))\}, \quad (2.25)$$

де $\Phi EA_{IV.1.1} \dots \Phi EA_{IV.1.2}$ – коди видів процесів, які як ознаки правлять, відповідно, за назви таких елементів, як лінійного флювіо-ерозійного та площинного флювіо-ерозійного, які входять до складу $\Phi EA_{IV.1}$ -компонента ΦEA_{IV} -групи геопараметрів.

Інші приклади формалізації геосистем наведено у [44, 45, 49, 55, 57] і у частині 2.

Числа фіксацій і просторова область визначення (ω, R) , як і власне значення усіх випадкових функцій, відповідно поданих від запису (2.6) до запису (2.25), деталізуються зазвичай на рівні випадкових полів геоелементів стану (елементів геопоказників або геопараметрів) і можуть при цьому бути задані:

- 1) "автономно" для всієї геосистеми та/або її головних підсистем;
- 2) шляхом визначеного поєднання всіх зазначених атрибутів цих полів із просторовими областями обраних генезисно-еволюційних підсистем і/або їхніх геосистем-складників.

Приклад останнього поєднання наведено на рис.2.1. Тут значення полів такого елемента ГСП-групи, як середньовиважений індекс антропоізації фізико-географічних таксонів (див. (1.7)), розраховано і поєднано з просторовими областями фізико-географічних районів.



Рис.2.1 Середньовиважені індекси антропоізації фізико-географічних районів (на прикладі районів Житомирсько-Поліської області Поліського краю зони мішаних (хвойно-широколистяних) лісів) (коди районів – у синій рамці; індекси антропоізації за (1.7) – у білій рамці)

2.2 Стохастична структура геосистем

Головними характеристиками стохастичної структури природничої геосистеми, як динамічної системи, є набір певних стохастичних характеристик. Вони задаються зазвичай на рівні елементів геопараметрів. Утім це не виключає придатності застосування цих характеристик для більш високих рівнів модельно-параметричної формалізації геосистем і міжрівневих побудов. При цьому в прикладному аспекті, за наявності вихідної інформації, дозволяється формувати будь-які необхідні системи чи підсистеми геопоказників, геопараметрів і їхніх складників, як у межах єдиних рівнів формалізації ("горизонтально"), так і між рівнями ("вертикально").

У цілому **набір головних характеристик стохастичної структури природничої геосистеми** відповідає рівню кореляційної теорії випадкових функцій і містить:

- 1) спільні або часткові (індивідуальні) функції розподілу (ймовірностей перевищення) систем або підсистем випадкових функцій геопараметрів чи складників цих систем, які зветься *геостохастичними функціями* або, скорочено, *геофункціями*;
- 2) автокореляційні суто часові та просторово-часові функції;
- 3) вибіркові функції випадкових функцій геопараметрів різних модифікацій.

Послідовно розглянемо ці характеристики *на мікрорівні модельно-параметричної формалізації та для скалярних випадкових функцій*.

Геостохастичні функції можна кваліфікувати як теоретичні одновимірні функції розподілу (ймовірностей перевищення) унормованих другого порядку випадкових функцій певних елементів геопараметрів (*індивідуальні геостохастичні функції*) або систем таких випадкових функцій (*спільні геостохастичні функції*). Подаються геостохастичні функції у вигляді випадкових процесів або випадкових полів.

Таким чином, наприклад, **індивідуальну геостохастичну функцію певного елемента (n -го порядку) геопараметра** за умови подавання динаміки елемента у вигляді випадкового процесу ($P \{ \Phi (E L_{03,n}(\omega, t)) \}$) можна записати як

$$P_{ex,1}(x; t_j) = P \{ X(\omega, t_j) > x \} \equiv P \{ \Phi (E L_{03,n}(\omega, t)) \} , \quad (2.26)$$

у випадку подавання у вигляді скалярного випадкового поля із заданням його суто часових числових характеристик – з позначенням у вигляді $P \{ \Phi (E L_{03,n}(\omega, R, t)) \}$ записати як

$$P_{ex,1}(u; R; t_j) = P \{ U(\omega, R, t_j) > u \} \equiv P \{ \Phi (E L_{03,n}(\omega, R, t)) \} , \quad (2.27)$$

а для подавання у вигляді тривимірного скалярного випадкового поля із заданням його просторово-часових числових характеристик – з позначенням у вигляді $P \{ \Phi (E L_{03,n}(\omega, \rho, t)) \}$ записати як

$$P_{ex,1}(u; \rho; t) = P \{ U(\omega, \rho, t) > u \} \equiv P \{ \Phi (E L_{03,n}(\omega, \rho, t)) \} \quad (2.28)$$

тощо.

У формулах (2.26)-(2.28): t_j – фіксоване значення часового аргументу; x – фіксоване значення випадкового процесу; u – фіксоване значення випадкового поля; ρ – векторний аргумент тривимірного скалярного поля (радіус-вектор точки).

Відповідним чином, згідно з адекватними (2.26)-(2.27) одномірними функціями розподілу (ймовірностей неперевищення) $F_1(x; t_j)$ тощо, отримують т.зв. **індивідуальні геостохастичні щільності певних елементів геопараметрів**, які будуть вивчатися такими записами, як, наприклад, для варіанта (2.26)

$$\partial F_1(x; t_j) / \partial x = f_1(x; t_j) \equiv f \{ \Phi (E L_{oz,n}(\omega, t)) \} \quad (2.29)$$

тощо.

Для геостохастичних функцій елементів геопараметрів у інформаційному апараті природничо-географічного моделювання **найчастіше** використовують, як найбільш застосовну, їхню структуру, яка відповідає **схемі логнормального розподілу** (див. формулу (5.73) тощо у [39]). Вибір як найбільш застосовної робочої саме стохастичної схеми логнормального розподілу було зроблено, зважаючи на вже викладені нами у [39, 47] міркування. Стисло нагадуючи та об'єднуючи їх, слід відзначити таке. Логнормальний розподіл за його загальним змістом відноситься до тих ситуацій з предмету цього підрозділу, коли значення певного досліджуваного випадкового елемента геопараметра геосистеми залежать і є результатом добутку значної кількості незалежних чи слабко залежних між собою елементарних множників – чинників динаміки природничої геосистеми. Усі вони діють одночасно, відображаючи т.зв. *принцип суперпозиції*. Кожен з таких чинників окремо однозначно не визначає динаміку певного елемента геопараметра. Його конкретні просторово-часові коливання значень є наслідком суперпозиційного перетину цілої низки геоекологічних чинників і умов, які в усіх випадках містять такий чинник, як антропогенний вплив на будь-які геосистеми. Реальним наслідком комбінації цих чинників і умов і є різноспрямовані та різноперіодні збурення елементів геопараметрів. Варіантний випадковий характер цих збурень і доцільно ймовірно аналізувати для подальшого моделювання з використанням теоретичної схеми саме логнормального розподілу.

Другим за застосовністю є також **модифікований розподіл Гудріча** ([39]). Його теоретичну схему засновано на аналізі випадкових елементів геопараметрів, які утворюються в результаті монотонного (одностороннього) зростання від своїх нижніх меж до розрахункового значення. При цьому приріст значень не залежить від вже досягнутого перед цим значення.

Часткові форми розподілу Гудріча було використано нами, наприклад, у [36, 49] і далі в р.7 ч.2 для моделювання певних елементів геопараметрів гідроморфолітодинамічної групи стосовно хвилеприбійної підзони берегової зони водойм (див. далі рис.7.4). При цьому враховувалося те, що, по-перше, теоретична схема розподілу Гудріча в цілому відповідає стохастичній природі динаміки зазначених елементів геопараметрів. Це зумовлено головним чином тим, що нестационарність енергетичного потенціалу хвилювання, яке діє на хвилеприбійну підзону як один з основних чинників, не дозволяє функціонально прогнозувати особливості просторово-часових збурень відповідних характеристик цієї підзони за попередніми їхніми абсолютними значеннями. По-друге, через істотне переважання певних факторів і умов динаміки хвилеприбійної підзони, а саме вітро-хвильового режиму, режиму рівнів, транспорту наносів тощо, ієрархічна пріоритетність впливу яких залежить від типу водойм та їхніх берегів тощо, схему логнормального закону не може бути прийнято для досліджених у п.7.3 елементів геопараметрів.

Загалом же за допомогою геостохастичних функцій можна визначати ймовірність перевищення просторово-часових значень заданих елементів геопараметрів певної геосистеми, а також вирішувати й обернену до цього задачу. Вельми важливою є також доведена в наших монографіях [36, 38, 49] можливість розгляду різних систем чи підсистем унормованих випадкових функцій елементів і компонентів геопараметрів і власне геопараметрів **як незалежних у сукупності** випадкових функцій. Це забезпечується способами побудови таких функцій, насамперед їхнім унормуванням тощо. Практичне використання такої тези про незалежність дозволяє за допомогою індивідуальних геостохастичних функцій отримувати **спільні геостохастичні функції**. За них правлять функції розподілу довільно визначених систем чи підсистем випадкових функцій геопараметрів і їхніх компонентів і елементів тощо, наприклад для мікрорівня формалізації та варіанта (2.26) за формулою типу

$$P \{ \Phi (EJ_{03,n}(\omega, t))_N \} = \prod_{i=1}^N \{ \Phi (EJ_{03,n}(\omega, t))_i \} , \quad (2.30)$$

де N – кількість геостохастичних функцій, які групують на відповідному рівні, що стосується і будь-яких заданих підсистем випадкових функцій, які сукупно розглядають. Такі побудови дозволяють отримувати ймовірності одночасного перевищення в системі геофункцій різних елементів геопараметрів тощо.

Конкретні геофункції елементів геопараметрів за способом отримання числових параметрів таких функцій, розкритим далі, принципово поділяються на так звані:

– **традиційні геофункції**, які розраховуються за великими за обсягом просторово-часовими вибірками досліджуваного елемента геопараметра для однієї, інколи декількох репрезентативних природничих геосистем;

– **загальнорегіональні геофункції**, які обчислюються за великою, за кількістю геосистем чи їхніх складників, просторовою регіональною вибіркою.

Як ще один складник-характеристику стохастичної структури природничої геосистеми застосовують на рівні елементів геопараметрів **автокореляційні суто часові та просторово-часові функції** випадкових функцій зазначених елементів. Їх можна подати таким чином:

1) для варіанта за (2.26) з кінцевим позначенням у вигляді $r_{EJ_{03,n}}(t_1, t_2)$ – як

$$r_x(t_1, t_2) = R_x(t_1, t_2) / \sigma_x(t_1) \sigma_x(t_2) \equiv r (EJ_{03,n}(\omega, t)) \equiv r_{EJ_{03,n}}(t_1, t_2) , \quad (2.31)$$

де $R_x(t_1, t_2)$ – автоковаріаційна функція випадкового процесу; $\sigma_x(t_1)$ і $\sigma_x(t_2)$ – значення функції стандарту випадкового процесу, отримані для заданих значень аргументу t ;

2) для варіанта за (2.27) з кінцевим позначенням у вигляді $r_{EJ_{03,n}}(R_1, R_2; t_1, t_2)$ – як

$$\begin{aligned} r_u(R_1, R_2; t_1, t_2) &= R_u(R_1, R_2; t_1, t_2) / \sigma_u(R_1, t_1) \sigma_u(R_2, t_2) \equiv \\ &\equiv r (EJ_{03,n}(\omega, R, t)) \equiv r_{EJ_{03,n}}(R_1, R_2; t_1, t_2) , \end{aligned} \quad (2.32)$$

де R_1, R_2 – відповідні значення просторового аргументу скалярного випадкового поля із переважним задаванням його суто часових числових характеристик;

$R_u(R_1, R_2; t_1, t_2)$, $\sigma_u(R_1, t_1)$, $\sigma_u(R_2, t_2)$ – відповідно, автоковаріаційна функція і значення функції стандарту щойно зазначеного випадкового поля, отримані для заданих значень аргументів;

3) для варіанта за (2.28) з кінцевим загальним позначенням цих функцій у вигляді $r_{EL,oz,n}(\rho_1, \rho_2; t_1, t_2)$ – як

$$\begin{aligned} r_u(\rho_1, \rho_2; t_1, t_2) &= R_u(\rho_1, \rho_2; t_1, t_2) / \sigma_u(\rho_1, t_1) \sigma_u(\rho_2, t_2) \equiv \\ &\equiv r(EL_{oz,n}(\omega, \rho, t)) \equiv r_{EL,oz,n}(\rho_1, \rho_2; t_1, t_2) , \end{aligned} \quad (2.33)$$

де $R_u(\rho_1, \rho_2; t_1, t_2)$, $\sigma_u(\rho_1, t_1)$, $\sigma_u(\rho_2, t_2)$ – відповідно, автоковаріаційна функція та отримані для заданих значень аргументів значення функції стандарту тривимірного скалярного випадкового поля із відтворенням його просторово-часових числових характеристик.

Стохастичну структуру природничої геосистеми характеризують також унормованими через оператор другого порядку Φ_S **вибірковими функціями** випадкових функцій елементів геопараметрів різних модифікацій (далі, інколи, скорочено **вибірковими функціями геопараметрів**) або системами чи наборами таких функцій. Сюди слід відносити певні інформаційні засоби, у всіх подальших формулах яких емпірична ймовірність перевищення в правій частині записів визначається за формулою М.М.Чегодаєва [39, 47], а саме:

1) для варіанта за (2.26) – реалізації та перетини випадкового процесу, які, відповідно, записуються як

$$P \{ \Phi (EL_{oz,n}(\omega_0, t)) \} = \varphi \{ P_{ex,e} \{ \Phi (EL_{oz,n}(t)) \} \} , \quad (2.34)$$

$$P \{ \Phi (EL_{oz,n}(\omega, t_0)) \} = \varphi \{ P_{ex,e} \{ \Phi (EL_{oz,n}(\omega)) \} \} ; \quad (2.35)$$

2) для варіанта за (2.27), тобто стосовно динаміки елемента геопараметра, поданої у вигляді скалярного випадкового поля із задаванням його суто часових числових характеристик:

– "чисті" реалізації такого поля, які записуються як

$$P \{ \Phi (EL_{oz,n}(\omega_0, R_0, t)) \} = \varphi \{ P_{ex,e} \{ \Phi (EL_{oz,n}(t)) \} \} ; \quad (2.36)$$

– "чисті" перетини цього поля за записом

$$P \{ \Phi (EL_{oz,n}(\omega, R, t_0)) \} = \varphi \{ P_{ex,e} \{ \Phi (EL_{oz,n}(\omega, R)) \} \} ; \quad (2.37)$$

– решта змішаних просторово-часових вибірових функцій зазначеного випадкового поля для різних комбінацій у фіксації координат (x, y, z) та часового аргументу t за аналогічними попереднім записами функції емпіричної ймовірності перевищення;

3) для варіанта за (2.28), тобто стосовно динаміки елемента геопараметра, поданої у вигляді тривимірного скалярного випадкового поля із задаванням його просторово-часових числових характеристик, а отже у випадку оперування перетинами цього поля, за які правлять його точкові значення:

– "чисті" реалізації зазначеного поля за записом

$$P \{ \Phi (EJ_{03,n}(\omega, \rho, t)) \} = \varphi \{ P_{ex,e} \{ \Phi (EJ_{03,n}(t)) \} \} ; \quad (2.38)$$

– решта змішаних просторово-часових вибірковоїх функцій зазначеного випадкового поля, отриманих аналогічно вже викладеним принципам.

Детальні дослідження застосування нормувального оператора Φ_S до випадкових функцій елементів геопараметрів – для їхнього зведення до стаціонарного та ізотропного вигляду, імітації адекватних умов аналізу та моделювання стану геосистем, можливостей взаємозаміни та взаємодоповнення обмежених просторових і часових вибірковоїх функцій геопараметрів для оцінювання стану природничих геосистем – було проведено із задовільними результатами на значних за обсягом репрезентативних базах даних, вихідних стосовно геосистем різних типів (див. наші праці [36-39, 40, 47, 44, 49] тощо). Зазначені результати засвідчили ефективність, універсальність і переваги методично-прикладного застосування поданих вище стохастичних інформаційних засобів для імовірнісного математичного аналізу та геоінформаційного моделювання природничих геосистем. Такий висновок зумовлено передусім перевіреними та доведеними **опорними положеннями**, які наводяться далі.

1. Індивідуальні геостохастичні функції – функції розподілу унормованих випадкових функцій різноманітних елементів геопараметрів – інваріантні по відношенню до зсування початку відліку часового аргументу, тобто є єдиними для всіх перетинів цих функцій. Отже, такі випадкові функції, у вигляді випадкових процесів або двовимірних чи тривимірних скалярних випадкових полів за варіантами (2.26)-(2.28), зведено до стаціонарного вигляду стосовно їхнього математичного очікування (0) та дисперсії (1). Іншими словами вони є *квазістаціонарними* у часі. "Повну" ж *квазістаціонарність* у широкому розумінні зазначених випадкових функцій елементів геопараметрів підтверджує також доведена незалежність їхніх автокореляційних функцій за формулами (2.31)-(2.33) від точки початку відліку часового аргументу. Така квазістаціонарність спричинює низку трансформацій виду формул, які стосуються відповідних автокореляційних функцій за (2.31)-(2.33), а саме

$$r (EJ_{03,n}(\omega, t)) \equiv r_{EJ_{03,n}}(t_1, t_2) = r_{EJ_{03,n}}(\tau) , \quad (2.39)$$

$$r (EJ_{03,n}(\omega, R, t)) \equiv r_{EJ_{03,n}}(R_1, R_2; t_1, t_2) = r_{EJ_{03,n}}(R_1, R_2; \tau) , \quad (2.40)$$

$$r (EJ_{03,n}(\omega, \rho, t)) \equiv r_{EJ_{03,n}}(\rho_1, \rho_2; t_1, t_2) = r_{EJ_{03,n}}(\rho_1, \rho_2; \tau) , \quad (2.41)$$

де $\tau = t_2 - t_1$ – зміщення в часі, незалежне від точки його відліку.

2. Випадкові функції елементів геопараметрів у вигляді квазістаціонарних двомірних плоских скалярних полів типу $\Phi (EJ_{03,n}(\omega, \rho, t))$, тобто з $\rho (x, y)$, зведено до однорідного вигляду з нульовим математичним очікуванням і одиничною дисперсією. Іншими словами вони є *квазіоднорідними* (за простором і "горизонтально") у широкому розумінні полями і, більше того, адекватні *квазіізотропним* у широкому розумінні полям. Це цілковито підтверджується доведеною тезою про те, що автокореляційні функції таких полів залежать, крім τ , лише від скалярного аргументу

$l = |\rho_2 - \rho_1|$ – віддалі між заданими точками в системі координат (x, y) . Останньою властивістю володіють і двовимірні скалярні поля $\Phi (E_{L_{03,n}}(\omega, R, t))$, де $R \in (x, y)$. Тому ці поля також є квазіізотропними у широкому розумінні, зокрема за способом їхньої побудови, а отже спільно можна записати, що

$$r_{E_{L_{03,n}}}(R_1, R_2; \tau) = r_{E_{L_{03,n}}}(l; \tau) , \quad (2.42)$$

$$r_{E_{L_{03,n}}}(\rho_1, \rho_2; \tau) = r_{E_{L_{03,n}}}(l; \tau) , \quad (2.43)$$

де $l = \{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2\}^{0,5}$.

3.Аналогічно попередньому пункту, було доведено, що випадкові функції елементів геопараметрів у вигляді квазістаціонарних і квазіоднорідних (за простором і "вертикально") двовірних скалярних полів, на кшталт $\Phi (E_{L_{03,n}}(\omega, \rho, t))$ (з $\rho (x, z)$ чи з $\rho (y, z)$) або на кшталт $\Phi (E_{L_{03,n}}(\omega, R, t))$ (з $R \in (x, z)$ чи $R \in (y, z)$), є квазіізотропними у широкому розумінні, а отже

$$r_{E_{L_{03,n}}}(R_1, R_2; \tau) = r_{E_{L_{03,n}}}(l; \tau) , \quad (2.44)$$

$$r_{E_{L_{03,n}}}(\rho_1, \rho_2; \tau) = r_{E_{L_{03,n}}}(l; \tau) , \quad (2.45)$$

де $l = \{(x_2 - x_1)^2 + (z_2 - z_1)^2\}^{0,5}$ або $l = \{(y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2\}^{0,5}$.

4.Наслідково до перших трьох пунктів можна вважати, що випадкові функції елементів геопараметрів у вигляді унормованих одноаргументних скалярних полів $\Phi (E_{L_{03,n}}(\omega, R))$ є також квазіізотропними у широкому розумінні. Така ж властивість стосовно зазначених випадкових функцій у вигляді векторних випадкових полів потребує окремого дослідження та специфічних побудов.

5.Використання унормованих реалізацій і перетинів у інформаційному апараті природничо-географічного моделювання імітує адекватні умови проведення стохастичних дослідів для наступних геоінформаційно-модельних оцінювань стану природничих геосистем. Тобто, при застосуванні запропонованих вище інформаційних засобів імовірнісного матаналізу динаміки елементів геопараметрів, яка трансформується через унормовані випадкові процеси чи поля, комплекс впливів і зв'язків геосистем, який враховується, буде постійним. Відрізнитися при цьому буде тільки інтенсивність впливу чинників динаміки геосистем. Останнє і буде інтегрально враховуватися у власне екстремальних значеннях унормованих вибіркового функцій геопараметрів і, одночасно, у значеннях їхніх детермінованих складників, а саме їхніх вихідних вибіркового середніх. Значно збільшується число подібних ситуацій – практично до більшості наявних спостережень, – за яких різні вибіркового функції розподілу можна спільно розглядати для визначення потрібних складників стохастичної структури природничих геосистем під час матаналізу та геоінформаційного моделювання їхнього стану.

6.На просторово-часову динаміку елементів геопараметрів поширюються **власності** т.зв. **умовної ергодичності** (або **квазіергодичності**) **випадкових функцій елементів геопараметрів** природничої геосистеми. Вони відмінні за змістом від "традиційних" міркувань стосовно ергодичності випадкових функцій. Ці квазіергодичні властивості свідчать про те, що:

1) об'єднання вибірових функцій за певною кількістю перетинів випадкової функції обраного елемента геопараметра – з відносно великою кількістю значень елемента в кожному перетині навіть при обмеженому інтервалі зміни часового аргументу t – достатньо повно характеризує екстремальні значення кожного зазначеного елемента та універсальні параметри його геостохастичної функції;

2) об'єднання вибірових функцій за певною кількістю реалізацій випадкової функції обраного елемента геопараметра – на відносно великому інтервалі зміни аргументу t навіть при обмеженому числі значень елемента у кожному перетині – достатньо добре характеризує коливання значень кожного зазначеного елемента та універсальні параметри його геостохастичної функції;

3) елементно-індивідуальні параметри геостохастичної функції та відповідної автокореляційної функції випадкової функції елемента геопараметра, що вивчається, визначені за даними про динаміку цього елемента навіть для однієї геосистеми чи її репрезентативної підсистеми або для вибіркового їхнього набору на основі значної кількості просторово-часових вимірювань, відносяться і до сукупності геосистем або їхніх підсистем;

4) елементно-індивідуальні параметри геостохастичної функції певного елемента геопараметра, отримані для вибірки значень такого елемента у перетині його випадкової функції, за умови, що ця вибірка сформована об'єднанням пооб'єктних зафіксованих значень елемента для істотного за кількістю набору природничих геосистем чи їхніх підсистем у масштабі регіону тощо, є єдиними та відносяться до будь-якого набору геосистем, зокрема й одиничних. Універсальність параметрів розподілу в даному випадку досягається за рахунок наближення об'єднаних значень елемента геопараметра у його вибіркового перетині до властивостей генеральної сукупності таких значень шляхом "вагомого" збільшення фіксації аргументів ω або (ω, R) .

Отримані, саме за зазначеним у четвертому підпункті підходом, геостохастичні функції і відрізняються назвою "загальнорегіональні" від традиційних геофункцій, універсальні параметри яких отримуються за підходами першого-третього підпунктів.

Використовуючи щойно викладені положення, шляхом відповідної їм полікритеріальної стохастичної обробки та верифікації даних, детальну методику яких викладено у наших працях ([36, 40]), і визначаються **універсальні параметри геостохастичних і заданих автокореляційних функцій випадкових функцій елементів геопараметрів природничих геосистем**, які досліджуються. До речі, це було вже зроблено для цілої низки елементів геопараметрів різноманітних за рангом та генетично-функціональними ознаками геосистем та їхніх підсистем у [36, 37, 44, 45, 49, 55] тощо. При цьому, для отримання параметрів геофункцій під час апроксимації емпіричних вибірок **логнормальним законом розподілу**, що, як вже зазначалось, є найбільш доцільним і розповсюдженим для такої апроксимації, застосовують створений спеціальний програмний модуль екоцентра "НІЦ ВЕМОВ" (див. [39, 47]).

Як інструмент оптимізації режимів функціонування та експлуатації природничих геосистем, за умов геоекологічного нормування та обґрунтування природоохоронних заходів, застосовують **детерміновано-стохастичні моделі динаміки гео-**

системи. Їх скорочено названо *геостохастичними моделями*. Ці моделі отримуються на основі геостохастичних функцій і мають **загальний вигляд для рівня елементів геопоказників**, на якому вони найчастіше і застосовуються,

$$EЛ_{03,n}(\omega, R, t) = EЛ_{03,n}(R, t)^* + \Phi(EЛ_{03,n}(\omega, R, t)) \cdot \sigma(EЛ_{03,n}(R, t)) , \quad (2.46)$$

де $EЛ_{03,n}(\omega, R, t)$ – просторово-часові випадкові функції елементів геопоказників геосистеми; $EЛ_{03,n}(R, t)^*$ – функції математичного очікування випадкових функцій цих елементів; $\Phi(EЛ_{03,n}(\omega, R, t))$ – функції елементів геопараметрів геосистеми; $\sigma(EЛ_{03,n}(R, t))$ – функції стандарту елементів геопоказників геосистеми.

Геостохастичні моделі є **моделями розрахунку та прогнозу стану природничої геосистеми**, які відтворюють просторово-часові значення елементів геопоказників геосистеми визначеної, зокрема спрогнозованої, ймовірності перевищення за потрібними умовами та рівнями. Тому такі моделі, *в залежності від прийнятих законів розподілу та спрямованості динаміки геосистеми*, використовують на часовому, просторовому, просторово-часовому і ін. підрівнях (див. далі), дотримуючись загальної структури для елементів геопоказників

$$EЛ_{03,n}(R, t)_{Pex} = EЛ_{03,n}(R, t)^* \cdot (1 + \Phi(EЛ_{03,n}(R, t))_{Pex} \cdot C_v(EЛ_{03,n}(R, t))) , \quad (2.47)$$

де $EЛ_{03,n}(R, t)_{Pex}$ – просторово-часове значення заданого елемента геопоказника визначеної ймовірності перевищення P_{ex} в часі (режимі) (t) , просторі (системі) (R) чи одночасно комбінаційно (R, t) ; $\Phi(EЛ_{03,n}(R, t))_{Pex}$ – адекватні $EЛ_{03,n}(R, t)_{Pex}$ унормовані другого порядку квантили теоретичної функції його розподілу (ймовірностей перевищення); $C_v(EЛ_{03,n}(R, t))$ – відповідні значення функції коефіцієнтів варіації заданого елемента геопоказника в режимі чи системі в залежності від моделей, що використовуються, тобто моделей оцінювання або прогнозування стану геосистеми тощо (див. далі).

У випадку найбільш широко вживаного **логнормального розподілу, геостохастичні моделі** згідно з (2.46)-(2.47) можна подати в такому *загальному розрахунковому вигляді*, як

$$EЛ_{03,n}(R, t)_{Pex} = EЛ_{03,n}(R, t)^* \cdot (C_v(EЛ_{03,n}(R, t)) \cdot \Phi_{\log-n, S_{EL}}(EЛ_{03,n}(R, t))_{Pex} + 1) , \quad (2.48)$$

де $EЛ_{03,n}(R, t)_{Pex}$ – просторово-часове значення елемента геопоказника визначеної, зокрема спрогнозованої, ймовірності перевищення P_{ex} (у частках одиниці); $EЛ_{03,n}(R, t)^*$ – середнє детерміноване просторово-часове значення елемента; $C_v(EЛ_{03,n}(R, t))$ – певним чином визначене або задане значення функції коефіцієнта варіації елемента геопоказника в режимі чи системі; $\Phi_{\log-n, Pex}(EЛ_{03,n}(R, t))_{Pex}$ – унормовані 2-го порядку квантили функції логнормального розподілу (ймовірностей перевищення) для відповідних коефіцієнта скошеності S_{EL} , коефіцієнта асиметрії $C_{S, EL}$ та P_{ex} як розрахункової чи спрогнозованої ймовірності перевищення.

За таких умов доцільно застосовувати **декілька розрахунково-прогнозувальних підрівнів геостохастичних моделей** (2.48). За ці підрівні правлять:

1) "суто" часовий або режимний підрівень (розрахунково-прогнозувальний)

$$EJ_{oz,n}(t)_{Pex} = EJ_{oz,n}(t)^* \cdot (C_v(EJ_{oz,n}(t)) \cdot \Phi_{log-n,Set}(EJ_{oz,n}(t))_{Pex} + 1) , \quad (2.49)$$

де $EJ_{oz,n}(t)_{Pex}$ – розрахунково-спрогнозоване значення елемента геопоказника розрахункової режимної ймовірності перевищення P_{ex} ; $EJ_{oz,n}(t)^*$ – середнє детерміноване значення елемента для визначених (ω_0, R_0) ; $C_v(EJ_{oz,n}(t))$ – значення функції коефіцієнта варіації елемента в режимі (часі), яке визначають як фактичне натурне, задають як середнє чи максимальнє або розраховують за зв'язками з чинниками динаміки елемента тощо; $\Phi_{log-n,Set}(EJ_{oz,n}(t))_{Pex}$ – розрахунковий унормований квантиль елемента, який відповідає ймовірності перевищення розрахункового або реального рівня навантаження на геосистему або розрахункового рівня її стану (див. далі п.2.3);

2) "суто" просторовий або системний підрівень (розрахунково-прогнозувальний)

$$EJ_{oz,n}(R)_{Pex} = EJ_{oz,n}(R)^* \cdot (C_v(EJ_{oz,n}(R)) \cdot \Phi_{log-n,Set}(EJ_{oz,n}(R))_{Pex} + 1) , \quad (2.50)$$

де $EJ_{oz,n}(R)_{Pex}$ – розрахунково-спрогнозоване значення елемента геопоказника розрахункової ймовірності перевищення P_{ex} , яка задається просторово для певних підсистем геосистеми; $EJ_{oz,n}(R)^*$ – середнє детерміноване, зосібна й фактичне, значення елемента в досліджуваній підсистемі геосистеми при (R_0, t_0) ; $C_v(EJ_{oz,n}(R))$ – значення функції коефіцієнта варіації елемента за простором підсистеми; $\Phi_{log-n,Set}(EJ_{oz,n}(R))_{Pex}$ – унормований квантиль відповідної P_{ex} для $C_{S,EJ}$ елемента, значення якого спрогнозоване.

Примітка. Моделі (2.49)-(2.50) у більшості випадків мають застосовуватися за умов відносної відсутності загальної тенденції у динаміці елементів геопоказників, які досліджуються;

3) режимно-системний підрівень (прогнозувальний)

$$EJ_{oz,n}(R)_{Pex} = EJ_{oz,n}(t)_{Pex} \cdot (C_v(EJ_{oz,n}(R)) \cdot \Phi_{log-n,Set}(EJ_{oz,n}(R))_{Pex} + 1) , \quad (2.51)$$

де $EJ_{oz,n}(R)_{Pex}$ – спрогнозоване значення елемента визначеної P_{ex} ; $EJ_{oz,n}(t)_{Pex}$ – змінна величина часових прогнозувальних залежностей за умов односпрямованої чи систематичної загальної тенденції у динаміці елемента геопоказника. Ця змінна визначається як середній спрогнозований показник з використанням структури моделі (2.49);

4) будь-які комбінації з перших трьох підрівнів із застосуванням параметричного атрибуту висоти або глибини;

5) інші змішані просторово-часові підрівні розрахунково-прогнозувальних геостохастичних моделей.

Детерміновані складники моделей елементів геопараметрів геосистеми (2.49)-(2.51) можна визначати або за фактичними даними моніторингу, або створюючи чи застосовуючи відповідні існуючі моделі процесів у різних типах природничих геосистем і їхніх підсистемах, модулях тощо (див., наприклад, [40] і ч.2).

Для розподілу Гудріча геостохастичні моделі згідно з (2.46)-(2.47) дещо відрізняються за змістом параметрів від моделей (2.48) і мають загальний розрахунковий вигляд

$$EL_{03,n}(R,t)_{Pex} = EL_{03,n}(R,t)^* \cdot \{ \{ C_v (EL_{03,n}(R,t)) \times x \{ y_{el} (-lg P_{ex}(EL_{03,n}(R,t)))^{1/Z_{el}} - D_{el} \} + 1 \} \}, \quad (2.52)$$

де, крім аналогічних до (2.48) значень, y_{el} , Z_{el} та D_{el} є відповідними певному елементу геопоказника коефіцієнтами моделей, які визначаються за [36] тощо та, стосовно геосистем берегової зони, розглянуті в п.7.3, як і підрівні моделі (2.52).

Зміст моделей (2.49)-(2.51), викладений вище, відповідає випадку, коли такі моделі побудовано на основі традиційних геостохастичних функцій. Підходи, способи та зміст моделювання з використанням вже не традиційних, а регіональних геостохастичних функцій, окремо розглянуто в наших працях [37, 38, 49] тощо. При цьому, за ідентичності загальної структури обох щойно зазначених видів моделей, яка відповідає (2.47), або для логнормального розподілу – (2.48) та розподілу Гудріча – (2.52), принциповою відмінністю моделей на основі регіональних геофункцій є змістове задавання ймовірностей перевищення унормованих квантилів. У результаті цього й отримують розрахункові чи прогнозні значення елементів геопоказників, які теж несуть чітко визначений зміст у динаміці певних природничих геосистем або процесах, які досліджуються, тощо.

2.3 Стійкість і надійність геосистем

Для оптимізації режимів функціонування природничих геосистем, як супутньої задачі геоecологічно-економічної регламентації та управління ресурсокористуванням в цих системах, безпосередньо застосовують моделі та алгоритми оцінювання стану геосистеми за двома класами критеріїв. Ними є критерії стійкості, що подається символом "*C(ГЕО)*", та надійності, яку маркує символ "*H(ГЕО)*", за групами, компонентами і елементами показників і параметрів стану геосистеми. За таких заставок використовують наступну *термінологію, принципи, моделі та підходи*.

Стан природничої геосистеми у широкому тлумаченні розглядається як сукупність змінних в процесі еволюції та антропогенного впливу властивостей геосистеми та/або її підсистем заданого рівня, які тестують у або за визначений момент часу за прийнятими критеріями. Останні встановлюють на основі комплексного аналізу для оцінювання *ознак стану* геосистеми.

Примітка. Для різного за набором і пріоритетністю складу груп показників або параметрів стану природничої геосистеми, можливим є оперування **різнovidами** або **складниками стану геосистеми**. А саме, наприклад, у випадку пріоритетного ряду в дослідженні параметрів геосистеми, відповідно, за групами (*PE*), (*ET*), (*ГФХ*), (*ВГ*) і далі іншими, означеними за (2.20), ведуть мову про **радіогідроекоecологічний стан геосистеми**, або ж за істотного домінування (*PE*)-групи – про **радіоекоecологічний стан** тощо. Таким же чином можна сформулювати дефініції інших різновидів або складників стану геосистеми у широкому розумінні, наприклад, згідно з (2.20)-(2.23)), екоотоксикологічний, гідрогалодинамічний, гравігенний тощо.

Рівень стану природничої геосистеми визначають, по-перше, за ознаками стійкості геосистеми як ступінь відповідності властивостей геосистеми та/або її складників геоекологічно заданим еталонним показникам на основі оцінювання згідно з моделями, прийнятими за типом геосистеми чи її підсистем. По-друге, такий рівень за ознаками надійності геосистеми – це міра здатності потенціалу геосистеми чи її складників виконувати чинні, можливі або доцільні (оптимальні) природно-соціально-економічні функції за реальної чи геоекологічно-економічно збалансованої ситуації у ресурсокористуванні в геосистемі.

Примітка. Під час комплексного моделювання рівня стану геосистеми спільно враховуються як **абсолютні характеристики власне стану різних її таксонів, так і співвіднесені між модулями геосистеми характеристики її статусів** за групами показників і параметрів. Наприклад, токсикологічний статус може відображати співвідношення концентрацій токсичних речовин у рослинному та ґрунтовому модулях суходільної геосистеми або у модулі донних відкладів і водному модулі аква-теральної геосистеми тощо (див. [36, 49]).

Власне **ознаками стану природничої геосистеми** є фактичні числові значення найчастіше елементів геопоказників такої системи та її геопараметрів (скорочено *геоелементів стану*), потрібні їхні комбінації, співвідношення та похідні від цих значень і якісні характеристики за встановленими критеріями.

Еталонні показники властивостей геосистеми та/або її складників визначаються, з одного боку, на основі нормативно-методичних документів, передусім керівництв чи рекомендацій з геоекологічного обґрунтування проектів природокористування, екологічних нормативів тощо. З іншого боку, такі еталонні показники обґрунтовуються за результатами наукових розробок згідно з типами геосистеми та з урахуванням типів ПСЕФ геосистеми.

Загальну класифікаційну схему складників рівня стану (стійкості та надійності) природничо-географічної геосистеми з її таксономічним рядом від класу до підвиду цих складників наведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Загальна класифікаційна схема складників рівня стану (стійкості та надійності) природничо-географічної геосистеми (ГЕО)

Клас, тип, підтип, вид, підвид складників рівня стану геосистеми	Основний зміст параметризації складників	Параметрична форма моделювання складників (реалізована або перспективна)
1. Стійкість (С(ГЕО)):		
1.1. Фазова стійкість (ФС(ГЕО)):	Міра саморегуляційної здатності ГЕО, зумовлена стадією (етапом) її еволюції та/або сукцесії	За підтипами, видами та підвидами ФС(ГЕО) з огляду на типи геосистем
1.1.1. фазово-антропоізаційна стійкість (ФАС(ГЕО))	Міра "залишкової" здатності ГЕО до саморегуляції, обернена до міри її антропоізації	Індекс ФАС(ГЕО) за (2.55)-(2.56) і категорії і класи рівня стану за ознаками ФАС(ГЕО) (табл.2.3) для суходільних геосистем і аква-теральних геосистем водотоків

Клас, тип, підтип, вид, підвид складників рівня стану геосистеми	Основний зміст параметризації складників	Параметрична форма моделювання складників (реалізована або перспективна)
1.1.2. фазово-етологічна стійкість (ФЕС(ГЕО)), зокрема:	Міра сформованості структури ГЕО та/або збереження основних структуротвірних відношень (наприклад, відношень гідрофункціонування басейнової геосистеми, БГ, сформованості екомережі, МЕМ, тощо)	За видами і підвидами ФЕС(ГЕО), зважаючи на типи геосистем
1.1.2.1. гідромережна ФЕС(БГ) (ГФЕС(БГ)):	Міра трансформації (квазі)природних елементів гідромережі за ступенем і способом зміни та регулювання водного режиму	Індекс ГФЕС(БГ) за (5.11) і категорії рівня стану за ознаками ГФЕС(ГЕО) (етологічної трансформації гідромережі) (табл.5.1) для басейнових геосистем (п.5.1)
1.1.2.2. вододільно-водозбірна ФЕС(БГ) (ВВФЕС(БГ)):	Міра антропогенної трансформації місцезнаходження (квазі)природного вододілу та водозбору	За підвидами ВВФЕС(БГ) для басейнових геосистем (див. п.5.1)
1.1.2.2.1. вододільна ФЕС(БГ) (ВДФЕС(БГ))	Міра перерізання вододілів вершинами ерозійних форм	Індекс ВДФЕС(БГ) за (5.14) і категорії рівня стану за ознаками ВДФЕС(БГ) (вододільної дискретності) (табл.5.2) для басейнових геосистем (див. п.5.1)
1.1.2.2.2. водозбірна ФЕС(БГ) (ВЗФЕС(БГ))	Міра зменшення (редукції) або розширення (експансії) площі водозбору	Індекс ВЗФЕС(БГ) за (5.16)-(5.17) і категорії рівня стану за ознаками ВЗФЕС(БГ) (водозбірної редукції або експансії) (табл.5.3-5.4) для басейнових геосистем (див. п.5.1)
1.1.2.3. екомережна ФЕС(МЕМ) (ЕМФЕС(МЕМ))	Міра сформованості (зв'язності) територіальної структури екомережі	Індеси сформованості екомережі (6.67)-(6.68) й категорії рівня стану екомережі за ознаками ЕМФЕС(МЕМ) (табл.6.6) (див. п.6.2.2)
1.1.2.4. ФЕС(ГЕО) інших видів (ІВФЕС(ГЕО))	Ознаки, які зумовлюються різними типами геосистем і їхніми атрибутами	Спеціальні метричні і/або топологічні змістові індекси та адекватні їм категорійно-класифікаційні схеми рівнів стану для різних типів геосистем
1.2. Параметрична стійкість (ПС(ГЕО)):	Міра відповідності параметрам, еталонним за властивостями, структурою та типовими особливостями (квазі)природної підсистеми ГЕО	За підтипами, видами і підвидами ПС(ГЕО) з огляду на типи геосистем

Клас, тип, підтип, вид, підвид складників рівня стану геосистеми	Основний зміст параметризації складників	Параметрична форма моделювання складників (реалізована або перспективна)
1.2.1. параметрично-процесна стійкість (ППС(ГЕО)), зокрема:	Міра відповідності еталонним для параметрів основних структуротвірних і ін. процесів і/або наслідків їхньої комбінації в ГЕО, зосібна:	Загальнофункціональний індекс ППС(ГЕО) за (2.59) з його деталізацією за видами (підвидами) ППС(ГЕО) і типами геосистем, додатково зважаючи на особливості геосистем натурально-антропогенної та антропогенної підсистем
1.2.1.1. флювіо-ерозійна ППС(ГЕО) (ФЕППС(ГЕО))	– флювіо-ерозійних процесів;	Індекс ФЕППС(ГЕО) за (2.63) і категорії та класи рівня стану за ознаками ФЕППС(ГЕО) (інтенсивності ерозії) (табл.2.5) для суходільних геосистем
1.2.1.2. радіогеоекологічна ППС(ГЕО) (РГППС(ГЕО))	– процесів радіоактивного забруднення;	Індекс РГППС(ГЕО) за (2.67) і категорії та класи рівня стану за ознаками РЕППС(ГЕО) (табл.2.6) для суходільних геосистем
1.2.1.3. ацидифікаційна ППС(ГЕО) (АЦППС(ГЕО))	– процесів ацидифікації;	Індекс АЦППС(ГЕО) за (2.69) і категорії та класи рівня стану за ознаками АЦППС(ГЕО) (ступеня ацидифікації) (табл.2.8) для суходільних геосистем
1.2.1.4. ґрунтово-самоочищувальна ППС(ГЕО) (ІСППС(ГЕО))	– процесів самоочищення ґрунтів	Індекс ІСППС(ГЕО) за (2.72) і категорії та класи рівня стану за ознаками ІСППС(ГЕО) (здатності ґрунтів до самоочищення) (табл.2.10) для суходільних геосистем
1.2.1.5. ППС(ГЕО) інших видів (ІВППС(ГЕО))	Ознаки, які визначаються іншими різновидами процесів у певних геосистемах	Спеціальні змістові індекси та адекватні їм категорійно-класифікаційні схеми рівнів стану для різних процесів і типів геосистем
1.2.2. параметрично-відновлювальна стійкість (ПВС(ГЕО))	Міра здатності ГЕО до відновлення власних властивостей і особливостей за рахунок складників натурально-антропогенної підсистеми ГЕО	Індекс ПВС(ГЕО) як аналог індексу геоecологічної ситуації (в землекористуванні тощо) за (2.73)-(2.74) і категорії та класи рівня стану за ознаками ПВС(ГЕО) (геоecологічної ситуації) (табл.2.11) для суходільних геосистем і аква-теральних геосистем водотоків

Клас, тип, підтип, вид, підвид складників рівня стану геосистеми	Основний зміст параметризації складників	Параметрична форма моделювання складників (реалізована або перспективна)
1.2.3. параметрично-інтегральна стійкість (ПІС(ГЕО)):	Міра відповідності комплексних параметрів еталонним як інтегральне відображення рівня стану ГЕО у цілому	За видами і підвидами ПІС(ГЕО), зважаючи на типи геосистем
1.2.3.1.водно-стокова ПІС(БГ) (ВСПІС(БГ)):	Міра здатності водотоку басейнової ГЕО (БГ) до самоочищення та забезпечення "нормального" плину певних природних процесів, зокрема:	За підвидами ВСПІС(БГ) для басейнових геосистем (див. п.5.1)
1.2.3.1.1.загально-самоочищувальна ВСПІС(БГ) (ЗСВСПІС(БГ))	– загальна міра здатності до самоочищення за рахунок розбавлення стічних вод водним стоком	Індекс ЗСВСПІС(БГ) за (5.19)-(5.20) і категорії та класи рівня стану за ознаками ЗСВСПІС(БГ) (здатності до самоочищення) (табл.5.7) для басейнових геосистем (див. п.5.1)
1.2.3.2.водно-якісна ПІС(БГ) (ВЯПІС(БГ))	Міра відповідності симплексних і комплексних, серед них інтегральних, параметрів якості води водотоку басейнової геосистеми еталонним	Моделі компонентної, блокової та інтегральної оцінки рівня стану за (5.22)-(5.25) і категорії та класи такого рівня за ознаками ВЯПІС(БГ) (табл.5.8) для басейнових геосистем (див. п.5.1)
1.2.3.3. екомережна структурно-функціональна ПІС(МЕМ) (ЕСФ ПІС(МЕМ))	Міра розвиненості екомережі за її основними елементами й визначеність їхньої функціональної ролі в мережній структурі	Метричні показники екомережі за (6.69)-(6.82); топологічні індекси за матрицею доступності вершин графа екомережі, а також синтетичні індекси значущості ядер і екокоридорів ([44, 51]) (див. п.6.2.2)
1.2.4. ПІС(ГЕО) інших видів (ІВПІС(ГЕО))	Ознаки, які зумовлюються різними типами геосистем і їхніми атрибутами	Спеціальні змістові параметри та адекватні їм категорійно-класифікаційні схеми рівнів стану для різних типів геосистем
2. Надійність (Н(ГЕО)):		
2.1."повномірільна" надійність (ПН(ГЕО))	Міра здатності ГЕО виконувати або посилювати вимогові геопозитивні чи обмежувати або ліквідувати геонегативні природно-соціально-економічні функції та міра оптимальності режиму експлуатації ГЕО	Критеріальні залежності за (1.11), (1.17), (1.18) і (2.77)

Клас, тип, підтип, вид, підвид складників рівня стану геосистеми	Основний зміст параметризації складників	Параметрична форма моделювання складників (реалізована або перспективна)
2.2.умовна надійність (УН(ГЕО)):	Повноструктурна міра умовної надійності ГЕО	Повноструктурний інтегральний індекс умовної надійності за (2.78)-(2.79)
2.2.1.тестова (індикаторна) УН(ГЕО) (ТІУН(ГЕО))	Тестова (індикаторна) міра умовної надійності МУБГ	Тестовий інтегральний індекс умовної надійності за (2.80) і категорії рівня стану за ознаками надійності (табл.2.13)

Стійкість природничої геосистеми (С(ГЕО)) розглядається як здатність складників її (квазі)природної підсистеми зберігати в умовах антропогенних і природних впливів на них, насамперед геоecологічно негативних (див. табл.2.2), власні властивості, структуру та класифікаційні особливості головним чином за рахунок саморегуляції, враховуючи підсилення такої регуляції вже реалізованими природоохоронними заходами, передусім законодавчими, організаційними, технологічними тощо.

Примітка. Стійкість натурально-антропогенної і антропогенної підсистем геосистеми та/або їхніх складників, як і загалом технічний стан цих підсистем, має, за необхідності, понятійно визначатися та регламентуватися окремо (див. [40, 49]).

Стійкість геосистеми як перший клас складників рівня її стану поділяється на два її типи – фазову (**ФС(ГЕО)**) та параметричну (**ПС(ГЕО)**), а отже

$$\{C(ГЕО)\} \in \{ФС(ГЕО); ПС(ГЕО)\} . \quad (2.53)$$

Фазова стійкість природничої геосистеми (ФС(ГЕО)) в цілому кваліфікується як власне саморегуляційна здатність цієї системи, яку поєднано з фазою (етапом) її еволюції та/або сукцесії в умовах антропогенного впливу. Таку здатність зумовлено певними чинниками, що й визначає сутність фазової стійкості за її головними підтипами. До них належать **фазово-антропізаційна (ФАС(ГЕО))** і **фазово-етологічна (ФЕС(ГЕО)) стійкості**, звідки

$$\{ФС(ГЕО)\} \in \{ФАС(ГЕО); ФЕС(ГЕО)\} . \quad (2.54)$$

Фазово-антропізаційна стійкість (ФАС(ГЕО)) кількісно знаходиться в оберненому зв'язку із ступенем антропізації (квазі)природної генезисно-еволюційної підсистеми ГЕО та/або її складників і віддзеркалює міру їхньої "залишкової", на час моделювання, здатності до саморегуляції. Для чисельного моделювання цієї стійкості застосовується, по-перше, *індекс фазово-антропізаційної стійкості* ($I_{ФАС}$, у %) геосистем (квазі)природної підсистеми, які моделюються. По-друге, оперують категорійно-класифікаційною схемою рівнів стану ГЕО за ознаками її фазово-антропізаційної стійкості (здатності до саморегуляції) (табл.2.3), яка відповідно враховує зміст табл.1.1 і табл.1.3. Зазначений індекс визначається як обернений для відповідних індексів антропізації: для суходільних геосистем ($I_{ФАС,Т}$, у %) за (2.55) з

прикладом на рис.2.2, а для аква-теральних геосистем водотоків ($I_{\Phi AC,AT}$, у %) – за (2.56), тобто

$$I_{\Phi AC,T} = 100 - I_{ANT,T}^{**} , \quad (2.55)$$

$$I_{\Phi AC,AT} = 100 - I_{ANT,AT}^{**} , \quad (2.56)$$

де $I_{ANT,T}^{**}$ і $I_{ANT,AT}^{**}$ – відповідно, індекси антропоізації за (1.7) і (1.8) (у %).

Таблиця 2.3 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її фазово-антропоізаційної стійкості (здатності до саморегуляції)

Значення $I_{\Phi AC,T}$ за (2.55) або $I_{\Phi AC,AT}$ за (2.56), %	Здатність до саморегуляції (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
$\geq 84,2$	вельми сильна (1)	відмінний (I)
(84,2...71,7]	сильна (2)	добрий (II)
(71,7...60,8]	середня (3)	задовільний (III)
(60,8...49,6]	послаблена (4)	незадовільний (IV)
(49,6...36,3]	слабка (5)	
(36,3...20,5]	вельми слабка (6)	поганий (V)
$< 20,5$	гранично слабка (7)	



Рис.2.2 Рівні стану фізико-географічних районів за ознаками їхньої фазово-антропоізаційної стійкості (на прикладі районів Житомирсько-Поліської області Поліського краю зони мішаних (хвойно-широколистяних) лісів) (9...19 – коди районів; 63,1%...35,1% – індекси фазово-антропоізаційної стійкості районів $I_{\Phi AC,T}$ за (2.55); 3...6 – категорії рівня стану районів за табл.2.3)

Примітка. Наявність категорійно-класифікаційних схем рівнів стану природничої геосистеми, аналогічних поданій в табл.2.3, за ознаками складників стійкості цієї системи є імпе-

ративною умовою параметризації її рівня стану. При цьому універсальне вирізнення у таких схемах, за можливості й доцільності, п'яти класів рівня стану геосистеми, від відмінного до поганого, уможливорює, з одного боку, інтегральні оцінювання стійкості за набором її різновидів. З іншого боку, відповідність геосистем певному класу рівня їхнього стану визначає і необхідність та черговість і нагальність геоecологічно-стабілізаційних заходів для цієї геосистеми та їхній склад (див. р.3-4).

Фазово-етологічна стійкість (ФЕС(ГЕО)) загалом відображає міру сформованості структури природничої геосистеми та/або збереження її основних структуротвірних відношень. Підходи до моделювання такої стійкості визначаються типами геосистем, які, у свою чергу, зумовлюють ідентифікацію певних видів ФЕС(ГЕО).

Зокрема, для екомережних геосистем модельно оцінюється, як вид, екомережна фазово-етологічна стійкість (ЕМФЕС(МЕМ)) як міра сформованості (зв'язності) територіальної структури екомережі, що моделюється (МЕМ). Для цього розроблено відповідні індекси сформованості екомережі (6.67)-(6.68) та категорії рівня стану екомережі за ознаками ЕМФЕС(ГЕО) (табл.6.6) (див. далі п.6.2.2).

Натомість для басейнових геосистем фазово-етологічна стійкість у цілому відображає ступінь збереження відношень гідрофункціонування – основних структуротвірних у басейновій ЛТС. А отже, ця стійкість визначає ступінь ексцесу ієрархічної впорядкованості й цілісності формування та існування водно-міграційних речовинно-енергетичних потоків і зв'язків у межах як басейнових геосистем загалом, так і в межах їхніх басейнових територіальних підсистем, насамперед суббасейнових геосистем. Фазово-етологічну стійкість басейнових геосистем (БГ або МУБГ, див. р.5) може бути поділено на головні види за певними її ознаками, а саме:

– ознаками віддзеркалення міри трансформації (квазі)природних елементів гідромережі басейнових геосистем за ступенем і способом зміни і регулювання їхнього водного режиму. Відповідний такому вид кваліфікується як гідромережна ФЕС (ГФЕС(БГ)). Вона чисельно моделюється за відповідними індексами ГФЕС(БГ) за (5.11) і категоріями рівня стану за ознаками цієї стійкості (етологічної трансформації гідромережі) (табл.5.1) (див. далі п.5.1);

– ознаками відображення міри трансформації місцезнаходження (квазі)природних вододілу та водозбору, як басейнових геосистем у цілому, так і інших заданих їхніх басейнових територіальних підсистем. При цьому під зазначеною трансформацією розуміється визначеність або невизначеність вододілу й водозбору, зменшення чи розширення площі водозбору, "розірвання" вододілу внаслідок перерізання вершинами ерозійних форм тощо. Адекватний зазначеному вид ідентифікується як вододільно-водозбірна ФЕС (ВВФЕС(БГ)) з її підвидами та відповідними засобами моделювання (моделі (5.14)-(5.17) і табл.5.2-5.4, див. далі п.5.1).

Крім щойно зазначених оперують також іншими ознаками, за якими вирізняють набір інших видів ФЕС (ІВФЕС(ГЕО)). За ними можна, зокрема, модельно оцінювати:

1) для геосистем басейнової ЛТС:

– міру узгодження орієнтації певних просторових складників натурально-антропогенної та антропогенної підсистем з орієнтацією (квазі)природних елементів гідромережі;

– міру антропогенно зумовлених змін складу гідромережі, враховуючи і руслові, і неруслові суббасейни;

– міру змін плинущ процесів заростання, пересихання й перемерзання різнорангових водотоків басейнових геосистем тощо (див. [55]);

– узагальнену міру структурно-функціональної трансформації та розвитку малих урболандшафтних басейнових геосистем (МУБГ), яка ідентифікує такий вид стійкості, як загальнофункціональна ФЕС(ГЕО) (як ЗФЕС(МУБГ), див. далі п.5.2);

2) для геосистем генетико-морфологічної ЛТС (зокрема вирізнених і в межах інших ЛТС, наприклад басейнової):

– типовість складу та співвідношення геосистем генетико-морфологічної ЛТС, зокрема, підурочищ щодо урочищ, урочищ щодо місцевостей тощо. Це маркує видову ландшафтно-типологічну фазово-етологічну стійкість (ЛТФЕС(ГЕО)) (див. детальніше [40, 55]);

3) для берегових геосистем позиційно-динамічної ЛТС:

– ступінь сформованості структури та "стабілізаційного" механізму саморегуляції берегових геосистем в еволюційно-сукцесійному або сукцесійному аспекті їхньої динаміки, зокрема за стадією чи етапом розвитку тощо, в процесі адаптації до нових умов структуроутворення, які виникли після створення водойм. Критичним за такого моделювання є певні класифікаційні ознаки берегових геосистем (див. детальніше [49]).

Згідно з вищевикладеним щодо фазово-етологічної стійкості можна застосувати такий формалізований запис її видів-складників, як

$$\{ФЕС(ГЕО)\} \in \{ЕМФЕС(МЕМ); ГФЕС(БГ); ВВФЕС(БГ); ІВФЕС(ГЕО)\} . \quad (2.57)$$

Параметрична стійкість природничої геосистеми (ПС(ГЕО)) розглядається як міра поліваріантної відповідності обраних визначальних параметрів її стану (геопараметрів) заданим еталонним параметрам. Останні обираються з огляду на "нормальність" властивостей, структури та типових особливостей (квазі)природної підсистеми ГЕО. Така стійкість диференціюється на певні підтипи. Серед них – **параметрично-процесна (ППС(ГЕО)), параметрично-відновлювальна (ПВС(ГЕО)) і параметрично-інтегральна (ПИС(ГЕО)) стійкості**, а також **інші види параметричної стійкості (ІВПС(ГЕО))** (див. табл.2.2). А отже можна записати, що

$$\{ПС(ГЕО)\} \in \{ППС(ГЕО); ПВС(ГЕО); ПИС(ГЕО); ІВПС(ГЕО)\} . \quad (2.58)$$

За ознаки **параметрично-процесної стійкості (ППС(ГЕО))** як першого підтипу правлять ті ознаки, які характеризують відзначену вище міру відповідності еталонним для геопараметрів, які відображають основні структуротвірні та інші процеси і/або наслідки їхньої комбінації в природничій геосистемі. Ця стійкість чисельно моделюється за певним *індексом параметрично-процесної стійкості* ($I_{ППС}$, у %). Він може бути індивідуальним, по-перше, для кожного обраного *i*-того структуротвірного чи іншого процесу, а отже, одночасно, для *i*-того виду ППС. При цьому орієнтуються на обмеження для моделювання територіального поєднання процесу з набором певних геосистем натурально-антропогенної та антропогенної підсистем ГЕО, спрямованість процесу та його інтенсивність як "міру негативності"

для стійкості ГЕО тощо. По-друге, індекс $I_{ППСi}$ може бути індивідуальним для кожних i -тих наслідків для стійкості ГЕО комбінації або перерозподілу інтенсивності груп чи типів структуротвірних або інших процесів тощо. У всіх випадках цей індекс подається в загальному вигляді як

$$I_{ППСi} = 100 - I_{ПРОi} , \quad (2.59)$$

де $I_{ПРОi}$ – характеристики i -тих структуротвірних процесів або наслідків, середньовиважені за відповідними площами субобластей природничої геосистеми, де зазначені процеси або наслідки є доцільними для оцінювання. Такі характеристики мають бути параметризовані у відсотках таким чином, що коливаються в межах від значень, близьких до 0 як найбільш сприятливих для стійкості ГЕО, до значень, близьких до 100% як цілковито недопустимих для стійкості ГЕО. Інколи, для вже параметризованих процесів, зазначена змінність маркується навпаки – від "сприятливих" 100% до "недопустимих" 0%.

У цілому i -тими процесами у моделі (2.59) можуть бути, наприклад, подані через їхню інтенсивність або інший атрибут флювіо-ерозійні та гравігенно-схилкові незсувні чи зсувні процеси та процеси радіоактивного і хімічного забруднення або ущільнення ґрунтів суходільних геосистем, руслові процеси аква-теральних геосистем, оцінені через ерозійний показник стійкості русел (за [27]) тощо. За чисельну міру ж i -тих наслідків у моделі (2.59) може правити, наприклад, ступінь співвідношення інтенсивності різних типів флювіо-гідроміграційних процесів – стоково-поверхневих, стоково-підземних і інфільтраційно-гідроміграційних. Таке співвідношення значною мірою визначає і інтенсивність та змістовий плин групи полюційо-динамічних процесів тощо.

За всіх умов значення індексу $I_{ППСi}$ також мають бути класифікаційно категоризовані аналогічно до вже викладених міркувань з вирізненням певних категорій рівня стану ГЕО за ознаками (видами) її параметрично-процесової стійкості. До того ж, особливо для порівняння різних геосистем, слід спеціально зважати і на склад та площі натурально-антропогенних і антропогенних геосистем, які роблять доцільним чи недоцільним моделювання певних складників параметрично-процесової стійкості для частин (квазі)природної підсистеми ГЕО, які територіально збігаються із щойно зазначеними геосистемами. Тобто, немає сенсу оцінювати, наприклад, площинну водну ерозію щодо підсистем або частин ГЕО з водонепроникними поверхнями тощо.

За приклад параметричного застосування щойно викладених підходів може правити, зокрема, ідентифікація таких **видів параметрично-процесової стійкості**, як *флювіо-ерозійна ППС (ФЕППС(ГЕО))*, *радіогеоекологічна ППС (РГППС(ГЕО))*, *ацидифікаційна ППС (АЦППС(ГЕО))*, *ґрунтово-самоочищувальна ППС (ГСППС(ГЕО))* і *інші* змістово зумовлені *види цієї стійкості (ІВППС(ГЕО))* тобто

$$\{ППС(ГЕО)\} \in$$

$$\in \{ \Phi \text{ЕППС(ГЕО)}; \text{РГППС(ГЕО)}; \text{АЦППС(ГЕО)}, \\ \text{ІСППС(ГЕО)}; \text{ІВППС(ГЕО)} \} . \quad (2.60)$$

Перший з цих видів – **флювіо-ерозійна параметрично-процесна стійкість (ФЕППС(ГЕО))** – моделюється стосовно субполів (квазі)природної підсистеми суходільної ГЕО (див. (1.3)). Це стосується, по-перше, саме тих субполів, де має сенс оцінка флювіальної ерозії (фото 2.1), тобто для просторових субобластей $R_{\Phi E}$, які фіксуються через $\omega_{\Phi E}$.

По-друге, такі субобласті визначаються, в залежності від робочого масштабу моделювання, як ті, які перетнуті субполями певних обраних натурально-антропогенних і антропогенних геосистем, де власне процеси флювіальної ерозії є оцінними. Такі субполя мають позначку "ОБР,ФЕ".

Примітка. Позицію щойно зазначених просторових субобластей $R_{\Phi E}$, наприклад для рівнинних геосистем України, можна визначати за місцезнаходженням відповідних оцінних для флювіальної ерозії натурально-антропогенних і антропогенних геосистем за табл.1.2. Це стосується, насамперед, тих геосистем, які позначено у табл.1.2 кодами I-VII, XII, XIII і деяких інших. У всіх випадках цей аспект потребує адекватного аналізу для конкретних модельних природничих геосистем.



Фото 2.1 Флювіальна ерозія

По-третє, з огляду на способи систематизації вихідної для моделювання тематичної інформації, кількісні параметри флювіо-ерозійних процесів досить часто "регі-

онально" подаються щодо фізико-географічних геосистем ГЕО (ФГТ у (1.4)). Це дозволяє залучати такі дані в межах обраних модельних субполів ГЕО.

По-четверте, за всіх умов вихідним модельним параметром є *індекс флювіо-ерозійної параметрично-процесної стійкості* ($I_{ФЕППС}$, у %). Таким чином все викладене вище з огляду й на (1.3) можна формалізовано подати як

$$\begin{aligned} \{ФЕППС(ГЕО)\} &\equiv \{ФЕППС(КПГЕП)\} = \\ &= \{КПГЕП(\omega_{КПГЕП}, R_{КПГЕП}, t) \cap \\ &\cap (НАГЕП(\omega_{НАГЕП}, R_{НАГЕП}, t) \cup АГЕП(R_{АГЕП}, t))_{ОБР, ФЕ}\} = \\ &= \{КПГЕП(\omega_{ФЕ}, R_{ФЕ}, t) \cap ФГТ(\omega_{ФГТ}, R_{ФГТ}, t)\} , \end{aligned} \quad (2.61)$$

$$\begin{aligned} D \{ФЕППС(ГЕО)\} &\equiv D \{ФЕППС(КПГЕП)\} \equiv \\ &\equiv D \{ФГТ\} = \{ФГТ(\omega_{ФЕ}, R_{ФЕ}, t)\} , \end{aligned} \quad (2.62)$$

$$I_{ФЕППС} = 100 - I_{ФЕР} = 100 - \sum_{j=1}^{n_{I_{ФЕР}}} I_{I_{ФЕР}, j} \cdot p_{I_{ФЕР}, j} , \quad (2.63)$$

де $I_{ФЕР}$ – індекс флювіальної ерозії модельної природничої геосистеми (у %), середньовиважений у межах її заданих і наявних просторових субобластей $R_{ФЕ}$; $I_{I_{ФЕР}, j}$ – значення j -того індексу інтенсивності цієї ерозії (у %), які, за відсутності спеціальних детальних досліджень, можна визначати в інтервальному або усередненому подаванні за розробленою нами у працях [45, 55] спеціальною шкалою відношень у залежності від регіональних значень річного змиву верхнього шару ґрунту (табл.2.4); $p_{I_{ФЕР}, j}$ – загальна частка площі модельних субполів геосистеми з j -тим індексом інтенсивності $I_{I_{ФЕР}, j}$, яка подається в частках одиниці від загальної площі заданих субобластей $R_{ФЕ}$; $n_{I_{ФЕР}, k}$ – кількість розрахункових значень індексу інтенсивності флювіальної ерозії $I_{I_{ФЕР}, j}$.

Розроблену для щойно зазначених умов *категорійно-класифікаційну схему* щодо флювіо-ерозійної параметрично-процесної стійкості природничої геосистеми наведено в табл.2.5.

Ця схема визначає п'ять категорій рівня стану геосистеми за ознаками такої стійкості – від геосистем з вельми слабкою до геосистем з вельми сильною інтенсивністю флювіальної ерозії – та відповідні цим категоріям п'ять класів рівня стану природничої геосистеми.

Подальша деталізація табл.2.4 є доцільною, передусім, шляхом конкретизації значень індексу $I_{I_{ФЕР}, j}$ всередині відповідних інтервалів з урахуванням регіональних фізико-географічних особливостей.

Крім того, окремим завданням під час порівняння рівня стану певних складників досліджуваної природничої геосистеми або різних таких геосистем за ознаками флювіо-ерозійної параметрично-процесної стійкості є врахування частки просторових субобластей $R_{ФЕ}$, зосібна з певним індексом інтенсивності ерозії $I_{I_{ФЕР}}$, у загальній площі модельних об'єктів.

Таблиця 2.4 – Інтервальні та усереднені значення індексу інтенсивності флювіальної ерозії ($I_{ФЕР,j}$ у (2.63)) в залежності від регіональних значень річного змиву верхнього шару ґрунту

Річний змив верхнього шару ґрунту, т/га					Інтервальні та усереднені значення $I_{ФЕР,j}$ %
зона мішаних і зона широколистяних лісів ¹⁾	зона лісостепу		зона степу		
	1 ²⁾	2 ³⁾	1 ⁴⁾	2 ⁵⁾	
< 2	< 4	< 2	< 4	< 3	(0-20]; 10
[2-3]	[4-10]	[2-8]	[4-10]	[3-8]	(20-40]; 30
(3-4]	10	(8-9]	10	8	(40-60]; 50
(4-8]	(10-12]	(9-12]	(10-15]	(8-12]	(60-80]; 70
> 8	> 12	> 12	> 15	> 12	(80-100]; 90

1) Поліський край зони мішаних (хвойно-широколистяних) лісів і Західноукраїнський край зони широколистяних лісів; 2) Подільсько-Придніпровський край лісостепової зони; 3) Лівобережнодніпровський і Східноукраїнський краї лісостепової зони; 4) Дністровсько-Дніпровський край степової зони; 5) інші краї степової зони (фізико-географічне районування – за [26])

Таблиця 2.5 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її флювіо-ерозійної параметрично-процесної стійкості (інтенсивності флювіальної ерозії)

Значення $I_{ФЕР,ПС}$ за моделлю (2.63), %	Інтенсивність флювіальної ерозії (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
(100-80]	вельми слабка (1)	відмінний (I)
(80-60]	слабка (2)	добрий (II)
(60-40]	середня (3)	задовільний (III)
(40-20]	сильна (4)	незадовільний (IV)
< 20	вельми сильна (5)	поганий (V)

Другий за (2.60) вид параметрично-процесної стійкості – **радіогеоекологічну ППС (РГППС(ГЕО))** – можна моделювати на основі наших монографій [37, 45, 55] і праці [40], по-перше, для субполів (квазі)природної підсистеми суходільної ГЕО винятково в межах частин їхніх просторових субобластей, перетнутих субполями з символом "ОБР,РГ" натурально-антропогенних і антропогенних геосистем, де є слушною радіогеоекологічна оцінка наслідків місцевого ресурсокористування. Зазначені субобласті (квазі)природної підсистеми позначаються як $R_{РГ}$ з фіксацією їх через $\omega_{РГ}$.

Примітка. Місцезнаходження таких субобластей $R_{РГ}$ для рівнинних геосистем України можна визначати, як і у попередньому випадку, за просторовими областями натурально-антропогенних і антропогенних геосистем за табл.1.2, в межах яких реалізується місцеве ресурсокористування, що оцінюється з радіогеоекологічних позицій. До таких геосистем в першому наближенні можна віднести ті, які позначено в табл.1.2 кодами I-VII, VIII.1 та XII-XIII.

По-друге, можна оцінювати перетин відповідних модельних субполів з полями індексу рівня радіогеоекологічного стану території в межах модельної природничої геосистеми, тобто з полями $PPГСТ(\omega_{PPГСТ}, R_{PPГСТ}, t)$, з інтегральним визначенням власне індексу радіогеоекологічної ППС ($I_{PPГСТ}$, у %). А отже, згідно з усім вищевикладеним,

$$\begin{aligned} \{PPГСТ(ГЕО)\} &\equiv \{PPГСТ(КПГЕП)\} = \\ &= \{КПГЕП(\omega_{КПГЕП}, R_{КПГЕП}, t) \cap \\ &\cap (НАГЕП(\omega_{НАГЕП}, R_{НАГЕП}, t) \cup АГЕП(R_{АГЕП}, t))_{ОБР, PPГ}\} = \\ &= \{КПГЕП(\omega_{PPГ}, R_{PPГ}, t) \cap PPГСТ(\omega_{PPГСТ}, R_{PPГСТ}, t)\} , \end{aligned} \quad (2.64)$$

$$R_{PPГ} \in \{R_{НАГЕП, ОБР, PPГ} \cup R_{АГЕП, ОБР, PPГ}\} , \quad (2.65)$$

$$\begin{aligned} D \{PPГСТ(ГЕО)\} &\equiv D \{PPГСТ(КПГЕП)\} \equiv \\ &\equiv D \{PPГСТ\} = \{PPГСТ(\omega_{PPГ}, R_{PPГ}, t)\} , \end{aligned} \quad (2.66)$$

$$I_{PPГСТ} = 100 - I_{PPГС} = 100 - \sum_{j=1}^{n_{PPГСТ}} I_{PPГСТ, j} \cdot p_{PPГСТ, j} , \quad (2.67)$$

де $I_{PPГС}$ – індекс рівня радіогеоекологічного стану модельної природничої геосистеми (у %), середньовиважений у межах її наявних просторових субобластей $R_{PPГ}$; $I_{PPГСТ, j}$ – значення j -того поля індексу рівня радіогеоекологічного стану території в межах модельної геосистеми, які можна визначати (у %), зокрема, за результатами ландшафтно-гідрорадіогеоекологічного районування територій на основі цифрової карти полів таких індексів із БД регіональної ГІС радіоактивно забруднених геосистем Поліського краю зони мішаних (хвойно-широколистяних) лісів і півночі лісостепової зони: для поля 1 це значення становить 100%, для поля 2 – 90%, для поля 3 – 80% тощо, завершуючи полем 10 з $I_{PPГСТ, j} = 10\%$ (див. [37, 40, 45, 55] та р.4); $p_{PPГСТ, j}$ – загальна частка площі модельних субполів геосистеми з j -тим індексом стану $I_{PPГСТ}$ (у частках одиниці від загальної площі заданих субобластей $R_{PPГ}$); $n_{PPГСТ}$ – число розрахункових значень індексів $I_{PPГСТ, j}$.

Категорійно-класифікаційну схему, застосовну для моделювання радіогеоекологічної стійкості природничої геосистеми або її заданих складників, наведено в табл.2.6. Схема розрізняє десять категорій рівня радіогеоекологічного стану геосистеми із збереженням їхніх категорійних назв за [40] і р.4. Ці категорії маркують рівень стану від вельми задовільного до гранично поганого. Утім категорії мають обернені до полів $I_{PPГСТ, j}$ номери, коли вищезазначене поле 10 відповідає 1-й категорії тощо. Зі змістом цих категорій поєднано і п'ять класів рівня радіогеоекологічного стану табл.2.6, які є сполучними за сутнісними назвами з прийнятими в цій частині підручника оцінками класів. Це частково відрізняється від чотирьох класів рівня стану, використаних далі у р.4.

Примітка. Викладені вище підходи до оцінювання радіогеоекологічної параметрично-процесної стійкості природничої геосистеми можна застосовувати також із залученням не

тільки щойно зазначених, а й інших актуальних схем і БД радіогеоекологічного районування територій.

Таблиця 2.6 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її радіогеоекологічної параметрично-процесної стійкості

Значення $I_{РГПСС}$ за моделлю (2.67), %	Рівень радіогеоекологічного стану за категорією ([40], р.4) та її номер	Рівень радіогеоекологічного стану за класом
≥ 85	вельми задовільний (1)	відмінний (I) і добрий (II)
(85-75]	задовільний (2)	задовільний (III)
(75-65]	помірно погіршений (3)	незадовільний (IV)
(65-55]	середньо погіршений (4)	
(55-45]	вельми погіршений (5)	
(45-35]	гранично погіршений (6)	
(35-25]	початково поганий (7)	поганий (V)
(25-15]	середньо поганий (8)	
(15-5]	вельми поганий (9)	
< 5	гранично поганий (10)	

Наступний вид стійкості, а саме **ацидифікаційна параметрично-процесна стійкість (АЦППС(ГЕО))**, моделюється, знову-таки, для субполів (квазі)природної підсистеми суходільної ГЕО з огляду на характеристики процесів ацидифікації території цих полів. А отже береться до уваги кислотна забруднювальна седиментація з атмосферними опадами, тобто випадіння на зазначені території опадів з певними допустимими чи небажаними значеннями водневого показника pH . Останнє можна задати відповідними полями $AЦВЗ(\omega_{AЦВЗ}, R_{AЦВЗ}, t)$ для їхнього оцінювального перетину з субполлями модельної геосистеми та розрахунку її *індексу ацидифікаційної ППС ($I_{AЦПСС}$, у %)*, звідки

$$\{AЦПСС(ГЕО)\} \equiv \{AЦПСС(КПГЕП)\} = \{КПГЕП(\omega_{КПГЕП}, R_{КПГЕП}, t) \cap \{AЦВЗ(\omega_{AЦВЗ}, R_{AЦВЗ}, t)\} , \quad (2.68)$$

$$I_{AЦПСС} = 100 - I_{AЦВЗ} = 100 - \sum_{j=1}^{n_{КАО}} I_{КАО,j} p_{КАО,j} , \quad (2.69)$$

де $I_{AЦВЗ}$ – середньовиважений за площами відповідних субполів індекс ацидифікації поверхні модельної природничої геосистеми (у %); $I_{КАО,j}$ – значення j -того індексу кислотності атмосферних опадів, які можна визначати (у %) в інтервальному або усередненому подаванні за розробленою з урахуванням [26] тощо спеціальною шкалою відношень у залежності від середніх за багатоліття інтервальних величин водневого показника цих опадів (табл.2.7); $p_{КАО,k,j}$ – загальна частка площі субполів геосистеми з j -тим індексом кислотності $I_{КАО}$ (у частках одиниці); $n_{КАО}$ – кількість розрахункових інтервалів індексу $I_{КАО,j}$.

Створену за такими засновками *категорійно-класифікаційну* схему для оцінювання ацидифікаційної ППС природничої геосистеми в інтервальному подаванні наведено в табл.2.8. Ця схема визначає сім категорій рівня стану геосистеми за ознаками цієї стійкості (ступеня ацидифікації водозбору) – від геосистем з незначним до геосистем з вельми високим таким ступенем – і відповідні цим категоріям п'ять класів рівня стану. Удосконалення підходів до моделювання ацидифікаційної ППС бачиться, насамперед, шляхом зважання на властивості ґрунтів або інших поверхонь, на які надходять атмосферні опади, та й загалом складу натурально-антропогенних і антропогенних геосистем ГЕО, які перетинаються полями АЦВЗ($\omega_{АЦВЗ}$, $R_{АЦВЗ}$, t).

Таблиця 2.7 – Інтервальні та усереднені значення індексу кислотності атмосферних опадів ($I_{КАО,j}$ у (2.69)) в залежності від середніх за багатоліття інтервальних значень водневого показника (pH) цих опадів

Інтервальні значення pH	Інтервальні й усереднені значення $I_{КАО,k,j}$, %
(7,0-6,8]	(0-14]; 7
(6,8-6,6]	(14-28]; 21
(6,6-6,4]	(28-42]; 35
(6,4-6,2]	(42-56]; 49
(6,2-6,0]	(56-70]; 63
(6,0-5,8]	(70-84]; 77
< 5,8	(84-100]; 92

Таблиця 2.8 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її ацидифікаційної параметрично-процесної стійкості (ступеня ацидифікації водозбору)

Значення $I_{АППС}$ за моделю (2.69), %	Ступінь ацидифікації водозбору (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
(100-86]	незначний (1)	відмінний (I)
(86-72]	вельми низький (2)	добрий (II)
(72-58]	низький (3)	
(58-44]	середній (4)	задовільний (III)
(44-30]	підвищений (5)	
(30-16]	високий (6)	незадовільний (IV)
< 16	вельми високий (7)	поганий (V)

Моделювання ще одного за записом (2.60) виду – *ґрунтово-самоочищувальної ППС (ГСПС(ГЕО))* – за змістом має оцінювати здатність ґрунтів природничої геосистеми до самоочищення.

Така самоочищувальна здатність ідентифікується для цих ґрунтів через співвідношення параметрів процесів випадіння атмосферних опадів і випаровування та флювіо-гідроміграційних процесів, а отже міру проточності чи непроточності ґрунтів природничої геосистеми.

Звідси такий вид стійкості доцільно моделювати, по-перше, для субполів (квазі)природної підсистеми суходільної природничої геосистеми в межах частин їхніх просторових субобластей, які перетнуто субполями геосистем натурально-антропогенної та антропогенної підсистем, де аналіз ґрунтової самоочищувальної здатності є виправданим за змістом. Символ цих субполів "ОБР, ГС". Зазначені ж субобласті (квазі)природної підсистеми позначаються як $R_{ГС}$ за умови фіксації їх через $\omega_{ГС}$.

Примітка. Положення субобластей $R_{ГС}$ для рівнинних геосистем України можна визначати, знову-таки, за положенням натурально-антропогенних і антропогенних геосистем за табл.1.2, в межах яких є доцільним моделювання ґрунтово-самоочищувальної ППС. До складу таких геосистем найбільш імовірно належать ті, які мають в табл.1.2 коди I-VII, VIII.1, XII.3, XII.4 та XIII.

По-друге, слід оцінювати перетин відповідних модельних субполів з полями індексу непроточності ґрунтів водозбору $НПГВЗ(\omega_{НПГВЗ}R_{НПГВЗ}t)$ у межах субполів моделювання.

По-третє, за основний оцінювальний параметр буде правити власне *індекс ґрунтово-самоочищувальної ППС* ($I_{ГСППС}$, у %) природничої геосистеми. А отже, згідно з щойно викладеним, можна записати, що

$$\begin{aligned} \{I_{ГСППС}(БГ)\} &\equiv \{I_{ГСППС}(КПГЕП)\} = \\ &= \{КПГЕП(\omega_{КПГЕП}R_{КПГЕП}t) \cap \\ &\cap (НАГЕП(\omega_{НАГЕП}R_{НАГЕП}t) \cup АГЕП(R_{АГЕП}t))_{ОБР,ГС}\} = \\ &= \{КПГЕП(\omega_{ГС}R_{ГС}t) \cap НПГВЗ(\omega_{НПГВЗ}R_{НПГВЗ}t)\} , \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$\begin{aligned} D \{I_{ГСППС}(ГЕО)\} &\equiv D \{I_{ГСППС}(КПГЕП)\} \equiv \\ &\equiv D \{НПГВЗ\} = \{НПГВЗ(\omega_{ГС}R_{ГС}t)\} , \end{aligned} \quad (2.71)$$

$$I_{ГСППС} = 100 - I_{НПГ} = 100 - \sum_{j=1}^{n_{НПГВЗ}} I_{НПГВЗj} \cdot p_{НПГВЗj} , \quad (2.72)$$

де $I_{НПГ}$ – середньовиважений за площами відповідних субполів індекс непроточності ґрунтів природничої геосистеми (у %); $I_{НПГВЗj}$ – значення j -того поля індексу непроточності цих ґрунтів, які можна варіантно визначати за створеною на основі карти у [26] шкалою відношень у залежності від вербальних категорійних значень коефіцієнта проточності ґрунтів $K_{ПГ}$ (табл.2.9); $p_{НПГВЗj}$ – загальна частка площі модельних субполів природничої геосистеми з j -тим індексом непроточності $I_{НПГВЗ}$, яка подається у частках одиниці; $n_{НПГВЗ}$ – кількість розрахункових інтервалів індексу $I_{НПГВЗj}$.

Відповідно розроблену категорійно-класифікаційну схему щодо ґрунтово-самоочищувальної ППС наведено у табл.2.10. Схема вирізняє сім категорій рівня стану природничої геосистеми за здатністю ґрунтів водозбору до самоочищення – від вельми високої до надто низької – та відповідних п'ять класів рівня стану геосистеми.

Таблиця 2.9 – Інтервальні та усереднені значення індексу непроточності ґрунтів природничої геосистеми ($I_{НПВЗj}$ у (2.72)) в залежності від вербальних категорійних значень коефіцієнта проточності ґрунтів ($K_{П}$) за [26]

Вербальні значення $K_{П}$	Інтервальні та усереднені значення $I_{НПВЗj}$, %
дуже високий	(0-14]; 7
високий	(14-42]; 28
середній	(42-56]; 49
нижчий від середнього	(56-67]; 61
низький	(67-78]; 72
дуже низький	(78-89]; 84
надмірно низький	(89-100]; 95

Таблиця 2.10 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її ґрунтово-самоочищувальної параметрично-процесної стійкості (здатності ґрунтів до самоочищення)

Значення $I_{ГСПС}$ за моделлю (2.72), %	Здатність ґрунтів до самоочищення (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
(100-86]	вельми висока (1)	відмінний (I)
(86-58]	висока (2)	добрий (II)
(58-44]	середня (3)	задовільний (III)
(44-33]	знижена (4)	
(33-22]	низька (5)	незадовільний (IV)
(22-11]	вельми низька (6)	
< 11	надто низька (7)	

Параметрично-процесна стійкість інших видів ($ІВППС(ГЕО)$ за (2.60)) моделюється за ознаками, які визначаються іншими, не формалізованими вище різновидами процесів у певних природничих геосистемах. Для цього слід застосовувати аналогічні вже викладеним спеціальні змістові індекси та адекватні їм категорійно-класифікаційні схеми рівнів стану для таких різних процесів і типів геосистем.

Зокрема, на прикладі суходільних і аква-теральних складників **геосистеми берегової зони водосховищ** у [49] було викладено підходи до моделювання таких видів параметрично-процесної стійкості (див. процеси в табл.2.1), як еоло-дефляційна, еоло-аккумулятивна, суфозійна, поверхнево-карстова, гравігенно-схилова незсувна та зсувна, галогідроморфізаційна, ксеро-дегалогідроморфізаційна, потамо-флювіо-ерозійна, потамо-флювіо-алювіальна, донно-ґрунтоутвірна забережна стійкості тощо (див. також моделі п.7.3).

Параметрично-відновлювальна стійкість ($ПВС(ГЕО)$) як другий підтип $ПС$ за (2.58) відображає міру здатності природничої геосистеми до відновлення власних властивостей і особливостей за рахунок складників натурально-антропогенної підсистеми геосистеми як домінуючих чинників цього відновлення. За таких умов цю стійкість можна ототожнити із запровадженим нами (у [55, 58]) поняттям *геоекологічної ситуації* (в землекористуванні тощо) у *природничій геосистемі*. Зазначена ситуація відображає співвідношення в геосистемі площ або довжин геоекологіч-

но позитивних (геопозитивних) і геоекологічно негативних (геонегативних) складників її антропоізованих підсистем. За перші, геопозитивні, правлять геосистеми натурально-антропогенної підсистеми *ГЕО* з категоріями рівня натуральності 1-3 за табл.1.1. Другими, геонегативними, є геосистеми антропогенної підсистеми з категоріями рівня натуральності 4а-7 за цією ж таблицею.

За таких умов **індекс параметрично-відновлювальної стійкості геосистеми** ($I_{ПВС}$, у %) як аналог індексу геоекологічної ситуації ($I_{ГС}$ за [58]) визначатиметься для суходільних (теральних) геосистем як $I_{ПВС,Т}$ за залежністю (2.73), а для аква-теральних геосистем водотоків – як $I_{ПВС,АТ}$ за залежністю (2.74), тобто

$$I_{ПВС,Т} \equiv I_{ГС,Т} = f \{ (S_{1-3} / S_{4-7}) \} , \quad (2.73)$$

$$I_{ПВС,АТ} \equiv I_{ГС,АТ} = f \{ (L_{1-3} / L_{4-7}) \} , \quad (2.74)$$

де S_{1-3} і S_{4-7} , L_{1-3} і L_{4-7} – відповідно, загальні площі або довжини геопозитивних і геонегативних геосистем антропоізованих підсистем певної *ГЕО*, подані або в абсолютному вимірі, або в частках одиниці, за яку приймається загальна розрахункова площа суходільної природничої геосистеми або довжина розрахункової гідромережі аква-теральної геосистеми.

Зрозуміло, що конкретний набір щойно зазначених геопозитивних і геонегативних геосистем як складників ($НАГЕП \cup АГЕП$) визначається для суходільних геосистем за табл.1.2, а для аква-теральних геосистем водотоків – за табл.1.3.

Відповідну категорійно-класифікаційну схему рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її параметрично-відновлювальної стійкості (геоекологічної ситуації) наведено в табл.2.11 з прикладом застосування схеми на рис.2.3. У табл.2.11 додатково подано й категорійні відсотки площ чи довжин геопозитивних (натурально-антропогенних) систем (S_{1-3} або L_{1-3}) щодо загальної площі ($S_{ЗАГ}$) чи довжини гідромережі ($L_{ЗАГ}$) досліджуваної природничої геосистеми, тобто відсоткові співвідношення ($S_{1-3} / S_{ЗАГ}$) або ($L_{1-3} / L_{ЗАГ}$).

Таблиця 2.11 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її параметрично-відновлювальної стійкості (геоекологічної ситуації)

Значення $I_{ПВС,Т}$ за (2.73) або $I_{ПВС,АТ}$ за (2.74)	Відсоток площ ($S_{1-3} / S_{ЗАГ}$, %) чи довжин ($L_{1-3} / L_{ЗАГ}$, %) натурально-антропогенних геосистем	Геоекологічна ситуація за категоріями	Рівень стану за класом
$\geq 4,77$	$\geq 82,7$	надзвичайно сприятлива (1)	відмінний (I)
(4,77...2,54]	(82,7...71,7]	вельми сприятлива (2)	добрий (II)
(2,54...1,55]	(71,7...60,8]	сприятлива (3)	задовільний (III)
(1,55...0,98]	(60,8...49,6]	помірно несприятлива (4)	незадовільний (IV)
(0,98...0,62]	(49,6...38,3]	несприятлива (5)	
(0,62...0,13]	(38,3...11,5]	надзвичайно несприятлива (6)	поганий (V)
$< 0,13$	$< 11,5$	гранично несприятлива (7)	



Рис.2.3 Рівні стану фізико-географічних районів за ознаками їхньої параметрично-відновлювальної стійкості (на прикладі районів Житомирсько-Поліської області Поліського краю зони мішаних (хвойно-широколистяних) лісів) (9...19 – коди районів; 2,14...0,08 – індекси параметрично-відновлювальної стійкості районів ($I_{ПВС,Т}$) за (2.73); 3...6 – категорії рівня стану районів за табл.2.11)

За третій підтип ППС згідно з (2.58) править **параметрично-інтегральна стійкість (ПІС(ГЕО))**, яка віддзеркалює міру відповідності комплексних параметрів природничої геосистеми еталонним як інтегральне відображення рівня її стану в цілому. Ця стійкість диференціюється за її видами відповідно до певних типів геосистем.

Зосібна, для **екомережних геосистем** таким модельним видом є **екомережна структурно-функціональна параметрично-інтегральна стійкість (ЕСФПІС(МЕМ))**. За нею оцінюються міри розвиненості екомережі за її основними елементами – екоядрами, екокоридорами тощо – та визначеність функціональної ролі цих елементів в мережній структурі. При цьому застосовуються як модельні задані метричні показники екомережі, топологічні індекси за матрицею доступності вершин графа екомережі, а також синтетичні індекси значущості екоядер і екокоридорів (див. детальніше п.6.2.2).

А от для **басейнових геосистем** зміст їхньої параметрично-інтегральної стійкості зумовлено специфічними рисами формування стану таких геосистем як елементів басейнових ЛТС. Мова йде про можливість оцінювання зазначеної стійкості для певних басейнових територіальних підсистем (див. р.5), вирізнення яких задовольняє критерії їхньої "компактності", такі як:

– суттєва безпосередня детермінованість кількісно-якісних і "суто" якісних водно-стокових і гідроекологічних показників головних водотоків таких "компактних" підсистем, зокрема і головного водотоку БГ, по-перше, складниками натурально-антропогенної та антропогенної підсистем ГЕО (див. моделі (1.5)-(1.6) тощо). Це стосується, передусім, джерел геоекологічно негативного антропогенного впливу тощо саме в межах "компактних" підсистем. По-друге, зазначені показники визна-

чаються специфікою басейнових морфологічно-позиційних, ландшафтних і фізико-географічних субструктур (див. (1.4) у р.1);

– наслідкова велика "вага" водно-стокових і гідроекологічних показників як дійсно інтегральних характеристик рівня стану "компактних" (квазі)природних басейнових підсистем.

З огляду на таке, параметрично-інтегральну стійкість басейнової геосистеми можна поділити на такі її види, як:

– *водно-стокова ППС (ВСППС(БГ))*. Вона відображає міру здатності водотоків басейнової геосистеми до самоочищення та забезпечення "нормального" плину певних природних процесів, зокрема, водно-стокових, гідрофізикохімічних, гідробіотичних, руслових тощо. Наразі параметризовано такий підвид цієї стійкості, як *загально-самоочищувальна ВСППС(БГ) (ЗВСППС(БГ))*. За нею оцінюється загальна міра здатності басейнової геосистеми до самоочищення за рахунок розбавлення стічних вод водним стоком власних головних водотоків. Для такого оцінювання застосовуються відповідний модельний індекс і категорії та класи рівня стану за ознаками *ЗВСППС(БГ)* (здатності до самоочищення) (див. далі (5.19)-(5.20) і табл.5.7 у п.5.1);

– *водно-якісна ППС (ВЯППС(БГ))* віддзеркалює міру відповідності симплексних і комплексних, серед них інтегральних, параметрів якості води водотоку басейнової геосистеми еталонним. При цьому застосовуються моделі компонентної, блокової та інтегральної оцінки рівня стану геосистем за (5.22)-(5.25) і категорії та класи такого рівня за ознаками *ВЯППС(БГ)* (табл.5.8) (див. далі п.5.1).

Таким чином, параметрично-інтегральну стійкість природничої геосистеми можна формалізаційно подати як

$$\{ ППС(ГЕО) \} \in \{ ВСППС(БГ); ВЯППС(БГ); ЕСФППС(МЕМ) \dots \} . \quad (2.75)$$

Останнім складником запису (2.60) є **інші види параметричної стійкості природничої геосистеми (ІВПС(ГЕО))**. Ознаки цих видів визначаються різними типами геосистем і їхніми атрибутами. Останнє й визначає набір спеціальних змістових параметрів і адекватних їм моделей і категорійно-класифікаційних схем рівнів стану тощо зазначених видів стійкості.

Зокрема, мова може йти, наприклад, про *буферно-параметричну стійкість екомережних геосистем*. Специфічні критерії останньої мають маркувати достатність розміру буферних зон для підтримання потрібного рівня стану елементів екомережі, що моделюється (див. п.6.2.2).

Також можна відзначити т.зв. *позиційно-динамічну параметричну стійкість берегових геосистем позиційно-динамічної ЛТС* за координатами їхніх полів. Наявність/відсутність такого практично стовідсотково зумовлюється типологією геосистем (див. детальніше п.7.1). Зосібна, ця стійкість моделюється, передусім, для таких берегових геосистем, як (квазі)природні берегові ландшафтні смуги, які є квазінезмінно-флуктивними за підрозрядом і мають нештучні межі. За таких умов позиційно-динамічна параметрична стійкість кваліфікується як умовна незмінність місцезнаходження зазначених берегових геосистем за всіма чи репрезентативними (характерними, "осьовими" тощо), заданими як середні координатами позиції геосистем (R_{CM}^*) з урахуванням власних коливань цих середніх. З огляду на таке, ця стійкість тестується згідно з моделлю

$$|R_{CM(t)_\phi} / R_{CM}^* - 1| \leq \Phi(R_{CM(t)})_{P_n, P_l} \cdot C_v(R_{CM(t)}) / n^{0.5}, \quad (2.76)$$

де $R_{CM(t)_\phi}$ – фактичні значення координат берегових смуг; $\Phi(R_{CM(t)})_{P_n, P_l}$ – розрахункові квантілі довірчих ймовірностей перевищення для верхньої та нижньої їхніх меж, які задаються за табл.2.11 для певних розподілів (геостохастичних функцій (2.26)-(2.28)) координат позиції геосистем і рівнів значущості ($SLev$) (див. (2.48) і [39, 40, 47]); $C_v(R_{CM(t)})$ – значення функції коефіцієнта варіації зазначених координат, визначене за фактичними даними або задане з огляду на його максимум у табл.2.12 ($C_v(R_{CM(t)})_{\max}$); n – загальна кількість фактичних фіксацій (вимірів) координат смуг, яку, в свою чергу, може бути подано і як $n = n_t \cdot n_\omega$, де n_t – частота вимірів, тобто кількість перетинів випадкових полів геосистем з визначенням координат їхньої позиції, n_ω – загальна кількість одиничних вимірів в кожному перетині, тобто кількість реалізацій зазначених полів.

Таблиця 2.12 – Параметри геостохастичних функцій логнормального розподілу, опорних для моделювання позиційно-динамічної параметричної стійкості берегових ландшафтних смуг різного гіперкласу/класу (модель (2.76))

Гіперклас і клас берегових смуг (див. [49], р.7 і рис.7.2)	Коефіцієнт асиметрії $C_s(R_{CM})$	Максимальний коефіцієнт варіації $C_v(R_{CM(t)})_{\max}$
<i>Суходільні (теральні):</i>		
вододільно-рівнинні узбережні	0,37	0,12
вододільно-рівнинні прибережні	0,41	0,14
схиліві узбережні	0,95	0,31
схиліві прибережні	1,04	0,33
терасові узбережні	0,77	0,25
терасові прибережні	0,86	0,28
заплавні узбережні	1,26	0,40
заплавні прибережні	1,55	0,42
<i>Аква-теральні:</i>		
супра-аква-теральні	1,63	0,50
інфра-аква-теральні	1,20	0,38

Невиконання умов моделі (2.76) свідчить про відсутність позиційно-динамічної параметричної стійкості геосистем квазінезмінно-флюктивих берегових ландшафтних смуг, зокрема й про належність або перехід цих смуг до іншого класифікаційного підрозряду. При цьому можливим є й запровадження відповідних градацій рівня стану берегових геосистем за величинами порушень щойно зазначених умов тощо (див. [49]).

Примітка. У деяких наших працях ([40, 49] тощо) обґрунтовано і поняття про абсолютну та відносну параметричну стійкість *ГЕО* з його прикладною реалізацією для, насамперед, берегових геосистем позиційно-динамічної *ЛТС*.

Надійність природничої геосистеми (Н(ГЕО)) модельно ідентифікується у "повномірільний" спосіб як "повномірільна" надійність (**ПН(ГЕО)**) і у спрощений спосіб як умовна надійність (**УН(ГЕО)**).

"Повномірільну" надійність природничої геосистеми (**ПН(ГЕО)**) визначають під час оптимізаційного моделювання стану геосистеми як числову ймовірнісну міру здатності виконувати нею вимогові геопозитивні або обмежувати чи ліквідувати геонегативні природно-соціально-економічні функції (**ПСЕФ**) в заданому

просторово-часовому вимірі з імперативним дотриманням умов стійкості геосистеми. Тобто ця надійність тотожна такому потенціалу геосистеми, який забезпечує оптимальний режим експлуатації геосистеми $E(ПСЕФ)_{max}$ у (1.17)-(1.18) за геоекологічно безпечними умовами та зумовлює відповідну регламентацію ресурсокористування з використанням потрібних засобів експлуатації, які підтримують ефективні геоекологічно-стабілізаційні заходи.

Чисельно "повномірільну" надійність геосистеми розраховують як ймовірність перевищення системи спільного виконання умов моделей геосистемної стійкості за складниками останньої (див. (2.53) і далі) за умов (1.18) та з огляду на ймовірність перевищення загального потенціалу геосистеми за формулою (1.16). Останню ймовірність зумовлено наявністю певного, можливого для використання об'єму обраного виду природних ресурсів визначеної якості.

Практично, у **"прямих" задачах**, тобто задачах оцінювання стану природничої геосистеми чи ступеня геоекологічної безпеки реального режиму її використання, апарат надійності використовують наступним чином. Виконується ітерація ефективності $ПСЕФ - E(ПСЕФ)$ за моделлю (1.17) – з імітацією режимів експлуатації геосистеми, визначенням ймовірностей перевищення параметрів стану геосистеми за ознаками її стійкості ($P_{ex}\{C(ГЕО)\}$) та порівнянням реальних значень останніх з вимоговими.

У **"обернених" задачах**, тобто задачах геоекологічно-економічної регламентації ресурсокористування з визначенням оптимальних режимів функціонування природничої геосистеми, надійність як спільну ймовірність перевищення ($P_{ex}\{H(ГЕО)\}$) оцінюють шляхом розв'язання ітераційно-імітаційної задачі за моделлю

$$P_{ex}\{H(ГЕО)\} = P_{ex} \left\{ \left\{ \begin{array}{l} E(ПСЕФ) \xrightarrow{\begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} P_{ex}\{\Phi C(ГЕО)\} = P_{фикс, \Phi C} \\ P_{ex}\{П C(ГЕО)\} = P_{фикс, П C} \end{array} \right\}} \\ P_{ex}\{(Pt ГЕО)_{lim}\} = \\ = f\{\{P_{ex}\{(V_{\Sigma} Pt П P c)_{lim}\}\} \end{array} \right\} \right\} \rightarrow max, opt \right\} , \quad (2.77)$$

де, у верхніх умовах: $P_{фикс, \Phi C}$ та $P_{фикс, П C}$ – геоекологічно зумовлені, задані необхідні значення фазової та параметричної стійкості геосистеми за їхніми складниками; у нижніх умовах: $(Pt ГЕО)_{lim}$ – доцільний або можливий потенціал геосистеми з урахуванням обмежень на наявний можливий чи реальний об'єм природних ресурсів $(V_{\Sigma} Pt П P c)_{lim}$ для розрахункового або реального сценарію оптимізаційних або інших природоохоронних заходів; $(V_{\Sigma} Pt П P c)_{lim}$ – сумарний об'єм того, що залучається або вже залучений до експлуатації, ресурсного потенціалу визначеної якості відповідно до тарифікації ресурсів; **"max, opt"** – символи, які відповідають максимально доцільній чи оптимальній ефективності експлуатації природничої геосистеми для її визначеного стану.

Згідно з останнім запроваджено поняття **"оптимальна ймовірність перевищення ресурсовидатності природничої геосистеми"**. Така ймовірність позначається як $P_{ex}(V_{\Sigma} Pt П P c)_{opt}$ і тлумачиться як ймовірність перевищення оптимального для використання об'єму ресурсного потенціалу геосистеми за умов заданої або вимогової її надійності $P_{ex}(H(ГЕО))$ за (2.77).

Щодо змісту щойно викладених оцінювальних підходів, обов'язково слід враховувати, що лише при відповідності всіх характеристик стану природничої геосистеми геоecологічно-економічно доцільним критеріальним значенням ($P_{\text{фікс.}\Phi\text{С}}$, $P_{\text{фікс.ПС}}$, бажаний $P_{\text{ex}}\{H(\text{ГЕО})\}$ тощо) рівень стану геосистеми кваліфікується, як той, що відповідає вимоговій **геоecологічно-економічній рівновазі**. Такий термін, близький за змістом до англійського терміну "sustainability", припускає усталений рівень функціонування та розвитку природничої геосистеми. У інших випадках слід виконувати диференційоване оцінювання складників стану геосистеми для наступного оптимізаційного моделювання геоecологічно-економічно виправданого режиму функціонування геосистеми та регламенту користування її ресурсами.

Утім, "повномірільне" моделювання надійності геосистеми є досить утрудненим, передусім через брак належної вихідної інформації. Тому допустимим є, з одного боку, певний спрощений змістовий аналіз здатності геосистеми до виконання й посилення чи обмеження нею певних ПСЕФ з огляду на характер прояву таких функцій і вплив певних чинників на стан геосистеми (див. наприклад, наші праці [44, 45, 55] тощо).

З іншого боку, можна скористатись і оцінюванням т.зв. **умовної надійності природничої геосистеми (УН(ГЕО))**. При цьому слід виходити з того, що інтегральна оцінка стійкості природничої геосистеми за всіма основними складниками цієї стійкості буде опосередковано відбивати й міру здатності виконувати таку геосистемою вимогові природно-соціально-економічні функції.

За таких засновків можна скористатися **моделлю спрощеної оцінки надійності природничої геосистеми** в двох її варіантах: повноструктурному та тестовому (індикаторному).

Повноструктурна модель спрощеної оцінки надійності природничої геосистеми базується на розрахунку *повноструктурного інтегрального індексу умовної надійності* цієї геосистеми ($I_{\text{УН(ГЕО)}}$) за загальним записом

$$I_{\text{УН(ГЕО)}} = f \{ I_{\text{УН,}\Phi\text{АС(ГЕО)}}; I_{\text{УН,}\Phi\text{ЕС(ГЕО)}}; I_{\text{УН,ППС(ГЕО)}}; I_{\text{УН,ПВС(ГЕО)}}; I_{\text{УН,ПІС(ГЕО)}}; I_{\text{УН,ІВПС(ГЕО)}} \} , \quad (2.78)$$

де $I_{\text{УН,}\Phi\text{АС(ГЕО)}}$, $I_{\text{УН,}\Phi\text{ЕС(ГЕО)}}$, $I_{\text{УН,ППС(ГЕО)}}$, $I_{\text{УН,ПВС(ГЕО)}}$, $I_{\text{УН,ПІС(ГЕО)}}$ і $I_{\text{УН,ІВПС(ГЕО)}}$ – часткові індекси умовної надійності геосистеми за, відповідно, її фазово-антропізаційною, фазово-етологічною, параметрично-процесною, параметрично-відновлювальною та параметрично-інтегральною стійкістю, а також за іншими видами параметричної стійкості.

Ці індекси визначаються за формулою загального виду

$$I_{\text{УН,Х(ГЕО)}} = LS_{\text{УН,Х(ГЕО),А}} / LS_{\text{УН,Х(ГЕО),Б}} , \quad \{X\} \in \{\Phi\text{АС}; \Phi\text{ЕС}; \text{ППС}; \text{ПВС}; \text{ПІС}; \text{ІВПС}\} , \quad (2.79)$$

де $LS_{\text{УН,Х(ГЕО),А}}$ і $LS_{\text{УН,Х(ГЕО),Б}}$ – відповідно, актуальний і бажаний рівень стану природничої геосистеми за ознаками підтипів її стійкості – фазово-антропізаційної, фазово-етологічної, параметрично-процесної, параметрично-відновлювальної, па-

раметрично-інтегральної та інших видів параметричної стійкості. Такі рівні початково визначаються/задаються за вже розглянутими моделями адекватних індексів стійкості тощо.

За таких умов виникають також дві потрібних для перспективного вирішення супутні модельні задачі. Перша з них – це отримання індексів $I_{УН,Х(ГЕО)}$, усереднених, виважених тощо за видами-складниками кожного підтипу стійкості в моделях (2.78)-(2.79), з обґрунтуванням моделей інтегральних для такого підтипу індексів (для фазово-антропоїзаційної стійкості це непотрібно).

Другою ж задачею є розробка низки ієрархічно узгоджених категорійно-класифікаційних схем (шкал відношень) рівня стану геосистеми за ознаками її умовної надійності, як для кожного $I_{УН,Х(ГЕО)}$ за (2.79), так і для загалом $I_{УН(ГЕО)}$ за (2.78).

З огляду на щойно викладені підходи та проблеми, а також на реальну можливість отримання наразі інформаційного базису, необхідного для тестування рівня стану модельних природничих геосистем, застосовується і **тестова (індикаторна) модель спрощеної оцінки надійності** геосистеми. Її, по-перше, зорієнтовано на добрий за класом рівень стану геосистем (див. табл.2.2 і всі відповідні наступні). По-друге, ця модель базується на розрахунку усередненого значення *тестового інтегрального індексу умовної надійності* природничої геосистеми ($I_{УН(ГЕО),Т}^*$) за формулою

$$I_{УН(ГЕО),Т}^* = \sum_{i=1}^{n(I_{Х(ГЕО)})} I_{Х(ГЕО),А,i} / I_{Х(ГЕО),Б,i} , \quad (2.80)$$

де $I_{Х(ГЕО),а,i}$ – актуальний індекс певного параметризованого й протестованого різновиду стійкості геосистеми (підтипу, виду, підвиду); $I_{Х(ГЕО),б,з,i}$ – бажаний такий індекс або інший тотожний параметр, заданий за середніми значеннями другої категорії рівня стану за ознаками зазначеного різновиду стійкості; $n(I_{Х(ГЕО)})$ – кількість протестованих різновидів стійкості геосистеми.

На основі моделі (2.80) можна, в першому наближенні, користуватися адекватною *категорійно-класифікаційною схемою* рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її умовної надійності. Схема оперує п'ятьма категоріями рівня стану геосистеми – від вельми високої до вельми низької надійності – та наведена в табл.2.13.

Таблиця 2.13 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану природничої геосистеми за ознаками її умовної надійності (тестовим інтегральним індексом умовної надійності $I_{УН(ГЕО),Т}^*$ за (2.80))

Значення індексу $I_{УН(ГЕО),Т}^*$ за (2.80)	Умовна надійність (категорія рівня стану)
$\geq 1,20$	вельми висока (1)
(1,20-1,00]	висока (2)
(1,00-0,80]	середня (3)
(0,80-0,60]	низька (4)
$< 0,60$	вельми низька (5)

Контрольні запитання й завдання до розділу 2:

1. На яких рівнях здійснюється модельно-параметрична формалізація природничої геосистеми?
2. Як розглядається динаміка природничої геосистеми під час моделювання її стану?
3. Яким чином формалізують геосистему на макрорівні?
4. Поясніть, чим відрізняються групи геопоказників і групи геопараметрів.
5. Що таке системи компонентів і субкомпонентів за групами показників і геопараметрів геосистеми?
6. Чим відрізняється мезорівень формалізації геосистеми від мікрорівня?
7. У чому полягає різниця між загальним, оптимальним і заданим складом компонентів і елементів компонентів геопараметрів геосистеми? Поясніть на прикладах.
8. Наведіть характерні приклади модельно-параметричної формалізації геосистем.
9. Що містить набір головних характеристик стохастичної структури геосистеми?
10. Що таке геостохастичні функції?
11. Яким є запис індивідуальних геостохастичних щільностей певних елементів геопараметрів?
12. Чому для геостохастичних функцій елементів геопараметрів найчастіше застосовують їхню структуру, яка відповідає схемі логнормального розподілу?
13. Поясніть теоретичну схему модифікованого розподілу Гудріча.
14. Як отримуються спільні геостохастичні функції?
15. Чим відрізняються між собою традиційні та загальнорегіональні геофункції?
16. Як подаються автокореляційні суто часові та просторово-часові функції випадкових функцій елементів геопараметрів?
17. Що таке вибіркові функції геопараметрів?
18. У чому полягають опорні положення, які визначають ефективність стохастичних інформаційних засобів для імовірного математичного аналізу та геоінформаційного моделювання природничих геосистем?
19. Про що свідчать квазіродинні властивості випадкових функцій елементів геопараметрів?
20. Що таке геостохастичні моделі і яким є їхній загальний вигляд?
21. Дайте характеристику розрахунково-прогностичним підрівням геостохастичних моделей.
22. Що таке стан природничої геосистеми в широкому тлумаченні?
23. Які Ви знаєте ознаки стану геосистеми?
24. Чим відрізняються між собою стан та статус геосистеми?
25. Поясніть, яким чином визначаються еталонні показники властивостей геосистеми.
26. Дайте визначення стійкості природничої геосистеми.

27. Якою є загальна структура моделі стійкості геосистеми?
28. Яким чином кваліфікується фазова стійкість геосистеми? Наведіть приклади.
29. За яким параметром моделюється фазово-антропогенна стійкість геосистеми?
30. Що відображає фазово-етологічна стійкість геосистеми?
31. Наведіть приклади видів фазово-етологічної стійкості для різних природничих типів геосистем.
32. У чому сутність параметричної стійкості природничої геосистеми?
33. Прокоментуйте зміст загального вигляду індексу параметрично-процесної стійкості геосистеми.
34. Чим відрізняються між собою види параметрично-процесної стійкості?
35. Визначте особливості моделювання флювіо-ерозійної параметрично-процесної стійкості геосистеми.
36. Що таке індекс рівня радіогеоекологічного стану модельної природничої геосистеми?
37. Чим вирізняється категорійно-класифікаційна схема для оцінювання ацидифікаційної параметрично-процесної стійкості природничої геосистеми?
38. Поясніть зміст моделювання ґрунтово-самоочищувальної параметрично-процесної стійкості геосистеми.
39. Яке поняття є аналогом поняття параметрично-відновлювальної стійкості геосистеми?
40. Чим відрізняється зміст параметрично-інтегральної стійкості для екомережних і басейнових геосистем?
41. Що таке "повномірільна" надійність природничої геосистеми?
42. Як потрібно тлумачити поняття "оптимальна ймовірність перевищення ресурсовидатності природничої геосистеми"?
43. Який рівень стану геосистеми кваліфікується, як той, що відповідає її вимоговій геоecологічно-економічній рівновазі?

3 ГЕОЕКОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Геоєкологічне модельне районування

Наразі запропоновано досить значну кількість підходів до **модельного комп'ютеризованого районування** обраних для дослідження територій за заданими **геоекологічними показниками**, тобто *геоекологічного модельного районування*. Зазначені показники зумовлюються переважно особливостями регіонального чи локального ресурсокористування, насамперед землекористування, та/або його наслідків. Утім серед усього різноманіття наявних пропозицій можна вирізнити **три принципові групи підходів**.

До **першої групи підходів** можна віднести районування на базі початкової побудови ізоліній чи означення інтервалів певних "точково" або лінійно визначених геоекологічних параметрів. Такі побудови виконуються за допомогою низки комп'ютерно-модельних методів різної складності. Серед них, зокрема, – кластерний аналіз і/або інші фільтрувальні чи інтерполяційно-екстраполяційних рішення (див. уведення в дисципліну і приклад на рис.3.1). За таких умов однорідні структури районування, які виділено або може бути виділено, зовсім не поєднано чи недостатньо вмотивовано поєднано з межами адекватних спрямованості районування складників (квазі)природної підсистеми природничо-географічних систем (див. (1.1)-(1.4)), а отже й з просторовою областю останніх у цілому. Інколи здійснюється також агрегація вельми довільно просторово вирізнених інтервальних монопараметричних структур районування в поліпараметричні (див. [40]).

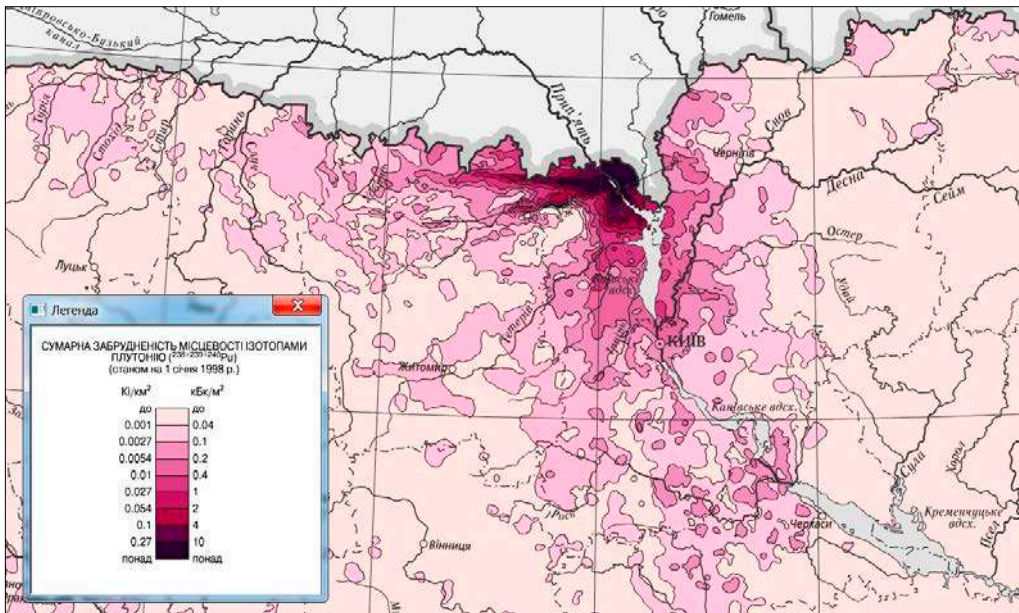


Рис.3.1 Фрагмент районування території України за рівнями її забрудненості ізотопами плутонію внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС (за О. Гайдаром і ін. [26])

Другу групу підходів відзначається районуванням на основі моно- чи поліпараметричної геоecологічної характеристики вже вирізнених або спеціально початково змодельованих для районування геосистем (квазі)природної підсистеми природничих геосистем. Серед них можуть бути геосистеми обраних ландшафтних територіальних структур або таксонів певного тематичного районування тощо (див. (1.4)). Такі модельні побудови здійснюються за прийнятими інтервалами схем провідних для районування геопараметрів і новими ознаками зазначених (квазі)природних геосистем різного рівня. Стосовно ж нових атрибутів останніх можна, по-перше, додатково застосовувати певні комп'ютерно-модельні методи, такі як кластерний аналіз тощо. По-друге, за такими атрибутами вихідним (квазі)природним геосистемам може бути присвоєно відповідні нові назви згідно із обумовленими цілями районування (приклад на рис.3.2).



Рис.3.2 Фізико-географічні райони Волинського Полісся із змодельованою мірою їхньої антропоізації (1...8 – коди районів; 3...5a – категорії міри антропоізації районів за табл.1.1; у нових назвах районів відображено категорії та середньовиважені індекси їхньої антропоізації ($I_{ант,г}^{**}$) за (1.7))

Третя група підходів ґрунтується на полікритеріальному геоінформаційно-модельному структуруванні природничих геосистем певних територій багатоконпонентного природного й антропогенного впливу. Це здійснюється за обраними та категоризованими показниками рівня стану нових за змістом і координатами одиниць районування зазначених територій. Третя група підходів частково використовує деякі побудови, які широко застосовуються і згадані в попередніх абзацах. Утім підходи цієї групи, які стисло викладаються далі, в цілому базуються на специфічних принципах і нових за сутністю схемах моделювання. Останні віддзеркалюють методологічно-методичні засновки й підходи, викладені в р.1-2.

За таких умов, під *геоecологічним модельним районуванням територій* буде розумітися засноване на використанні геоінформаційних технологій *модельне вирізнєння, визначення складників і тестування рівня стану таксонів району-*

вання певного рангу у відповідних компонентах (квазі)природних підсистем природничих геосистем. Ці компоненти входять до складу досліджуваних територій суходолу як макро- чи мезогеосистем. Рівень стану зазначених таксонів має характеризувати ситуацію, за якої існуючі чи розрахункові види та режими реального або потенційного ресурсокористування призвели чи можуть призвести до певних категорійно-класифікованих наслідків для стійкості та надійності природничих геосистем. Такі наслідки стосуються, зокрема, і користувачів ресурсами геосистем. А тому, в цілому під час районування застосовуються означені та змодельовані інтегральні оцінні показники геоecологічної безпеки.

Загалом вирізняють **три взаємопов'язані етапи геоecологічного модельного районування**. Серед них етапи *ініціального структурування, модельної параметризації та оцінювально-функціонального структурування* обраних для районування територій.

На етапі ініціального структурування досліджувані території у цілому (*ДТ*) розглядаються як макрогеосистема, інколи мезогеосистема, яка містить сукупність природничих геосистем певного типу. А отже зазначаються (квазі)природні підсистеми, за складниками яких, зокрема й комбінаційно, задано вихідну структуру та/або загальні межі цих геосистем, тобто

$$\{DT\} \in \{GEO\}_{KПГЕП} . \quad (3.1)$$

На етапі модельної параметризації під час оцінювання стану вищезазначених сукупностей природничих геосистем застосовують вже розглянутий у п.2.1 принцип моделювального зниження від **груп показників і параметрів** такого стану (*макрорівень формалізації*) до **наборів компонентів і елементів** цих груп (*мезо- і мікрорівні*).

За таких засновків, по-перше, будь-яка з груп геопоказників або геопараметрів може розглядатися як *явна чи неявна (загальноцільова)*.

По-друге, у формалізаційних записах на кшталт (1.3) тощо *значення всіх видів полів* можуть бути як "суто" числовими, так і інтегральними характеристиками або ознаками за комплексом вихідних числових величин або якісних параметрів, виражених символічно або вербально.

Крім того, нижчі за ієрархією поля параметрів макрогеосистеми *ДТ* мають **власні просторові області (субобласті SR)** у складі *R*. Тобто вони є субполями у складі як кожної групи показників *ДТ*, так і *ДТ* взагалі, а отже

$$R \in \{SR_{KM}\} , \quad (3.2)$$

$$R \in \{SR_{EL,n}\} , \quad (3.3)$$

де *SR* – символ, що маркує відповідні просторові субобласті компонентів (*KM*) і елементів *n*-го рівня (*EL,n*) груп показників чи параметрів стану *ДТ* та їхніх природничих геосистем-складників.

Існують також певні **принципові особливості етапу модельної параметризації** геоecологічного районування.

Перша особливість полягає у тому, що записи (3.2) і (3.3) є **символьно-загальнофункціональними**. Тобто субобласть субполя певного елемента за (3.3) у свою чергу просторово диференційована за відповідними величинами або ознаками як значеннями субполя. Сукупність останніх, як складників елемента, чисельно або символічно і визначає власне цей елемент.

За наявності **однокомпонентної в групах або одноелементної в компонентах** груп "представленості" їхньої структури обов'язково зберігається **комплексність** складників кожного такого компонента або елемента в тому чи іншому вигляді. Це і визначає зміст **другої особливості** етапу параметризації.

На етапі модельної параметризації, як його **третья принципова особливість**, використовуються також потрібні, алгоритмічно визначені конкретною специфікою районування, **одно- і міжрівневі побудови комбінацій** "різногрупових" компонентів і елементів. Такими комбінаціями є спільні параметричні системи та підсистеми за відповідними групами показників або параметрів стану природничих геосистем досліджуваних територій і субполями таких комбінацій.

Згідно з **п'ятою особливістю**, складники різних рівнів параметричної структури геоecологічного районування територій в процесі її формування може бути диференційовано на:

1) **"модельні" складники**. За них правлять ті, які модельно картографуються засобами ГІС-інструментарію для завдань районування;

2) **"умовно модельні" складники**. Ними є, по-перше, ті, для яких геоінформаційне картографування принципово можливе, але не є актуальним чи домислюється в неявно вираженій (посередній) формі. По-друге, цими складниками можуть бути ті, для яких геоінформаційне картографування здійснюється спеціально лише як допоміжно-проміжне рішення.

П'ятою особливістю є **відмінності вихідного**, що вже існує, **просторового подання** складників підсистем природничих геосистем досліджуваних територій. Такі відмінності можуть призвести під час формалізації відповідних полів і субполів до оперування як неперервно, так і дискретно ("точково" тощо) початково заданими в просторі геосистемами, зокрема й за обмеженим набором їхніх параметрів.

Шоста особливість свідчить про те, що інколи виникають проблеми, спричинені недостатньо структурно-функціонально зумовленим за змістом районування імперативним чи вимушеним визначенням меж загальної просторової області DT , тобто R у моделі (1.3)]. Це викликає одразу закладену для районування **"зредукваність"** як певних вихідних, насамперед (квазі)природних, геосистем, так і наступних модельних таксонів районування. Таку ситуацію теж треба адекватно враховувати під час планування й отримання результатів.

У всіх випадках, згідно з **сьомою особливістю**, за геоінформаційні засоби моделювання та характеристики детерміновано-стохастичної параметричної, а далі і функціональної структури макрогеосистеми DT або її складових частин правлять **перетини** полів певних просторових величин. Ці величини визначають **умови та наслідки** ресурсокористування на обраних для дослідження територіях і задаються моделлю (1.3) або аналогічними до неї чи похідними від неї. Зазначені перетини утворюються, зазвичай, спеціально обумовленою фіксацією аргументу часу (t_0) або періодизацією цього аргументу в моделях на кшталт (1.3).

Термінологія етапу модельної параметризації має визначальне значення для принципів усього геоекологічного районування. Вона відповідає термінології визначення стану природничих геосистем, вже викладеній у п.2.3, з певними модифікаціями останньої.

Зокрема, на розвиток п.2.3, **стан макрогеосистеми досліджуваних територій** кваліфікується як сукупність властивостей цієї макрогеосистеми і її геосистем-складників, серед них і "кінцевих" таксонів районування. Усі ці геосистеми тестуються для оцінювання **ознак стану за умовами та наслідками ресурсокористування**, зважаючи і на власний стан геосистем.

Ознаками стану за умовами та наслідками ресурсокористування або просто **ознаками стану** макрогеосистеми *ДТ* і її субструктур є фактичні числові або "чисельно-ознакові" значення відповідно обраних, згрупованих і співвіднесених між собою випадкових і/або "антропогенно"-детермінованих полів чи субполів моделі (1.3) різних ієрархічно-параметричних рівнів. Найчастіше використовують рівень субполів елементів, тобто значення певних елементів у просторових областях їхніх субполів, але з урахуванням належності цих елементів до їхніх компонентів або груп показників.

Принципово можливим і бажаним є **розподіл** стану макрогеосистеми *ДТ* і її субструктур на **"стан за умовами"** та **"стан за наслідками"** ресурсокористування. Такий розподіл власне і визначає набір полів (субполів) груп показників чи параметрів, які може бути залучено до оцінювання ознак зазначеного стану. Зазвичай, з ознаками стану за умовами поєднують поля груп показників або параметрів, які не мають головного наслідкового за цілями районування характеру. Тобто такі поля не належать до домінантної критеріальної групи показників (див. далі). А проте, у разі спрощення не виключено випадок, у якому може і не бути розподілу стану модельних геосистем на два складники, а дотримано **об'єднання стану за умовами та наслідками**.

Рівень стану заданих субструктур районування тестується, користуючись двома принциповими підходами. З одного боку, певний **рівень "стану за умовами"** відповідає адекватним, найчастіше "чисельно-ознаковим", значенням обраного набору субполів, просторові субобласті яких поєднано за межами з сукупностями певних (квазі)природних геосистем. Вони мають бути однорідними або квазіоднорідними за умовами ресурсокористування, передусім згідно з генетичними особливостями цих сукупностей. При цьому, *по-перше*, у випадку застосування набору субполів обов'язковим є визначення домінантних типів субполів. *По-друге*, можливим є використання за необхідності вибіркового еталонних показників "стану за умовами".

З іншого боку, **рівень стану** субструктур районування **за наслідками ресурсокористування** ототожнюється з його відповідністю значенням однорідних субполів, отриманими за певним категоріями **категорійно-класифікаційних схем** елементів *домінантної під час районування критеріальної групи показників "стану за наслідками"*. За останню при комплексному підході доцільно обирати групу спільних і інтегральних показників.

Вибір чи створення щойно зазначених критеріальних категорійно-класифікаційних схем у процесі модельного геоекологічного районуванні територій є самостійною задачею етапу модельної параметризації. Цю задачу поєднано і з ви-

значенням з такими атрибутами процесу моделювання, як **критична група населення (ресурсокористувачів)** та **вибіркові або інтегральні оцінні показники геоecологічної безпеки**.

Вибір **критичної групи населення (ресурсокористувачів)** проводиться, за його можливості або доцільності, в залежності від видів, регламентів, безпосередніх об'єктів і оцінних критеріїв наслідків ресурсокористування. При цьому домінують орієнтації на суб'єктів ресурсокористування, яких щонайменшим чином охоплено заходами, передусім природоохоронними, із зниження можливих негативних наслідків користування ресурсами геосистем. Тобто існує досить великий можливий набір осіб критичної групи населення як ресурсокористувачів. Такий набір може стосуватися населення досліджуваних територій загалом, або міських чи сільських мешканців чи вирізнених у складі таких мешканців ще більш деталізованих гендерно-вікових категорій тощо. А проте, в цілому вирізнення критичної групи у зазначеному аспекті можна проводити, користуючись трьома узагальнювальними ознаками або рівнями такого вирізнення. Серед цих ознак – "життєдіяльність", з урахуванням її видів і місцезнаходження, "вік" і "стать". Послідовне застосування зазначених ознак дозволяє оперувати як загальним поняттям "критична група населення", так і більш конкретним поняттям "критична група людей".

За **вибіркові або інтегральні оцінні показники геоecологічної (поміж неї екологічної) безпеки** для цілей геоecологічного районування згідно з його визначенням слід приймати певні обрані моно- чи поліпараметричні **еталонні показники стану** субструктур районування, які тестуються, та способів такого тестування.

Еталонні показники стану формуються, по-перше, на основі застосування і/або певного комбінування вже розроблених чинних геоecологічних і/або екологічних нормативів, умов і вимог. По-друге, такі показники може бути обрано або запропоновано в результаті спеціальних наукових розробок з моделюванням комплексних, нових за змістом геоecологічних і/або екологічних критеріїв. Останні можуть базуватися як на чинних нормативах і вимогах, так і на результатах розвитку їхніх положень.

У всіх випадках еталонні показники стану субструктур районування мають певним чином характеризувати **вимоговий ступінь геоecологічної безпеки** або зумовлені ним допустимі ризики в процесі ресурсокористування. Цей ступінь може відображати або поєднувати **міри загрози** біорізноманіттю територій, рівновазі конкретних геосистем, а також здоров'ю та/або життєдіяльності критичної групи населення – ресурсокористувачів – тощо. Корисним при цьому може бути застосування та розвиток принципів, викладених у р.1-2. Згідно з ними рівень стану певних субструктур геоecологічного районування, як ступінь відповідності заданим параметрам і вимогам, можна тематично моделювати, по-перше, шляхом оцінювання потенціалу передусім геонегативних природно-соціально-економічних функцій геосистем цих субструктур – докілья-ресурсо-деградаційно-редукційних, "екоризикових" тощо (див. табл.1.4). По-друге, для зазначеного моделювання доцільно реалізовувати складники понять **стійкості, надійності та геоecологічно-економічної рівноваги** досліджуваних геосистем.

Критеріальні категорійно-класифікаційні схеми рівнів стану субструктур районування за наслідками ресурсокористування і будуть безпосереднім підсумковим

відображенням розрахункового ступеня відповідності обраним еталонним показникам цього стану з урахуванням, за необхідності, критичної групи населення (ресурсокористувачів).

Такі схеми, відповідно, можуть бути *допоміжними*, *проміжними* та *кінцевими*, моно- або поліпараметричними, конкретно числовими або інтервальними тощо. Утім за всіх умов критеріальні схеми мають категорувати рівень стану субструктур районування з класифікаційним семантичним його визначенням. Тобто цей рівень "стану за наслідками" має модельно оцінюватися як "задовільний" або "погіршений" тощо за певними інтегральними або "груповими", "компонентними" чи "елементними" індексами цього рівня (див. р.1-2). Зазначені оцінки за індексами рівня стану або їхніми інтервалами, групами тощо мають адекватно зумовлювати неоптимальність або необхідність і певні типи заходів з посилення геоecологічної безпеки ресурсокористування. Також зважають і на терміновість і види відповідних обмежень чи втручань тощо в загальній системі геоecологічно-економічного нормування ресурсокористування та охорони відповідних компонентів природничих геосистем.

Третій етап – *етап оцінювально-функціонального структурування* обраних для геоecологічного модельного районування територій – вже безпосередньо пов'язано з тестуванням стану макрогеосистеми ДТ і оцінюванням його рівня. Цей процес зводиться до **формування** єдино-параметрично заданих **складників функціональної структури макрогеосистеми досліджуваних територій**. Це здійснюється шляхом як використання існуючих складників макрогеосистеми, послідовно трансформованих згідно зі змістом моделі (1.3), так і геоінформаційного модельного синтезу нових. **Функціональну структуру** розподіляють на:

- 1) *початкову* функціональну структуру,
- 2) *первинну змодельовану* функціональну структуру,
- 3) *інтегральну (вторинну) змодельовану* функціональну структуру.

Складники **початкової функціональної структури** формуються за рахунок упорядкування та геоінформаційної імплементації конкретних значень і просторових областей або субобластей полів чи субполів параметризованих за (1.3)-(1.4) (квазі)природних геосистем, обраних ще на етапі ініціального структурування. При цьому в залежності від вихідного вигляду використовується, по-перше, неперервне просторове задавання значень таких полів з просторовими областями за змістом ознак їхнього вирізнення. По-друге, оперують і дискретним, тобто "точковим" тощо, координатним задаванням значень але з напевне необумовленими в складі початкової структури просторовими областями.

Для моделювання наступних функціональних структур макрогеосистеми ДТ слід попередньо визначитися з деякими принциповими положеннями такого моделювання. Вони одночасно відповідають і **принциповим підходам етапу оцінювально-функціонального структурування**.

По-перше, це стосується **умов стаціонарності** (квазістаціонарності) та **однорідності** (квазіоднорідності) детермінованих і випадкових "робочих" і "модельних" полів і субполів макрогеосистеми, зважаючи на задані чи обрані в процесі геоecологічного районування період моделювання і вигляд модельних розрахункових значень цих полів і субполів.

Зрозуміло, що за наведених далі умов будь-які часові перетини, "антропогенно"-детермінованих полів моделі (1.3) і супутніх до неї є перетинами стаціонарних полів для розрахункового періоду моделювання за їхніми значеннями в межах відповідних однорідних субполів складників цих полів. При цьому стаціонарність "антропогенно"-детермінованих полів зазвичай завбачує відповідність розрахункового періоду моделювання періоду з "умовно незмінним" зафіксованим рівнем стану антропогенних підсистем природничих геосистем *ДТ*, які задаються такими полями. У інших випадках слід обов'язково обумовлювати й погоджувати зазначені періоди.

Стосовно ж **випадкових полів** моделі (1.3) мова, як правило, може йти про їхнє **приведення до квазістаціонарного в часі та квазіоднорідного за простором** вигляду, зокрема задаючись певними спрощеннями. Такі квазістаціонарність і квазіоднорідність мають засвідчити адекватні умови проведення стохастичних дослідів і оцінювань стану субструктур районування. Тобто вони повинні засвідчити відносну постійність впливів і зв'язків в межах макрогеосистеми *ДТ*. Це може бути досягнуто шляхом **певних модельних рішень і побудов**, найбільш обґрунтованими з яких є:

1) застосування розрахунково-прогнозних показників, які за змістом свого отримання маркують умовно стаціонарні субполя для розрахункового періоду геоecологічного районування;

2) застосування певних розрахункових інтервалів модельних для районування величин. Це спричинює "інтервальну" квазістаціонарність значень відповідних цим величинам субполів;

3) обмежувальне поєднання отриманих щойно зазначеними способами просторових субобластей квазістаціонарних у часі випадкових субполів з контурами просторово однорідних за умовами ресурсокористування субобластей детермінованих субполів певного рангу. Останні мають бути однорідними за генетичними та іншими особливостями (див. рівень "стану за умовами"). Зазначене поєднання проводиться, по-перше, безпосередньо "розміщенням" випадкових полів у відповідних межах детермінованих. По-друге, це поєднання здійснюється шляхом розповсюдження за допомогою геоінформаційної інтерполяції та/або екстраполяції тощо дискретних ("точкових") значень випадкових субполів на задані межі детермінованих. Результатом обох операцій і є приведення випадкових субполів, які розглядаються, до умовно однорідного вигляду.

По-друге, відповідно до кінцевих критеріальних категорійно-класифікаційних схем рівнів стану субструктур районування необхідно розробити потрібні **ієрархічні класифікаційні схеми** зі спадними ланцюжками **власне таксонів геоecологічного районування**. Для цього слід передусім:

- дати **визначення** та способи вирізнення кожного із зазначених таксонів;
- сформулювати **принципи утворення нових повних назв таксонів** за ознаками, згідно з якими їх синтезовано;
- запровадити, за можливості, **інтегральні характеристики рівня стану таксонів** з визначенням репрезентативної застосовності і змісту таких характеристик.

Урахування щойно зазначених положень моделювання за особливостями початкової структури як підходів третього етапу геоecологічного районування дозволяє принципово визначитись зі змістовою сутністю створення первинної та вторинної функціональної структури територій, які районуються.

Отже, **первинна функціональна структура** геоінформаційно моделюється за допомогою системної супідрядної комутації шарів ГІС, які містять набори перетинів (квазі)стаціонарних і (квазі)однорідних детермінованих і випадкових субполів, які характеризують рівень "стану за умовами" ресурсокористування, з виходом шляхом синтезувального накладання на результувальні шари субполів "модельних" складників домінантної під час районування критеріальної групи показників стану макрогеосистеми ДТ за наслідками ресурсокористування.

Інтегральна (вторинна) **функціональна структура** досліджуваних територій модельно синтезується ("критеріально розпізнається") ГІС-інструментарієм за допомогою перетворення первинної функціональної структури в інтегральну. Це здійснюється шляхом диференціювання та поєднання шарів субполів первинної структури в ієрархічно супідрядні шари вже власне таксонів геоекологічного районування за прийнятою ієрархічною класифікаційною схемою цих таксонів. Остання крім субполів домінантної критеріальної групи показників стану може базуватися на субполях і інших груп показників як допоміжних для вирішення таксонів районування.

Слід зазначити також, що загальними **принципами та способами реалізації** викладених вище **основних положень геоекологічного модельного районування за допомогою ГІС-інструментарію** є:

1) оперування найчастіше **трьома типами просторових об'єктів** – полігонами, точками та лініями – а також, подекуди, поверхнями, що стосується проміжних або допоміжних модельних операцій;

2) використання можливості створення та аналізу **просторових об'єктів високого рівня**, зосібна комбінованих. Серед таких об'єктів – регіони та позиційовані за групуваннями точок полігони тощо;

3) **зумовленість вибору типу просторових об'єктів** для подавання певних модельних елементів ДТ конкретними задачами, виглядом математичних або геоінформаційних моделей цих задач, типом модельної структури, що відтворюється, видами просторових запитів, а також робочим масштабом геоінформаційного моделювання;

4) застосування **геоінформаційних операцій із взаємо-зворотної зміни виду подавання та перекласифікації** просторових об'єктів, які аналізуються;

5) використання для просторових запитів як **стандартних функціональних модулів обраного ГІС-інструментарію**, так і **результатів адаптації їх** для певних нестандартних процедур у процесі моделювання, а також **спеціально створених прикладних програм**;

6) використання як найбільш уживаних визначених **геоінформаційних багатшарих моделей даних**. Поміж них векторно-топологічні, растрові (на основі регулярної мережі точок), а також деякі інші, які забезпечують потрібні модельні операції, зважаючи і на необхідність створення **результувальних шарів** чи інші способи результувальної візуалізації заданих модельних структур тощо.

Приклад застосування всіх наведених у цьому розділі підходів подано в р.4 для такого різновиду геоекологічного модельного районування, як ландшафтно-гідрорадіоекологічне, з тестовою реалізацією алгоритмів такого районування для макрогеосистеми північного та північно-західного регіонів держави.

3.2 Оптимізаційно-діагностичне моделювання

Оптимізаційно-діагностичний апарат природничо-географічного моделювання містить три характерні розробки, які є методично корисними для підручника загалом і стисло викладаються в цьому підрозділі.

3.2.1 Оптимізація режимів управління геосистемами

Першочергова оптимізаційна методично-прикладна реалізація положень, поданих у р.1-2, стосується принципів підходів до геоecологічно-економічної оптимізації експлуатації ресурсів природничих геосистем. Розроблені у наших працях ([36, 38, 40, 49] і ін.) способи розв'язання такої проблеми в алгоритмічному вигляді, тобто як *алгоритмічний опис процесу моделювання*, і наводяться далі.

Таким чином, розглянемо *загальну алгоритмічну схему геоecологічно-економічної оптимізації довготермінових і оперативних режимів управління природничими геосистемами та експлуатації їхніх природних ресурсів з обґрунтуванням ефективних геоecологічно-стабілізаційних заходів* (скорочено, "геостабілізаційних заходів", абrevіатурно, "ГСЗ"). Надалі, стисло, будемо називати цю схему, подану на рис.3.3, "алгоритмічною схемою оптимізації" або просто "схемою оптимізації".

Примітка. Термін "управління геосистемами" скрізь розуміється як управління їхнім станом.

Принципи оптимізації управління природничими геосистемами безпосередньо реалізуються згідно з рис.3.3, передусім шляхом *обґрунтування та добирання наступних комплексних критеріїв оптимізації*:

1) **критеріїв першої групи.** Вони забезпечують максимально можливу, зокрема поетапну для поступової реалізації геостабілізаційних заходів, відповідність розрахункових чи фактичних значень елементів геопоказників або геопараметрів (геоелементів) геосистем еталонним показникам;

2) **критеріїв другої групи.** Їх застосовують для максимально можливого досягнення заданої або вимогової надійності природничих геосистем за умов максимально можливої або оптимальної ефективності природно-соціально-економічних функцій $E(ПСЕФ)$ за моделями (1.17)-(1.18). При цьому орієнтуються на відповідну такий надійності ймовірність перевищення ресурсовидатності геосистем за формулою (2.77);

3) **критеріїв третьої групи.** За їхньою допомогою формулюють функціональні вимоги до відповідних технологічних схем, технічних і інших практичних рішень з управління з огляду на геоecологічно-економічно-соціальні критерії перших двох груп, які визначають заданий, зокрема й оптимальний, режим експлуатації ресурсів і управління геосистемами.

За останніми критеріями і обираються або удосконалюються чи розробляються конкретні типи або комбінації найбільш ефективних експлуатаційних геоecологічно-стабілізаційних заходів (ГСЗ) і засобів, які підтримують режим управління.

Крім щойно викладених критеріїв, слід зважати і на певні *передумови оптимізації*.

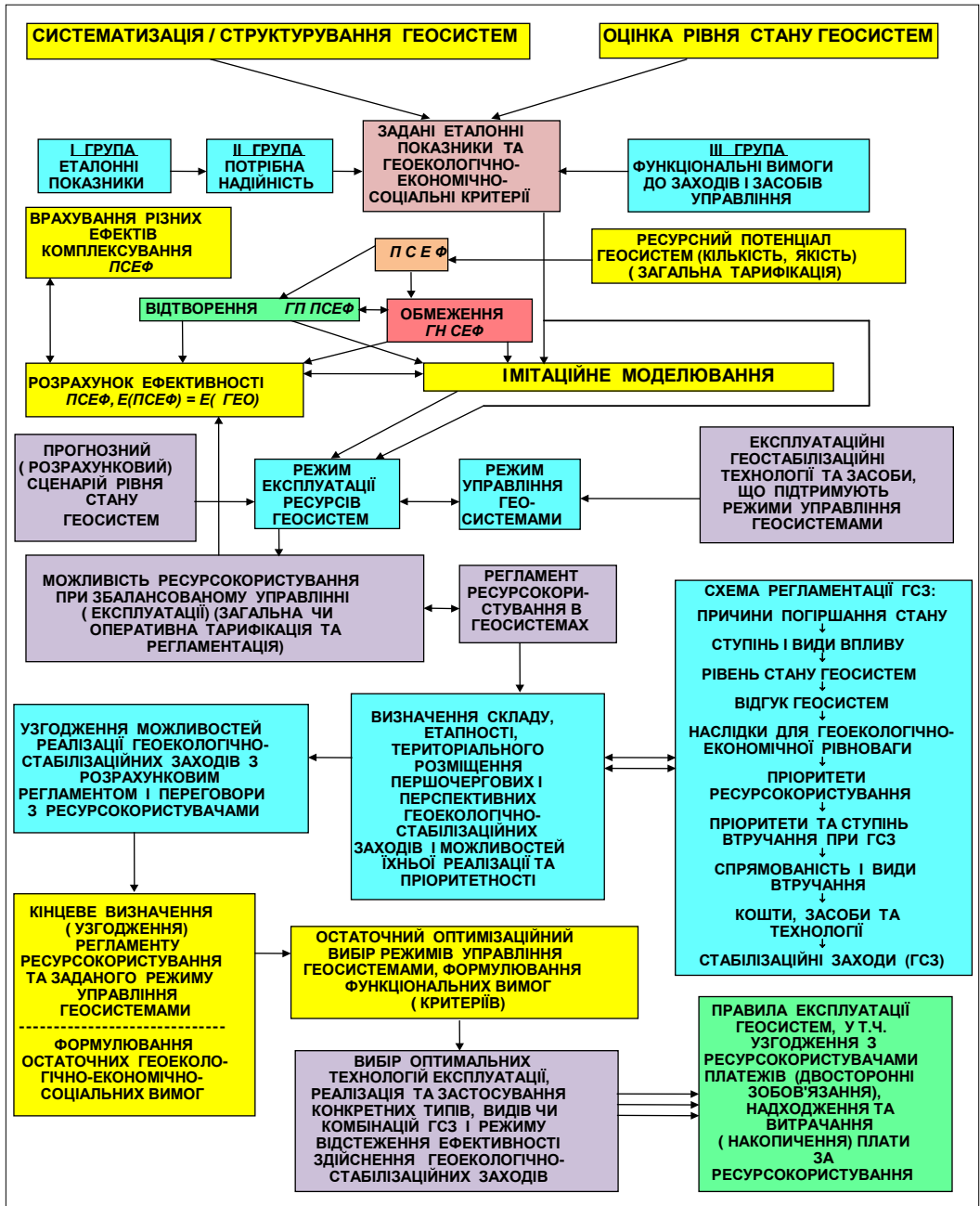


Рис.3.3 Загальна алгоритмічна схема геоecологiчно-економiчної оптимiзацiї довгo-термiнових i оперативних режимiв управлiння природничими геосистемами

Першою передумовою оптимізаційних рішень алгоритмічної схеми, що розглядається, є систематизація/структурування природничих геосистем за принципами р.1 для вирізнення різорівневих таксонів певної досліджуваної геосистеми відповідно до її рангу та типологічно-функціональних і експлуатаційних особливостей.

Складниками **другої передумови** оптимізації, зумовленими "прямими" задачами п.2.3, є:

1) інтегральне оцінювання рівня стану природничих геосистем і їхніх субструктур і першопричин погіршення рівня цього стану (див. далі п.3.2.3 цього підрозділу);

2) оцінювання здатності природничих геосистем до саморегуляції;

3) визначення реальних і потенційних природно-соціально-економічних функцій за видами ресурсів і таксонами геосистем;

4) попередній аналіз необхідності та ступеня обмеження небажаних і відтворення потрібних складників природних і антропогенних процесів, які визначають рівень стану геосистем і виникнення екстремальних ситуацій для цього стану, зосібна для ресурсокористування в геосистемах. При цьому, за можливості та доцільності, слід урахувувати загальну природоохоронну концепцію розвитку геосистем більш високого рангу, до складу яких входить певна досліджувана геосистема.

Зважають також на такі **особливості оптимізації**.

По-перше, в сукупності оптимізаційних проблем тарифікація природних ресурсів геосистем, яку за принципами р.1 розділяють у схемі оптимізації на загальну та оперативну, і геоecологічно-економічна регламентація та нормування ресурсокористування мають завбачувати **обумовлені товарно-грошові відносини** між ресурсокористувачами та розпорядниками ресурсами геосистем. Такі відносини мають передбачати виконання взаємних договірних зобов'язань під час ресурсокористування за вихідними вимогами розпорядників, насамперед геоecологічними, за умови збереження відповідальності розпорядників за гарантоване постачання якісних ресурсів як товару.

По-друге, в процесі вирішення задач за схемою рис.3.3 використовують **два часових виміри**:

1) середньобагаторічний або інший **розрахунковий вимір**. Він є точкою відліку для загальної тарифікації ресурсів і регламентації ресурсокористування та, у складі останньої, *довготермінової оптимізації режимів управління* геосистемами. При цьому враховують оптимальні види та способи застосування конкретних геоecологічно-стабілізаційних заходів, як комплексних управлінсько-природоохоронних технологій, і засобів, зосібна технічних, конструктивних тощо;

2) **оперативний вимір**. Він стосується вже оперативної тарифікації природних ресурсів і регламентації ресурсокористування з відповідною *оперативною оптимізацією режимів управління* природничими геосистемами. Така оптимізація може здійснюватися, наприклад, на початку календарного або водогосподарського року тощо. При цьому додатково зважають на етапність і реальне здійснення запланованих геоecологічно-стабілізаційних заходів.

На основі вищевикладених критеріїв, передумов і особливостей оптимізації дотримуються **наведеного далі набору операцій**, які підсумовують і узагальнюють викладені раніше в р.1-2 принципи моделювання і правлять за **складники загальної алгоритмічної схеми оптимізації** (див. рис.3.3).

1.За заданими вимоговими критеріями рівня стану природничих геосистем і двома групами його ознак – стійкості та надійності, а також зважаючи на загальні цілі функціонування геосистем, виконується імітаційне моделювання ефективності

природно-соціально-економічних функцій геосистем, враховуючи й міру зменшення ступеня геоecологічного ризику тощо. При цьому порівняльно економічно орієнтуються на мінімум витрат для обмеження геонегативних або відтворення геопозитивних ПСЕФ, які тестуються, зокрема за видами ресурсів і таксонами конкретних геосистем.

2.Синтезуючи обрані доцільні ПСЕФ, прогнозний сценарій рівня стану природничих геосистем для реального року (на його початку тощо), або те ж саме як розрахункові величини для різних ймовірностей перевищення кількості та якості певних природних ресурсів геосистем, моделюється *оперативний* або *загальний* (для довготермінової оптимізації) *режим експлуатації* ресурсів із відповідним режимом управління. До того ж зважають на синергічний ефект інтегрування природно-соціально-економічних функцій емерджентного та мультиплікативного типу та антагоністичний ефект такого інтегрування (див. формули (1.13)-(1.16)).

3.Синтезуючи режим експлуатації п.2 з даними щодо ресурсного потенціалу природничих геосистем, формулюється оперативна або загальна можливість ресурсокористування у випадку геоecологічно-економічно збалансованого управління геосистемами. Для цього поєднуються результати оперативної чи загальної тарифікації ресурсів і визначена ймовірність перевищення ресурсовидатності геосистем з відповідним регламентом, а також доцільними видами та структурою ресурсокористування (див. модель (2.77) і пояснення до неї).

4.За результатами загальної регламентації ресурсокористування в геосистемах, згідно з обраними критеріями оптимізації першої, другої та третьої груп, насамперед за заданими еталонними показниками властивостей геосистем або певними рівнями таких вимогових характеристик, визначається склад, територіальне розміщення та етапність першочергових і перспективних геоecологічно-стабілізаційних заходів. Оцінюється й можливість реалізації та пріоритетність цих заходів шляхом *моделювання та розрахунків за певним ланцюжком*. Останній будується таким чином: несприятливі для потрібного рівня стану природні та антропогенні процеси в геосистемах як причини погіршення стану, тобто невідповідності реального рівня стану бажаному – ступінь і види впливу на цей рівень – наслідки для вимогової геоecологічно-економічної рівноваги геосистем і їхніх таксонів за прийнятими комплексними вимогами для відповідних ПСЕФ – пріоритети ресурсокористування, а саме оптимальний для використання об'єм і види ресурсного потенціалу геосистем і потрібний регламент ресурсокористування в їхніх субструктурах – пріоритети та ступінь втручання в модулі або субструктури геосистем і вкеровні джерела антропогенного навантаження на них – спрямованість і види такого втручання – кошти, засоби та технології – власне комплекс геоecологічно-стабілізаційних заходів. Слід ще раз підкреслити, що етапи фактичної реалізації таких заходів істотно впливають на наступне коригування стратегії як довготермінової, так і, особливо, оперативної оптимізації режимів управління природничими геосистемами.

5.Після розрахунків за наведеним у п.4 ланцюжком і згідно з національними пріоритетами використання природних ресурсів і охорони довкілля проводиться узгодження можливостей реалізації попередньо визначених геоecологічно-стабілізаційних заходів і дотримання зазначених національних пріоритетів з розрахунковим регламентом ресурсокористування. Потім розпорядники ресурсами гео-

систем проводять переговори з ресурсокористувачами на предмет платного ресурсокористування, враховуючи двосторонні зобов'язання згідно з викладеними вище особливостями оптимізації. За таких умов зважають не тільки на пріоритетність ресурсокористувачів, а й на такі чинники, як:

- 1) можливості ресурсокористувачів у освоєнні конкретних видів і об'ємів доцільного ресурсного потенціалу природничих геосистем;
- 2) попит на зазначені види;
- 3) переваги для розпорядників у частині надходження плати для відтворення ресурсів і поліпшення стану геосистем тощо.

6. За результатами переговорів п.5 проводиться кінцеве визначення й узгодження регламенту ресурсокористування та заданого режиму управління природничими геосистемами, тобто формулюються остаточні геоекологічно-економічно-соціальні вимоги. Після цього здійснюється підсумковий оптимізаційний вибір режимів управління геосистемами та формулюються відповідні функціональні критеріальні вимоги. За ними і здійснюється вибір оптимальних технологій застосування конкретних типів, видів і комбінацій геоекологічно-стабілізаційних заходів і режиму відстеження ефективності їхньої імплементації.

Як **результувальні рішення схеми оптимізації**, для довготермінової регламентації ресурсокористування та оптимізації режимів усі зазначені вище модельні результати та узгодження доцільно втілювати в належно затвердженому документі. За нього може правити директива на кшталт **правил геоекологічно-економічно безпечної експлуатації конкретних геосистем**. Можливим є уточненням такого документа в оперативних регламентах ресурсокористування. Ці регламенти, зокрема, будуть передбачати як надходження платежів, можливо авансових, за ресурсокористування, так і зобов'язання розпорядників ресурсами перед обраними ресурсокористувачами.

За таких умов **витрачання / накопичення плати за ресурсокористування** має проводитися за такими **статтями**:

1) **за (на) відтворення ресурсів** з нарахуванням пропорційно об'єму вилучення ресурсів тощо за заданими геоекологічно-економічно-соціальними критеріями та вимогами. При цьому, на кінець кожного року або іншого розрахункового періоду, проводиться накопичення коштів на геоекологічну реабілітацію природничих геосистем і зниження збитків, які вже існували від незадовільного рівня стану геосистем на момент початку оптимальної регламентації ресурсокористування;

2) **за всі види ресурсокористування**, тобто за вилучення ресурсів або за користування ними без вилучення, з компенсацією прогнозних оперативних чи довготермінових збитків для геосистем, інших користувачів тощо. Ця стаття загалом кваліфікується як *витрати на запобігання збиткам для загального потенціалу природничих геосистем*;

3) **різноманітні санкції за "незаплановані" геоекологічно-економічні збитки від нерегламентованого ресурсокористування** як загальні збитки від зазначеного ресурсокористування. Стаття містить *витрати на власне компенсацію зазначених збитків і витрати на відшкодування ресурсно-сировинних втрат*.

По закінченні кожного обумовленого розрахункового періоду розпорядники ресурсами природничих геосистем мають проводити **кінцеві (етапні) розрахунки з**

ресурсокористувачами. При цьому враховується реальне виконання двосторонніх зобов'язань щодо постачання або надавання в користування природних ресурсів і їхнє використання.

Наведена вище загальна алгоритмічна схему оптимізації відповідає головній тезі "ефективність геоecологічно-економічно збалансованого управління субструктурами природничих геосистем (експлуатації їхніх ресурсів) за доцільними природно-соціально-економічними функціями для видів ресурсів на базі сучасних моніторингових систем і втілення обґрунтованих геоecологічно-стабілізаційних заходів". Таку схему може бути деталізовано, функціонально уточнено та формалізовано на рівні безпосереднього створення відповідного програмного забезпечення для конкретних природничих геосистем, враховуючи їхній ранг, тип, функціонально-експлуатаційні особливості та інші ознаки.

3.2.2 Оптимізація геоecологічного моніторингу

Як друге методично-прикладне застосування оптимізаційно-діагностичного апарату природничо-географічного моделювання (див. р.1-2) щодо природничих геосистем різного рангу та типу в наших працях [36, 40, 49] тощо було розроблено, зосібна з тестовими прикладами, **методику оцінювання достовірності та відновлення геоecологічної інформації та оптимізації геоecологічного моніторингу** (скорочено, **методику СОД ГЕІ**). Базуючись на вивчених закономірностях стохастичної структури різноманітних природничих геосистем і проаналізованих способах спостережень за їхнім станом, ця методика модельно вирізняє **два складники сумарної абсолютної помилки визначення числових значень обраних фактографічних геопараметрів**, а саме:

1) **помилки (похибки) вимірювань**. Вони виникають за рахунок ступеня досконалості інструментальних методів моніторингу, тобто польових досліджень та лабораторної обробки, контрольно-вимірювальної апаратури тощо. Їх скорочено зазивають "**інструментальною**" похибкою;

2) **помилки просторово-часової обмеженості та дискретності спостережень**. Вони виникають через реальні умови стежень за станом природничих геосистем, тобто, по-перше, за рахунок лімітованого періоду та простору спостережень, враховуючи й довільність їхнього вибору. По-друге, ці помилки зумовлено вибірковістю спостережень, як за реалізаціями, так і за перетинами випадкових процесів геопараметрів, зважаючи і на обмеженість загального числа фактичних спостережень тощо.

За таких засновків, зрозуміло, не розглядаються грубі помилки за рахунок явно методично початково невірних способів геоecологічного моніторингу.

Методика СОД ГЕІ містить **кілька функціональних блоків з відповідними робочими моделями**, а саме власне стохастичного, стохастично-порівняльного та стохастично-факторного аналізів достовірності. Усе це в реалізованому прикладному аспекті призвело не тільки до можливості чисельного розрахунку та оцінювання сумарних абсолютних помилок натурного і лабораторного визначення потрібних для дослідження геопараметрів, а й до того, що:

1) розроблено **загальні алгоритми і моделі довірчих оцінок**, за якими можна визначати достовірні, факторно-стохастично зумовлені, а не довільні задані межі

коливань дійсних значень геопараметрів певної природничої геосистеми для адекватного оцінювання її стану;

2) розроблено та успішно застосовано у ГІС геосистем водойм [36-38, 40] моделі для відновлення (реставрації) певної недостатньо повної та достовірної геоекологічної інформації;

3) створено науково-методичний апарат для розв'язання задачі вибору оптимальних співвідношень характеристик просторово-часових спостережень за показниками динаміки природничих геосистем.

Власне *геоекологічний моніторинг* (надалі скорочено "*геомоніторинг*" і аббревіатурно *ГЕМ*) у цілому розглядається як *багатоцільова модельна геоінформаційна система (ГІС ГЕМ)* з відповідною фізичною мережею для відстеження, оцінювання та прогнозування стану природничих геосистем зі створенням і веденням просторових баз даних фактографічної геоекологічної інформації з метою ідентифікації джерел геонегативного впливу на геосистеми, підтримки прийняття природоохоронних рішень і реалізації ГІС ГЕМ, насамперед для поліпшення функціонування моніторингових служб. Архітектуру геомоніторингу наведено на рис.3.4).

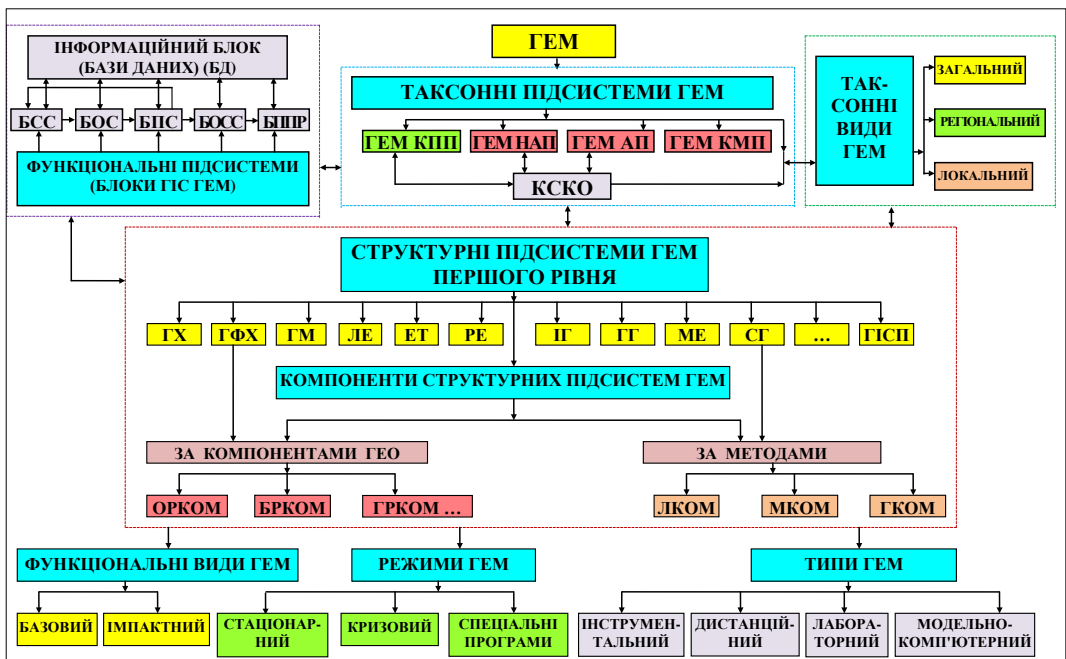


Рис.3.4 Архітектура системи геоекологічного моніторингу (ГЕМ)

Таким чином, геомоніторинг містить, по-перше, його *функціональні підсистеми (блоки ГІС ГЕМ)*, а саме:

- 1) **блок спостережень за станом природничих геосистем** у кількісному та якісному аспектах (БСС), враховуючи його організацію, запровадження та оптимізацію згідно з положеннями методики СОД ГЕІ;
- 2) **блок оцінювання стану геосистем** у часі та просторі (БОС);
- 3) **блок прогнозування цього стану** (БПС);

4) **блок оцінювання спрогнозованого стану (БОСС);**

5) **блок підтримки прийняття рішень (БППР)**, як оптимізаційно-моніторингових, так і з обґрунтування ефективних геоекологічно-стабілізаційних заходів (див. п.3.2.1);

б) **інформаційний блок (бази даних) (БД)**, який є сполучним для перших п'яти функціональних блоків та забезпечує інформаційну підтримку будь-яких взаємозв'язків між ними.

Специфічною особливістю архітектури геомоніторингу є наявність **критеріального субблоку класифікаційних ознак вибору складу та пріоритетності будь-яких підсистем такого моніторингу (КСКО)** як субблоку БППР. До цих ознак відносяться ранг і тип природничих геосистем, домінантні джерела антропогенного навантаження на геосистеми та інші функціонально-експлуатаційні ознаки. Згідно з цими ознаками і визначається як доцільна конкретна підпорядкованість, так і загалом доцільний для моніторингу набір підсистем геомоніторингу певної геосистеми.

Геомоніторинг також розподіляється за систематизаційно-структурною ознакою (див. р.1) на **таксонні підсистеми**. Серед них на першому рівні вирізняється геомоніторинг (квазі)природної (**ГЕМ КПП**), натурально-антропогенної й антропогенної підсистем (**ГЕМ НАП** і **ГЕМ АП**) і підсистеми каркасних меж (**ГЕМ КМП**) природничих геосистем. Подальша ієрархічно відповідна деталізація моніторингу таксонів виконується згідно з типами та особливостями геосистем тощо (див. (1.1) і наступні побудови).

Вирізняються також **таксонні види** геомоніторингу, до яких належать **загальний, регіональний і локальний ГЕМ**. Ці види геомоніторингу загалом зумовлюються рангом, типами та особливостями природничих геосистем, які тестуються.

Структурні підсистеми геомоніторингу диференціюються за ознакою відображення груп чинників або умов, які визначають стан природничих геосистем. Ці підсистеми адекватні структурно-ієрархічному розподілу груп геопоказників та геопараметрів геосистеми під час її модельно-параметричної (динамічної) формалізації (див. приклад п.2.1), а також видам геоекологічної інформації. Для **першого рівня** структурні підсистеми можна, зокрема, розділити на: геохімічну (**ГХ**), гідрофізикохімічну (**ГФХ**), гідрометеорологічну (**ГМ**), ландшафтно-екологічну (**ЛЕ**), екотоксикологічну (**ЕТ**), радіоекологічну (**РЕ**), інженерно-геологічну (**ІГ**), гідрологічну (**ГГ**), медично-екологічну (**МЕ**), седиментогенезову (**СГ**) та інші підсистеми, а також підсистему інтегральних і спільних показників природничої геосистеми (**ГІСП**).

Підсистеми першого порядку можна розподіляти для більш низьких рівнів, починаючи з **компонентів структурних підсистем** геомоніторингу. Такі компоненти формалізуються за двома групами ознак:

1) **за компонентами груп геопоказників і геопараметрів геосистеми** згідно з мезорівнем її формалізації у п.2.1. Наприклад, гідрофізикохімічну (**ГФХ**) підсистему геомоніторингу компонентно можна поділити на моніторинг органічних речовин (**ОРКОМ**), біогенних речовин (**БРКОМ**), газового режиму (**ГРКОМ**) тощо;

2) **за принципами (методами) досліджень** таксонних і структурних підсистем геомоніторингу. Наприклад, моніторинг седиментогенезу, як структурна підсистема, буде містити літодинамічний (**ЛКОМ**), мінералогічний (**МКОМ**) і геохімічний (**ГКОМ**) компоненти.

Таксонні, функціональні та структурні підсистеми геоекологічного моніторингу можуть реалізовуватись у його **функціональних видах**, до яких належать:

1) **базовий геомоніторинг**. Під ним розуміється моніторинг власне стану природничих геосистем і/або їхніх складників;

2) **імпактний геомоніторинг**. За нього править моніторинг джерел геонегативного впливу на геосистеми, передусім вкерованих з огляду на міру можливості обмеження їхньої дії, з спеціальними цільовими за типами та способами дослідженнями. Сюди можна віднести, наприклад, систему моніторингу континентальних джерел забруднення тощо (див. [40]).

За способами виконання досліджень і забезпечення та підтримки різних його блоків геомоніторинг *можна умовно розподілити на типи*:

1) **інструментальний тип**. За нього правлять безпосередні наземні вимірювання з координатної їхньої прив'язкою за допомогою глобальних систем позиціонування (GPS) тощо;

2) **дистанційний тип**. Цей тип геомоніторингу диференціюється на *види*, а саме:

– наземний, що використовує телеметричні або радіотелеметричні методи отримання геоінформації;

– аерокосмічний, адекватний дистанційному зондуванню;

– специфічний інтегральний, заснований на поєднанні радіотелеметричних методів з GPS тощо;

3) **лабораторний тип**;

4) **модельно-комп'ютерний тип**, що реалізується через математичне та програмне забезпечення блоків ГІС ГЕМ.

Додатково слід зауважити, що інструментальний тип і наземний та інтегральний дистанційні види геоекологічного моніторингу можуть, у свою чергу, виконуватися:

– стаціонарною мережею;

– спеціалізованими пунктами спостережень, які стосуються окремих складників геомоніторингу;

– в процесі тематичних експедиційних або скринінгових обстежень, що притаманне інструментальному типу.

Таксонні, функціональні та структурні підсистеми геомоніторингу може бути реалізовано в **стаціонарному (базовому) або кризовому режимах**, а також **режимі**, який визначається **спеціальними тематичними дослідженнями (програмами)** під час науково-дослідних робіт тощо.

Використання методики СОД ГЕІ власне для потреб *оптимізації геоекологічного моніторингу* або його певних різновидів, відповідних, передусім, різновидам геоекологічної інформації наслідує певну головну мету. За неї править оцінювання абсолютної сумарної помилки спостережень і вимірювань геомоніторингу ($\sigma_{x(t)^*,abs,Pn}$, де Pn – довірча ймовірність перевищення) через визначення функції відносної довірчої оцінки (F_{RCE}) дійсних значень геопараметрів $x(t)^*$, що можна інтегрально за змістом звести до **принципової моделі**

$$\sigma_{x(t)^*,abs,Pn} / x(t)^* = F_{RCE} = (\sigma_{lim,rel}^2 \cdot C_{v,x}(t)^2 + (\sigma, \%)^2), \quad (3.4)$$

де:

1) $\sigma_{lim,rel}$ – відносна помилка обмеженості та вибіркової спостережень. Вона розраховується за просторово-часовими реальними умовами проведення таких спостережень і за сутністю відповідає формулі $\sigma_{lim,rel}^2 = \sigma_{lim,abs}^2 / \sigma_x(t)^2$, у якій $\sigma_{lim,abs}$ – відповідна абсолютна помилка обмеженості тощо, а $\sigma_x(t)$ – функція стандарту випадкового процесу геопараметра X (див. п.2.1-2.2). При цьому $\sigma_{lim,abs}$ є інтегральною функцією помилок, які виникають за рахунок:

а) лімітованого періоду або простору спостережень (відповідно, T і L). Останній може подаватися, найчастіше, як довжина поперечного профілю вимірювань тощо;

б) дискретності спостережень за перетинами випадкового процесу певного геопараметра, тобто дискретності частоти замірів n_t ;

в) дискретності спостережень за реалізаціями випадкового процесу певного геопараметра, тобто дискретності вимірів в перетині n_w . При цьому спільно зважають і на обмеженість загального числа фактичних спостережень $n = n_w \cdot n_t$;

2) $(\sigma, \%)$ як середня частка "інструментальної" похибки від фактичного результату заміру розраховується або експертно задається в залежності від використаної контрольно-вимірювальної апаратури тощо. За змістом і розрахунковими побудовами ця похибка відповідає залежностям $(\sigma, \%) = \sigma_{ins,abs}^* / x(t)^* = K_{ins} / n^{0,5}$, у яких $\sigma_{ins,abs}^*$ – середня абсолютна "інструментальна" похибка, K_{ins} – фактична частка такої похибки;

3) $C_{v,x}(t)$ як значення функції коефіцієнта варіації геопараметра у випадку наявності достатнього ряду вимірювань використовується як фактичне. За відсутності такого ряду воно приймається як розрахункове за властивостями відповідних функцій розподілу геопараметрів, які відстежуються під час геомоніторингу.

Принципова модель (3.4) за формою її запису відповідає змісту "прямих" задач методики СОД ГЕІ. Вони стосуються визначення безпосередньо функції відносної довірчої оцінки F_{RCE} дійсних значень геопараметрів $x(t)^*$ згідно з наведеними вище умовами.

Натомість, *власне оптимізаційні задачі геомоніторингу*, або "обернені" задачі методики СОД ГЕІ реалізуються наступним чином.

З моделі (3.4), після певних необхідних спрощень, отримується **вихідна модель для оптимізаційних рішень геомоніторингу** у вигляді

$$\sigma_{lim,rel}^2 = [F_{RCE}^2 - (\sigma, \%)^2] / C_{v,x}(t)^2 . \quad (3.5)$$

Тобто, **на початковому етапі оптимізації** за бажаною розрахунковою точністю спостережень, заданою значенням функції відносної довірчої оцінки F_{RCE} , за умов відомої чи експертно встановленої середньої частки "інструментальної" похибки $(\sigma, \%)$, яка відповідає приладам тощо, які буде використано під час здійснення польових робіт і обробки матеріалів спостережень, і для заданої або відомої як розрахункова величина варіабельності випадкових функцій геопараметрів геосистем, інтегрально **встановлюється потрібна відносна помилка обмеженості та вибіркової спостережень $\sigma_{lim,rel}$** . На її основі і працюють наступні оптимізаційні моделі (див. п.2.1-2.2):

1) **для випадкових процесів геопараметрів**

$$\sigma_{lim,rel}^2 = \sigma_{lim,rel}(n_{t,T})^2 / n_{\omega} = \sigma_{lim,rel,T}^2 / (n_{\omega} \cdot n_t) = \sigma_{lim,rel,T}^2 / n \quad (3.6)$$

2) для одноаргументних скалярних випадкових полів геопараметрів

$$\sigma_{lim,rel}^2 = \sigma_{lim,rel}(n_{\omega,L})^2 / n_t = \sigma_{lim,rel,L}^2 / (n_t \cdot n_{\omega}) = \sigma_{lim,rel,L}^2 / n \quad (3.7)$$

де $\sigma_{lim,rel}(n_{t,T})$ і $\sigma_{lim,rel,T}$, відповідно, відносні помилки, які виникають за рахунок дискретності частоти замірів n_t і/або лімітованого періоду T спостережень; $\sigma_{lim,rel}(n_{\omega,L})$ і $\sigma_{lim,rel,L}$, відповідно, відносні помилки, які виникають внаслідок дискретності вимірів у перетині n_{ω} і/або лімітованого простору L спостережень, у цьому випадку довжини спостережницького профілю тощо.

Модель (3.6) і використовується для геоecологічного моніторингу як **основна оптимізаційна**. За нею **варіаційно комбінують**, в залежності від можливостей виконання моніторингових досліджень, **співвідношення**:

- періоду спостережень T ;
- частоти замірів n_t , тобто частоти відбирань проб, зйомок тощо;
- загальної кількості одиничних вимірів n_{ω} , пропорційної кількості реалізацій, а отже і кількості значень певного випадкового геопараметра X у кожному перетині, тобто реальному числу елементарних результатів дослідження або його серій з їхньої сукупності. Це число формується інтегрально за рахунок спостережницьких профілів тощо та точок на них і поза ними на області значень X (див. р.2).

Для практичної реалізації у вигляді алгоритмічних рішень з відповідним програмним забезпеченням було розроблено **спеціальні моделі** оцінювання точності та оптимізації режиму і структури натурних спостережень за геопараметрами природничих геосистем, які досліджуються. Для таких моделей, названих скорочено **моделями оцінювання точності та оптимізації спостережень за геопараметрами** або **розрахунково-оптимізаційними моделями геоecологічного моніторингу**, застосовується певний запис за структурою формули (3.6), а саме

$$n = n_t \cdot n_{\omega} = \sigma_{lim,rel,T}^2 / \sigma_{lim,rel}^2 = \sigma_{lim,rel,T}^2 \cdot C_{v,x}(t)^2 / (F_{RCE}^2 - (\sigma, \%)^2) \quad (3.8)$$

У наших працях [39, 40, 47] показано, зважаючи й на п.2.2, що під час дослідження стохастичної структури **випадкових процесів геопараметрів** найчастіше мають справу із зведеними до стаціонарних **випадковими процесами**, **автокореляційні функції яких апроксимуються** такими типами функцій, як

$$r_x(\tau) = \exp[-\alpha |\tau|] \quad \forall \alpha > 0 \quad (3.9)$$

$$r_x(\tau) = \exp[-\alpha |\tau|] \cos \beta \tau \quad \forall \alpha > 0 \quad (3.10)$$

Для першого типу автокореляційних функцій (3.9) **розрахунково-оптимізаційні моделі геоecологічного моніторингу** (3.8) мають вигляд

$$n = n_t \cdot n_{\omega} = \{2(\alpha T + \exp[-\alpha T]) - 1\} / \alpha^2 \cdot T \cdot \sigma_{lim,rel}^2 \quad (3.11)$$

для другого типу функцій (3.10) зазначені моделі мають вигляд

$$n = n_t \cdot n_\omega = 1 + 2\{(\alpha^2 + \beta^2)(\alpha T - 1) + \exp[-\alpha T] \cdot ((\alpha^2 - \beta^2) \cos \beta T - 2\alpha\beta \sin \beta T)\} / (\alpha^2 + \beta^2)^2 \cdot T \cdot \sigma_{lim,rel}^2, \quad (3.12)$$

де T – період спостережень, поданий тут у сезонах; α і β – задані параметри автокореляційних функцій для відповідного оцінювання X як визначеного геопараметра певної групи параметрів стану природничої геосистеми.

Оптимізаційно-ітераційний вибір режиму та структури спостережень за комбінацією параметрів моніторингу T , n_t , n_ω , як і оцінювання точності таких спостережень, безпосередньо і здійснюється по відношенню до кожного з обраних для дослідження геопараметрів за їхніми моделями (3.11)-(3.12). При цьому у випадку відсутності достатньо обґрунтовано визначених коефіцієнтів автокореляційних функцій (3.9)-(3.12) стосовно певного геопараметра можливим є використання таких коефіцієнтів іншого геопараметра за визначеними критеріями їхньої спорідненості тощо.

Наприклад, у наших працях [36, 38, 40] згідно з результатами досліджень стохастичної структури геосистем різних за величиною та генезисом водойм було отримано і протестовано автокореляційні функції вибіркового випадкового процесів геопараметрів гідрофізикохімічної, екотоксикологічної та радіоекологічної груп геопараметрів, що і надало можливість визначити коефіцієнти розрахунково-оптимізаційних моделей геоекологічного моніторингу геосистем водойм (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Приклади коефіцієнтів автокореляційних функцій і моделей (формули (3.9)-(3.12)), які використовуються для оцінювання точності спостережень та оптимізації геоекологічного моніторингу геосистем водойм

Назва чи символ геопараметрів	α	β	Група геопараметрів (таксон геосистеми – водні маси)	$C_{v,x,max}$
сума іонів	1,11	–	гідрофізикохімічна	0,325
завислі речовини	0,45	0,42	гідрофізикохімічна	0,419
біхроматна окиснюваність	1,25	–	гідрофізикохімічна	0,229
NH_4	0,88	1,20	гідрофізикохімічна	0,466
NO_2	0,62	1,33	гідрофізикохімічна	0,465
NO_3	0,76	0,78	гідрофізикохімічна	0,299
P (заг.)	1,06	–	гідрофізикохімічна	1,035
Cu	0,85	0,74	екотоксикологічна	0,833
Zn	0,26	0,46	екотоксикологічна	0,905
Fe (заг.)	0,49	0,53	екотоксикологічна	0,485
Cr (6+)	0,90	1,20	екотоксикологічна	0,252
^{137}Cs	1,37	–	радіоекологічна	0,916
^{90}Sr	1,29	–	радіоекологічна	0,828

Крім того, у р.8 також наведено приклад реалізації моделей і формул (3.8)-(3.12) для оптимізації вимірювання розрахункових показників біорізноманіття.

Викладені вище положення та інші супутні до них розробки (див. [39, 40, 47] тощо), лягли в основу науково-методичного апарата розв'язання задач вибору оп-

тимальних співвідношень характеристик просторово-часових спостережень за показниками динаміки природничих геосистем, а саме періоду спостережень, кількості профілів або точок замірів чи відбору проб або зразків тощо, частоти зйомок і довжини чи площі досліджуваних таксонів геосистем. Зазначений вибір здійснюється, виходячи з потрібної, зокрема бажаної або реальної, точності лабораторних і натурних вимірювань, особливостей субструктур геосистем і умов виконання спостережень – на профілях, точках тощо. Застосовуючи такий апарат і загалом методику СОД ГЕІ, можна істотно перманентно оптимізувати систему геоecологічного моніторингу різних за типом і структурно-функціональними параметрами природничих геосистем.

Крім того, використання принципів природничо-географічного моделювання, викладених у р.1-2, аналіз структурно-функціональних елементів геомоніторингу природничих геосистем (див. рис.3.4) і досвіду функціонування існуючих державної та відомчих систем і мереж спостережень за станом довкілля, зосібна в екстремальних ситуаціях, дозволили сформулювати головні і достатні **критерії ефективності геоecологічного моніторингу**. Вони стосуються такого моніторингу як цілісної системи взагалі, а також різних підсистем, видів, режимів і типів її архітектури.

Ці критерії мають такий склад і тлумачення:

1) **методична однорідність** – використання єдиної існуючої або прийнятої методики в межах кожного з функціональних блоків геомоніторингу;

2) **системна однорідність** – відповідність підходу до геомоніторингу як до єдиної вагової системної концепції – концептуального інтерфейсу ГІС тощо – згідно з принципами, викладеними в цьому підрозділі, або іншою стратегією, що послідовно реалізується стосовно всіх підсистем моніторингу;

3) **критеріальна однорідність** – можливість використання науково обґрунтованих взаємопосланих критеріїв відстеження, оцінювання та прогнозування стану природничих геосистем. Такі критерії мають бути змістовно єдиними для певних функціональних і структурних підсистем геомоніторингу і детермінованими для кожної з таксонних підсистем з відображенням особливостей останніх;

4) **однорідність та сполучність інформації** є наслідком перших трьох ознак. Вона визначається мірою здатності інформаційного блоку ГІС ГЕМ формувати адекватні бази просторових даних, зокрема із різних джерел їхнього надходження, серед них і бази даних дистанційного зондування;

5) **інформативність** – охоплення підсистемами геомоніторингу всіх процесів в природничих геосистемах, які мають значення для стійкості та надійності цих геосистем за заданими цілями функціонування останніх. При цьому має бути забезпечено реалізацію функціональних видів геомоніторингу – базового й імпактного – у всіх таксонних підсистемах моніторингу, які досліджуються, а також реально вкерованих джерелах антропогенного навантаження на геосистеми;

6) **(квазі)природно-натурально-антропогенна однорідність** відображає, поперше, можливість урахування системою геомоніторингу внутрішніх і зовнішніх структурно-функціональних зв'язків у природничих геосистемах і ієрархічної супідрядності їхніх елементів, які властиві типу цих геосистем. По-друге, така однорідність віддзеркалює спроможність просторово-часового адекватного відображен-

ня режимних (фазових) особливостей динаміки геосистем. При цьому слід зважати також на зв'язки на кшталт "джерело навантаження – рівень стану – відгук геосистеми" тощо;

7) **оперативність** – наявність системи своєчасного отримання, оцінювання інформації та передавання її органам, які приймають рішення. Зазначена своєчасність за строками має враховувати технічні можливості засобів управління геосистемами, ступінь небезпеки конкретної ситуації для їхнього стану, міру та розрахункові наслідки можливої відмови від виконання цими геосистемами вимогових природно-соціально-економічних функцій тощо (див. р.2);

8) **достовірність інформації** – можливість контролю відповідності сумарних похибок отримання геоecологічної інформації допустимим межах. Останні встановлюються згідно із закономірностями процесів у природничих геосистемах і особливостями інструментальних і модельних засобів їхнього відображення (див. методуку СОД ГЕІ в тексті цього підрозділу);

9) **режимно-моніторингова однорідність** – здатність до формування інформації у вимогових режимах – стаціонарному, кризовому тощо – базуючись на відомостях, які адекватно постачаються як фізичними мережами моніторингу, так і дистанційними та телеметричними засобами отримання інформації;

10) **інструментальна однорідність** – використання єдиної за приладами, програмним забезпеченням тощо сучасної матеріально-технологічної бази за типами геомоніторингу;

11) **сформованість**, що як критерій ефективності, з одного боку, визначає необхідність наявності та належний рівень функціональних можливостей геоінформаційних систем ГЕМ відповідного рівня. З іншого боку, сформованість передбачає наявність центрів геомоніторингу в цілісних просторових субструктурах природничих геосистем як інструмента державної природоохоронної політики.

Щойно наведені критерії ефективності системи геоecологічного моніторингу в разі необхідності можна функціонально розширювати, деталізувати або інтегрувати. Ці критерії застосовні, по-перше, для оцінювання роботи конкретних існуючих служб і мереж геомоніторингу різного типу та рангу. По-друге, такі підходи, разом із концептуальними засадами та архітектурою геомоніторингу (див. рис.3.4) у поєднанні з методично-прикладними оптимізаційними моніторинговими модельними рішеннями методики СОД ГЕІ, є корисними для удосконалення актуальних елементів архітектури будь-яких різновидів геомоніторингу як складників майбутньої загальнодержавної сучасної системи геоecологічного моніторингу.

3.2.3 Діагностика першопричин погіршення стану геосистем

Третім застосуванням оптимізаційно-діагностичного апарата природничо-географічного моделювання є *методика логіко-математичної модельної діагностики першопричин погіршення стану природничих геосистем*, яка надалі скорочено буде називатися "методика діагностики". Ця методика, знову-таки, термінологічно та змістово базується на структурно-функціональних і логіко-математичних положеннях р.1-2, частково враховуючи при цьому принципів причинно-наслідковий підходи методики Глобального оцінювання вод (GIWA) (див. [49]).

Згідно з такими загальними вихідними підходами, **головну мету методики** можна сформулювати як діагностику першопричин (корінних причин) погіршення рівня стану певної природничої геосистеми. При цьому **погіршення** кваліфікується як відхилення реального рівня стану геосистеми від практично позачасового бажаного або оптимального такого рівня, який забезпечує геоecологічну реабілітацію, геоecологічно-економічну рівновагу та усталений розвиток геосистеми та її субструктур.

Таким чином, щойно зазначені відхилення мають ідентифікуватися, з одного боку, за відхиленнями значень конкретних геоелементів від еталонних показників, тобто за ознаками стійкості геосистем. З іншого боку ці відхилення мають визначатися за видом і мірою обмеження ними геопозитивних *ПСЕФ* або посилення геонегативних *ПСЕФ* геосистеми, тобто за ознаками її надійності.

Саме такі підходи і лягли безпосередньо в основу **алгоритмічної схеми логіко-математичної модельної діагностики першопричин погіршення рівня стану природничих геосистем і головних складників цих першопричин за групами ознак стану геосистем**. Схема скорочено зветься "**алгоритмічна схема діагностики**" або просто "**схема діагностики**". Таку схему, на прикладі природничої макроекосистеми басейну Дніпра, тобто з обраним складом груп ознак, *ПСЕФ* і ресурсів, наведено на рис.3.5.

Згідно з рис.3.5, **алгоритмічна схема діагностики** передбачає поєднаний причинно-наслідковими зв'язками **ланцюг послідовних логічних**, серед них **модельних, операцій**, до яких відносяться такі.

1. **Вибір характерних проблем погіршення рівня стану природничої геосистеми за групами або комбінаціями груп ознак цього стану**. При цьому характерні проблеми погіршення рівня стану, по-перше, мають бути результатом систематизації та логічного відбору серед комплексу таких проблем найбільш репрезентативних. По-друге, ці проблеми мають обов'язково підтверджуватись кількісними атрибутами.

2. **Визначення основних безпосередніх причин погіршення рівня стану природничої геосистеми**. Під безпосередніми причинами розуміються причини, які віддзеркалюють перший складник ланцюжка "джерело навантаження на геосистему – її фіксований відгук" тощо.

3. **Виявлення основних секторів економіки, взаємопоєднаних з характерними проблемами та безпосередніми причинами погіршення стану геосистеми**. Серед таких секторів, під час спеціального аналізу природничих геосистем, у цілому доцільно вирізняти: 1) промисловість; 2) агропромисловий комплекс (АПК); 3) комунальне господарство; 4) енергетику; 5) лісове та рибне господарство; 6) транспорт; 7) рекреацію.

За необхідності та за наявності можливостей інформаційної бази тощо, серед основних секторів економіки, для аналітичної модельно-розрахункової діагностики, вирізняються їхні більш конкретні складники. Наприклад, у промисловості загалом це вугільна та хімічна промисловість, в АПК – зрощення, в транспорті загалом – трубопровідний транспорт тощо. Крім того, акцент саме на взаємопоєднанні секторів економіки з проблемами та безпосередніми причинами погіршення рівня стану геосистеми зумовлюється таким.

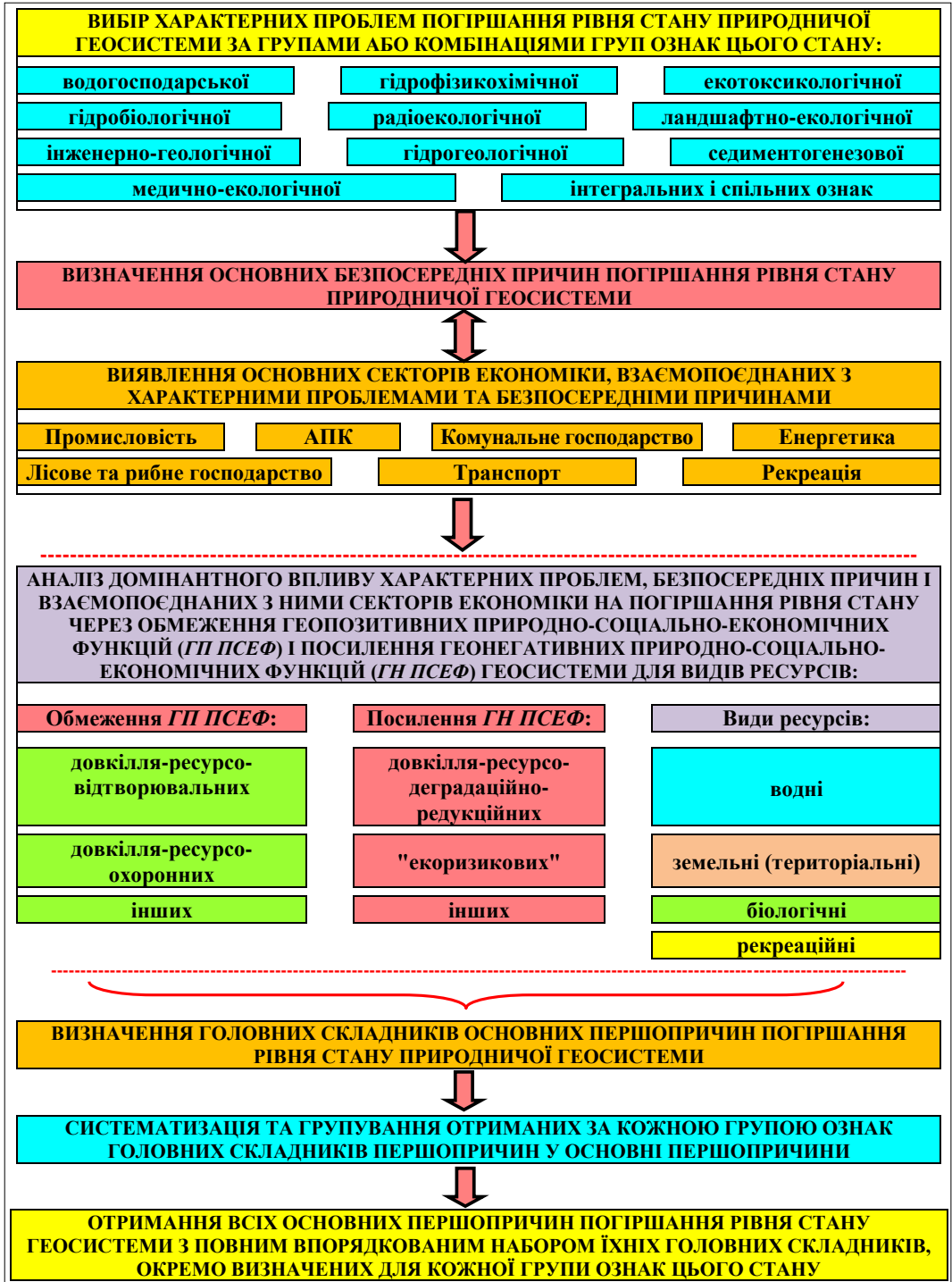


Рис.3.5 Алгоритмічна схема логіко-математичної модельної діагностики першопричин погіршення стану природничих геосистем

З одного боку, розглядаються галузі, ресурсокористування в яких безпосередньо і формує зазначені причини та проблеми. З іншого боку, згадані причини та проблеми можуть обмежувати ресурсокористування в певних секторах. Це свідчить про обмеження геопозитивних функцій геосистеми тощо, тобто про погіршення рівня стану геосистеми. Останню закономірність може бути викликано і "зигзагоподібним" причинно-наслідковим зв'язком, на кшталт "обраний сектор економіки – безпосередні причини та проблеми погіршення рівня стану – наслідки для іншого сектора економіки".

4. *Аналіз домінантного впливу характерних проблем, безпосередніх причин і взаємопов'язаних з ними секторів економіки на погіршення рівня стану через обмеження геопозитивних природно-соціально-економічних функцій (ГП ПСЕФ) і посилення геонегативних природно-соціально-економічних функцій (ГН ПСЕФ) геосистеми для видів ресурсів.* Ця операція також виконується за спеціальними залежностями та моделями з використанням всіх вже викладених підходів і деталізацією підвидів геопозитивних ПСЕФ, які обмежуються, та геонегативних ПСЕФ, які посилюються (див. р.1-2).

5. *Визначення головних складників основних першопричин погіршення рівня стану природничої геосистеми як інтегральний результат усіх попередніх операцій.* При цьому здійснюється додаткове тестування достовірності отриманих за кожною групою ознак стану головних складників першопричин, просуваючись вже не "вниз", а "вгору" за схемою рис.3.5.

6. *Систематизація отриманих за кожною групою ознак стану головних складників першопричин погіршення та групування їх власне в такі основні першопричини.*

7. *Отримання всіх основних першопричин погіршення рівня стану геосистеми з повним впорядкованим набором їхніх головних складників, окремо визначених для кожної групи ознак цього стану.*

До *особливостей вихідного варіанта методики діагностики* цього підрозділу, відноситься те, що:

1) проблематика, зумовлена наслідками природно-техногенних катастроф, вирізняється в окремий блок з відповідним аналізом за алгоритмічною схемою діагностики рис.3.5;

2) діагностика проводиться на рівні певної природничої геосистеми в цілому без детальної просторової прив'язки першопричин погіршення рівня стану до конкретних субструктур геосистеми. Останнє складає предмет окремої задачі, що також вирішується засобами природничо-географічного моделювання за спеціальними алгоритмами (див., наприклад, схему оптимізації рис.3.3);

3) за допомогою методики розглядаються проблеми, безпосередні причини та першопричини саме погіршення рівня стану природничих геосистем (див. р.1). Не розглядаються ж проблеми, які виникають внаслідок погіршення стану та інших причин і зумовлені механізмами та технологіями ресурсокористування в галузях економіки, соціальним розвитком тощо. Це можуть бути, наприклад, проблеми зниження якості сільськогосподарської продукції, зростання собівартості промислової продукції, демографічної ситуації тощо;

4) ієрархія та рангування, за ступенем пріоритетності врахування, діагностованих за викладеними підходами першопричин погіршення стану природничих гео-

систем, зокрема точна ідентифікація певного статусу таких причин також є окремою задачею. Вона вирішується, зосібна, за допомогою принципів, відображених алгоритмічною схемою оптимізації на рис.3.3, з визначенням, наприклад, транскордонного, загальнонаціонального або локального статусу першопричин, причім щодо визначених субструктур геосистем і конкретних груп ознак їхнього стану;

5) безпосередні причини погіршення рівня стану певної геосистеми після закінчення діагностики інколи можуть виявитися і першопричинами;

6) під час тестування за алгоритмічною схемою діагностики на рис.3.5 можливим і, інколи, доцільним є об'єднання проблем погіршення стану для декількох груп ознак стану, наприклад, для гідрофізикохімічної та екотоксикологічної тощо;

7) у процесі застосування алгоритмічної схеми діагностики досить часто може простежуватися "вертикальна" та "горизонтальна" логічна скорельованість різних елементів цієї схеми. Це є закономірним наслідком багатофакторного процесу погіршення рівня стану природничих геосистем, який відрізняється різноманітними зв'язками тощо;

8) не виключеними є випадки, коли безпосередні причини схеми рис.3.5 неможливо напряму поєднати з певними секторами економіки;

9) до складу певного набору основних першопричин погіршення стану алгоритмічної схеми діагностики за рис.3.5 доцільно, у всіх випадках, додавати опосередковану першопричину – *"Недомінування парадигми про природоохоронні пріоритети розвитку суспільства"*. Вона є метапершопричиною за всіма групами ознак стану природничої геосистеми.

Контрольні запитання й завдання до розділу 3:

1. Які Ви знаєте три принципові групи підходів до модельного комп'ютеризованого районування обраних для дослідження територій за заданими геоекологічними показниками?
2. Що таке геоекологічне модельне районування територій?
3. Які взаємопоєднані етапи вирізняють у процесі геоекологічного модельного районування?
4. На яких засновках базується етап ініціального структурування під час геоекологічного районування?
5. Яким є головний формалізаційний принцип етапу модельної параметризації як етапу геоекологічного районування?
6. Чим відрізняється етап модельної параметризації від етапу загальної структуралізації?
7. Чи може будь-яка з груп геопоказників або геопараметрів геосистеми розглядатися як неявна (загальноцільова)? Наведіть приклади.
8. Дайте характеристику принципovým особливостям етапу модельної параметризації геоекологічного районування..
9. Що таке "модельні" та "умовно модельні" складники різних рівнів параметричної структури геоекологічного районування територій?
10. За рахунок чого може виникнути "зредукованість" вихідних для модельного районування (квазі)природних геосистем?
11. Що таке стан макрогеосистеми досліджуваних територій?

12. Чому принципово можливим і бажаним є розподіл стану макрогеосистеми досліджуваних територій і її субструктур на "стан за умовами" та "стан за наслідками" ресурсокористування?
13. Як тестується рівень стану заданих субструктур районування?
14. Що таке критична група населення (ресурсокористувачів) і як здійснюється її вибір? Наведіть приклади.
15. Що може правити за вибіркові або інтегральні оцінні показники геоecологічної безпеки для цілей геоecологічного районування?
16. Якою є мета створення критеріальних категорійно-класифікаційних схем рівнів стану субструктур районування? Наведіть приклади.
17. На які складники розподіляється функціональна структура макрогеосистеми в процесі геоecологічного районування?
18. Яким чином можна сформувати початкову функціональну структуру?
19. Якими є принципові підходи етапу оцінювально-функціонального структурування?
20. Дайте характеристику модельним рішенням і побудовам, найбільш обґрунтованим для досягнення умов квазістаціонарності та квазіоднорідності детермінованих і випадкових полів макрогеосистеми під час районування.
21. Що таке "інтервальна" квазістаціонарність? Проілюструйте на прикладах.
22. Яким чином розробляються ієрархічні класифікаційні схеми власне таксонів геоecологічного районування?
23. Чим принципово відрізняються між собою первинна та інтегральна змодельовані функціональні структури макрогеосистеми досліджуваних територій?
24. На що спрямовано загальну алгоритмічну схему геоecологічно-економічної оптимізації довготермінових і оперативних режимів управління природничими геосистемами?
25. Як розуміється термін "управління геосистемами"?
26. Які групи критеріїв оптимізації розрізняють у її алгоритмічній схемі?
27. Що править за передумови оптимізації режимів управління природничими геосистемами і чому? Наведіть приклади.
28. Які часові виміри використовуються для оптимізації режимів управління геосистемами?
29. Дайте стисло характеристику змісту складників загальної алгоритмічної схеми оптимізації.
30. Якими можуть бути результувальні рішення схеми оптимізації?
31. Що таке витрати на запобігання збиткам для загального потенціалу природничих геосистем?
32. Поясніть головну тезу загальної алгоритмічної схеми оптимізації режимів управління геосистемами.
33. Якими є засновки методики стохастичного оцінювання достовірності та відновлення геоecологічної інформації та оптимізації геоecологічного моніторингу (методики СОД ГЕІ)?

34. Дайте стислу характеристику концептуальних засад і архітектури геоекологічного моніторингу з огляду на їхню спрямованість на модельну оптимізацію моніторингу.
35. Якими є головні складники абсолютної сумарної помилки спостережень і вимірювань геомоніторингу?
36. Яким може бути внесок "інструментальної" помилки в довірчу область дійсного середнього значення геоелемента?
37. Дайте характеристику вихідній моделі для оптимізаційних рішень геомоніторингу.
38. Яким чином реалізуються власне оптимізаційні задачі геомоніторингу?
39. Як виглядає запис розрахунково-оптимізаційних моделей геоекологічного моніторингу?
40. Чим відрізняються між собою методична та системна однорідність як критерії ефективності геоекологічного моніторингу?
41. На чому базується алгоритмічна схема логіко-математичної модельної діагностики першопричин погіршення рівня стану природничих геосистем?
42. Дайте стислу характеристику складу та змісту логічних операцій алгоритмічної схеми діагностики.
43. Яким чином виконується аналіз і моделювання доміантного впливу характерних проблем, безпосередніх причин і взаємопов'язаних з ними секторів економіки на погіршення рівня стану геосистем?

Частина 2. ПРИКЛАДИ ТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

4 ЛАНДШАФТНО-ГІДРОРАДІОЕКОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ

У наших працях [37, 40] тощо на базі засновків п.3.1 було розроблено методику **комплексного модельного районування територій за ландшафтно-гідрологічними умовами та ймовірними радіоекологічними наслідками основних видів місцевого водокористування та розрахункових видів місцевого загального ресурсокористування**. При цьому оцінюються наслідки для здоров'я місцевих ресурсокористувачів як критичної групи, а зазначене користування ресурсами називається далі спільно скорочено "місцеве водо- і ресурсокористування" на відміну від окремих рішень стосовно лише місцевого водокористування.

Щойно згаданий **різновид** геоecологічного модельного районування було названо узагальнювально **ландшафтно-гідрорадіоекологічним районуванням** територій. До того ж було отримано тестові результати цього модельного районування для регіону Поліського краю зони мішаних (хвойно-широколистяних) лісів і півночі зон широколистяних лісів і лісостепової. Зазначена методика з тестовими прикладами стисло й викладається далі.

Отже, за особливості **ландшафтно-гідрорадіоекологічного районування** територій на тлі універсальних підходів п.3.1 правлять передусім такі.

Водокористування під час ландшафтно-гідрорадіоекологічного районування макрогеосистеми досліджуваних територій (*ДТ*) у цілому розглядають як користування усіма видами природних ресурсів геосистем водних об'єктів і їхніх берегових зон – водними, земельними, біологічними ресурсами тощо (див. (1.12)). У залежності від специфіки районування інколи водокористування розглядають також в контексті загального ресурсокористування в заданих природничих геосистемах, які моделюються.

Утім за всіх умов одним з головних принципів районування має бути точне визначення видів, регламентів, об'єктів і суб'єктів водокористування досліджуваних територій. Слід також зважити на можливу наявність "азональних" структур, наприклад, каналів тощо, або "надмірільних" структур, наприклад каскаду дніпровських водосховищ, який потребує окремого районування.

При цьому не виключена можливість і доцільність вибору геосистем певних видів водних об'єктів, стан яких є індикаторним для районування територій з водними об'єктами в цілому. Таке було зроблене нами, наприклад, у [37, 38, 40], де **геосистеми водойм** правила за **індикаторні** під час оцінки наслідків водокористування. Такий вибір було зумовлено тим, що за своїми морфогенетичними та гідроекологічними характеристиками і особливостями ці аква-теральні геосистеми є індикаторними щодо тестування загального рівня різногенезисної забрудненості ресурсів водного фонду.

Загалом **модельне районування територій** цього розділу розподіляється на **два його головні складники**, а саме на:

1) складник, що базується на аналізуванні та оцінюванні стану геосистем басейнової *ЛТС* як складників макрогеосистеми *ДТ* та ймовірних наслідків місцевого водокористування;

2) складник, що ґрунтується на аналізуванні та оцінюванні стану геосистем генетико-морфологічної ЛТС і таксонів фізико-географічного районування як компонентів ДТ та ймовірних наслідків як місцевого водокористування, так і місцевого загального ресурсокористування.

4.1 Перша алгоритмічна схема

З огляду на наведені вище особливості, загальна алгоритмічна схема першого складника ландшафтно-гідрорадіоекологічного районування відповідає другому і третьому етапам геоecологічного модельного районування (див. п.3.1). А отже ця схема наслідіє специфіку її понятійно-модельних рішень за кожним із цих етапів.

Звідси, на *етапі модельної параметризації* алгоритмічна схема оцінки стану *геосистем басейнової ЛТС (БЛТС) ДТ* передбачає:

1) **макрорівневе подавання** динаміки макрогеосистеми досліджуваних територій ($D\{DT\}$) у вигляді

$$D\{DT\} \equiv D\{БЛТС\} = \{PE(\omega, R, t), ME(\omega, R, t), ГПС(\omega, R, t)\} , \quad (4.1)$$

де $PE(\omega, R, t)$, $ME(\omega, R, t)$ і $ГПС(\omega, R, t)$ – загальні випадкові поля за радіоекологічною, медично-екологічною та інтегральною групами показників.

При цьому, по-перше, для певних подальших рішень залучаються, як допоміжні, і геосистеми генетико-морфологічної ЛТС. Вони, а проте, не наводяться у записі (4.1), позаяк більш детально будуть розглянуті далі. По-друге, у (4.1) і всіх наступних побудовах домислюється наявність неявної (загальноцільової) водогосподарської групи показників, коли відсутня необхідність безпосереднього вирізнення меж конкретних комплексів водокористування тощо. У цій ситуації задаються та моделюються з наступним структуруванням поля власне можливих наслідків водокористування, віднесені до групи інтегральних показників стану (див. далі);

2) **подальшу формалізацію** полів (4.1). Вона здійснюється за ієрархічним ланцюжком для кожного складника моделі (4.1) разом з параметризацією динаміки цих складників для тих, які є "модельними" під час районування. Натомість "умовно модельні" компоненти позначаються символом "^". Отже, відповідно:

– басейнова ЛТС у (4.1) спадно формалізується за (4.2)-(4.4), а саме

$$\{БЛТС(\omega, R)\}^{\wedge} \in \{ТРБ(\omega, SR_{ТРБ})\} \in \{ІРБ(\omega, SR_{ІРБ})\} , \quad (4.2)$$

де $ТРБ(\omega, SR_{ТРБ})$ – просторові ознаки сукупності *тестових річкових басейнів* (ТРБ) як найвищих за порядком басейнових геосистем або їхніх груп чи частин на досліджуваних територіях. Вирізнення ТРБ має забезпечити маркування у басейнової ЛТС ДТ макро- та мезоумов формування річкового стоку і, внаслідок цього, адекватних умов міграції різних забрудників із стоковими процесами; $ІРБ(SR_{ІРБ})$ – аналогічні ознаки *інших річкових басейнів* кожного ТРБ, поєднаних із басейновими геосистемами більш низького порядку;

$$D\{ТРБ(\omega, SR_{ТРБ})\} = \{ТРБ(\omega, SR_{ТРБ}t)\} , \quad (4.3)$$

$$D \{IPB(\omega, SR_{IPB})\} = \{IPB(\omega, SR_{IPB}, t)\} ; \quad (4.4)$$

– радіоекологічна група показників у (4.1) спадно формалізується за моделями (4.5)-(4.7) із записами відповідних субполів за (4.8)-(4.9), тобто

$$\{PE(\omega, R)\}^{\wedge} \in \{PEPB(\omega, SR_{PB}), PEBO(\omega, SR_{BO})\} , \quad (4.5)$$

$$\{PEPB(\omega, SR_{PB})\} \in \{^{137}Cs_s(\omega, SR_{Cs,s})\} , \quad (4.6)$$

$$\{PEBO(\omega, SR_{BO})\} \in \{^{137}Cs_w(\omega, SR_{Cs,w}), ^{90}Sr_w(\omega, SR_{Sr,w}), ^{137}Cs_b(\omega, SR_{Cs,b})\} , \quad (4.7)$$

$$D \{PEPB(\omega, SR_{PB})\} = \{PEPB(\omega, SR_{PB}, t)\} \equiv D \{^{137}Cs_s(\omega, SR_{Cs,s})\} = \\ = \{^{137}Cs_s(\omega, SR_{Cs,s}, t)\} , \quad (4.8)$$

$$D \{PEBO(\omega, SR_{BO})\} = \{PEBO(\omega, SR_{BO}, t)\} \equiv \\ \equiv D \{^{137}Cs_w(\omega, SR_{Cs,w}), ^{90}Sr_w(\omega, SR_{Sr,w}), ^{137}Cs_b(\omega, SR_{Cs,b})\} = \\ = \{^{137}Cs_w(\omega, SR_{Cs,w}, t), ^{90}Sr_w(\omega, SR_{Sr,w}, t), ^{137}Cs_b(\omega, SR_{Cs,b}, t)\} , \quad (4.9)$$

де $PEPB(\omega, SR_{PB})$ – випадкове субполе радіоекологічних характеристик басейнової ЛТС ДТ як субполе компонента радіоекологічної групи. Його подано параметричними збуреннями єдиного, найбільш репрезентативного елемента – субполем (4.8) випадкових величин за простором $^{137}Cs_s(\omega, SR_{Cs,s})$, які відповідають референтній густині випадів ^{137}Cs на ґрунт; $PEBO(\omega, SR_{BO})$ – випадкове субполе стану геосистем індикаторних водних об'єктів як субполе компонента радіоекологічної групи. Воно містить систему елементів – субполів (4.9) просторових випадкових величин $^{137}Cs_w(\omega, SR_{Cs,w})$, $^{90}Sr_w(\omega, SR_{Sr,w})$ і $^{137}Cs_b(\omega, SR_{Cs,b})$, які правлять за основні радіоекологічні параметри геосистем зазначених водних об'єктів. Ці параметри визначають рівні забрудненості водних мас геосистем – за питомою активністю радіоцезію та радіостронцію ($^{137}Cs_w$ і $^{90}Sr_w$) та їхнього дна – за щільністю його забруднення радіоцезієм ($^{137}Cs_b$).

За першими двома з цих випадкових величин моделюються т.зв. індикаторні "водні" дози опромінення (див. [36] і далі). За них правлять дози внутрішнього опромінення критичної групи населення водними шляхами, які є першоосновою побудови структур медично-екологічної групи показників;

– параметрична структура медично-екологічної групи у (4.1) описується відповідними формулами (4.10)-(4.12)

$$\{ME(\omega, R)\}^{\wedge} \in \{MEID(\omega, SR_{ID})\} , \quad (4.10)$$

$$\{MEID(\omega, SR_{ID})\} \in \{CBДP(\omega, SR_{CBД})\} , \quad (4.11)$$

$$D \{MEID(\omega, SR_{ID})\} = \{MEID(\omega, SR_{ID}, t)\} = \\ = D \{CBДP(\omega, SR_{CBД})\} = CBДP(\omega, SR_{CBД}, t) , \quad (4.12)$$

де $MEID(\omega, SR_{ID}, t)$ – випадкове субполе дозоутворення водними шляхами як субполе компонента медично-екологічної групи. Воно представлене параметричними збуреннями у DT його репрезентативного елемента – субполем випадкових величин за простором $СВД_p(\omega, SR_{СВД})$. Останні відповідають сукупності спеціально обумовлених розрахункових значень індикаторних "водних" доз опромінення ($СВД_p$). Такі значення еквівалентні заданим оцінкам цих доз стосовно певних компактно-розрахункових ділянок у $ТРБ$ – компактно-розрахункових ділянок дозоутворення "водними" шляхами. Такі ділянки вирізняють за допомогою побудови полігонів Тіссена (діаграм Вороного) або інтерполяційних поверхонь тощо дискретно ("точково") заданих $СВД_p$. При цьому зважають на певні підсистеми басейнової $ЛТС$, насамперед морфологічно-позиційні, а також додатково, на елементи генетико-морфологічної $ЛТС$, до яких приурочено зазначені ділянки (приклад на рис.4.1);

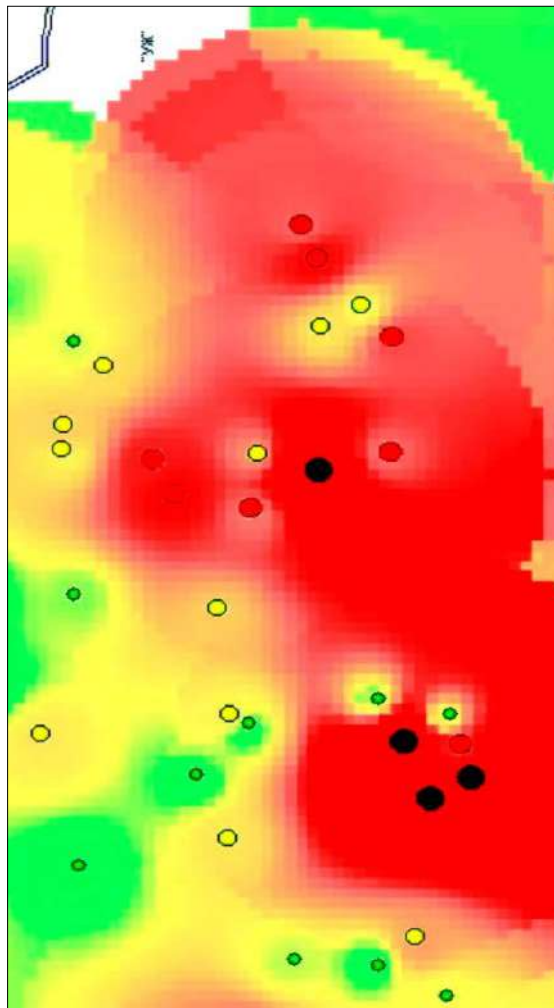


Рис.4.1 Приклад побудови діаграм Вороного дискретно ("точково") заданих індикаторних "водних" доз опромінення ($СВД_p$)

– група інтегральних і спільних показників у (4.1) (ГІСП-група) формалізується за такими моделями, як

$$\{ГІСП(\omega, R)\} \in \{KPC_B(\omega, SR_{KPC,B})\} , \quad (4.13)$$

$$\{KPC_B(\omega, SR_{KPC,B})\} \in \{CPC_B(\omega, SR_{CPC,B})\} , \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} D \{KPC_B(\omega, SR_{KPC,B})\} &= \{KPC_B(\omega, SR_{CPC,B,t})\} = \\ &= D \{CPC_B(\omega, SR_{CPC,B})\} = \{CPC_B(\omega, SR_{CPC,B,t})\} , \end{aligned} \quad (4.15)$$

де $KPC_B(\omega, SR_{KPC,B,t})$ – випадкове субполе класів ступенів можливого радіоекологічного ризику внаслідок водокористування та відповідних їм класів рівнів радіоекологічного стану. Такі класи визначаються згідно з спеціально розробленою за підходами п.3.1 категорійно-класифікаційною схемою (див. далі табл.4.1) як субполе компонента ГІСП-групи. Це субполе визначається параметричними збуреннями в ДТ його репрезентативного та інтегрального за змістом елемента – субполем (4.15) випадкових величин за простором $CPC_B(\omega, SR_{CPC,B})$. Останні "чисельно-ознаково" характеризують власне ступені можливого ризику за рахунок водокористування і відповідні рівні стану та відносяться до своїх поєднаних чи непоєднаних між собою просторових субобластей як складників і $SR_{KPC,B}$, і $SR_{CPC,B}$;

3) **оперування** заданими **перетинами** випадкових полів просторових величин, які власне і визначають умови та наслідки водокористування в ДТ, згідно з моделями (4.1)-(4.15);

4) **залучення до оцінювання** ознак "стану за умовами" водокористування на тлі геосистем басейнової ЛТС складників радіоекологічної групи показників з її ієрархічними ланцюжками, а ознак "стану за наслідками" – компонентів медично-екологічної групи та ГІСП-групи, вважаючи останню домінантною критеріальною для "стану за наслідками";

5) **застосування як власне ознак стану** за умовами та наслідками водокористування фактичних числових або "чисельно-ознакових" значень. Останні найчастіше стосуються елементів щойно зазначених відповідних груп показників стану геосистем басейнової ЛТС ДТ з просторовими областями полів цих елементів і потрібних комбінацій, співвідношень тощо таких полів (субполів) різних параметричних рівнів.

На етапі **функціональної структуралізації** алгоритмічна схема оцінки стану геосистем басейнової ЛТС ДТ наслідує основну мету: на основі **початкової функціональної структури**, що уособлює собою впорядковані та картографічно імплементовані ГІС-інструментарієм поля та субполя попереднього етапу (приклад на рис.4.2), змоделювати первинну та інтегральну функціональні структури ДТ. Вони, у свою чергу, складаються з чисельно-діапазонно та просторово визначених субструктур як квазіоднорідних субполів можливого ризику внаслідок водокористування та відповідного рівня стану.

Таке спрямування наступних кроків зумовлює наявність *двох часткових (допоміжних) алгоритмічних схем моделювання.*



Рис.4.2 – Початкова функціональна структура (на прикладі ТРБ "ТЕТЕРІВ")

Так, часткова алгоритмічна схема формування **первинної змодельованої функціональної структури** містить у собі такі послідовні рішення:

1) у межах кожного ТРБ розрахункові "точкові" значення індикаторних "водних" доз опромінення ($СВД_p$), віднесені до їхнього власного інтервалу категорійно-класифікаційної схеми ризику / рівнів стану за табл.4.1, по-перше, поєднуються з просторовою областю відповідної їм компактно-розрахункової ділянки дозоутворення в тестовому басейні (КРД) тощо.

По-друге, такі значення картографічно маркуються ГІС-інструментарієм вже як система квазістаціонарних квазіоднорідних субполів ступенів можливого ризику внаслідок водокористування та відповідних рівнів радіогеоекологічного стану, тобто

$$\{СВД_p(\omega, SR_{СВД,0}, t_p) \rightarrow CPC_B\} \cap \{ТРБ(SR_{ТРБ}, t_0) \dots \otimes КРД_{СВД,p}(SR_{КРД}, t_0)\} = \\ = \{CPC_B(\omega, SR_{CPC,B}, t)\} \cong \{ВПол_{КСТА,КОДН}\} ; \quad (4.16)$$

2) такі, останні за моделлю (4.16) субполя CPC_B і розглядаються як ті, що сформували первинну змодельовану функціональну структуру для зазначених ступенів з можливістю, за потреби, їхнього об'єднання та картографування і відповідних класів ризику / рівнів стану (див. приклад рис.4.3). А отже

$$\{ПЗФC_{CPC,B}\} \in \{CPC_B(\omega, SR_{CPC,B}, t)\} . \quad (4.17)$$

Таблиця 4.1 – Кінцева категорійно-класифікаційна схема класів ступенів і ступенів можливого радіоекологічного ризику внаслідок місцевого водокористування та відповідних класів рівнів і рівнів радіоекологічного стану субструктур районування басейнової ЛТС

Інтервали $СВД_p$, мкЗв/рік	Категорії ризику та рівнів радіоекологічного стану		
	Класи ступенів ризику та класи рівнів стану	Ступені ризику та рівні стану	
		Ступені ризику (з середніми числовими індексами ступеня ризику)	Рівні стану (за інтервалами "таксонних" індексів рівня стану моделі (4.18))
$СВД_p \geq 200$	Клас підвищеного ризику та клас погіршеного рівня стану	високий (1)	вельми погіршений (1,00 – 1,50]
$100 \leq СВД_p < 200$		підвищений (2)	погіршений (1,50 – 2,50]
$50 \leq СВД_p < 100$	Клас помірною ризику та клас задовільного рівня стану	помірний (3)	задовільний (2,50 – 3,50]
$0 \leq СВД_p < 50$	Клас незначного ризику та клас вельми задовільного рівня стану	незначний (4)	вельми задовільний (3,50 – 4,00]

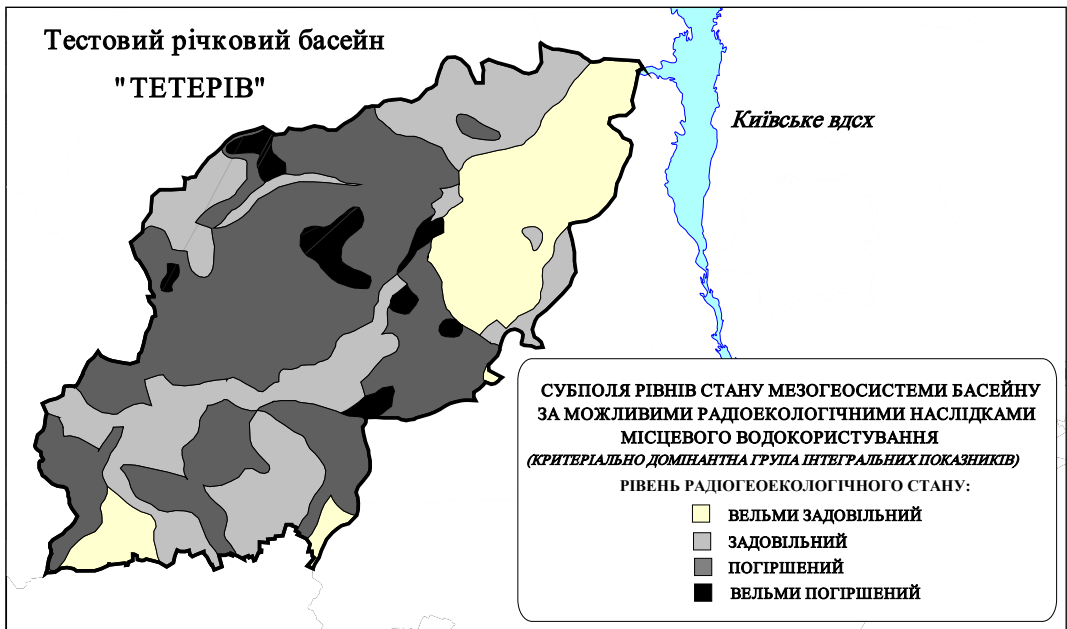


Рис.4.3 – Первинна змодельована функціональна структура (на прикладі ТРБ "ТЕТЕРІВ")

Інтегральна (вторинна) **змодельована функціональна структура** полікритеріально моделюється насамперед на базі первинної структури і містить вже ієрархічно поєднані **таксони** відповідного **районування**. Їх вирізняють за умовами та ймовірними наслідками водокористування та називають, скорочено за змістом, "*гідрорадіоекологічно-ландшафтними таксонами*". Останні є субполлями первинної структури, які відображають категорований рівень стану, адекватний категорованому ризику внаслідок водокористування. Їх згруповано за окремою **класифікаційною схемою гідрорадіоекологічно-ландшафтних таксонів (ГЛТ)** районування.

Таку класифікаційну схему, по-перше, інтегровано з вищезгаданою категорійно-класифікаційною схемою ризику / рівнів стану. По-друге, вона оперує *гідрологічно-ландшафтними комплексами* трьох ієрархічних рівнів: *тестовий річковий басейн – район такого басейну – локальний максимум вельми погіршеного рівня стану*.

Тестовий річковий басейн розглядається вже як гідрорадіоекологічно-ландшафтний таксон найвищого рангу, який править за басейнову макросубструктуру в макрогеосистемі *ДТ*, і, з іншого боку, мезогеосистему останньої. Така мезогеосистема однорідна за чинниками формування річкового стоку та його режимом, які зумовлюють спільні риси макро- і мезодинаміки забруднення територій із стоковими процесами. Зазначені риси є індивідуально характерні для кожного тестового басейну на тлі притаманних йому особливостей і рівнів забрудненості геосистем басейнової *ЛТС*, серед них геосистем власне водних об'єктів. При цьому порівняльна характеристика тестових басейнів між собою за результатами районування можлива за "**таксонними**" **індексами рівня радіоекологічного стану**, застосовними і для районів *ТРБ* (див. далі). Безпосередньо такі індекси (*ТІРРС_{В(ТРБ, РТРБ)}*) розраховуються як інтегральні середньовиважені за моделлю

$$ТІРРС_{В(ТРБ, РТРБ)} = \sum_{i=1}^{n_{СРС,В}} (IP_B \cdot S_{IP,B})_i / \sum_{i=1}^{n_{СРС,В}} (S_{IP,B})_i, \quad (4.18)$$

де IP_B – середні числові індекси ступеня ризику i -тих спільнокатегорійних за цими індексами субполів первинної змодельованої функціональної структури макрогеосистеми *ДТ* у певному тестовому річковому басейні або його районі; $S_{IP,B}$ – загальні площі щойно зазначених спільнокатегорійних за індексами ризику субполів; $n_{СРС,В}$ – кількість категорій (ступенів) можливого ризику у певному тестовому річковому басейні або його районі.

Район тестового річкового басейну (або **гідрорадіоекологічно-ландшафтний район**) розглядається як басейнова мезосубструктура із специфічними умовами і наслідками водокористування. Вона просторово вирізняється за інтегральним показником – домінантними ступенями або комбінаціями домінантних рівнів стану, враховуючи і планове положення такої мезосистеми відносно басейнових морфологічно-позиційних підсистем (див. р.2 і р.5) тощо. Тобто такий район практично є сукупністю декількох компактно-розрахункових за значеннями $СВД_p$ ділянок басейну. Вони є однорідними за переважними можливими радіоекологічними наслідками водокористування. Певні райони можуть містити в собі локальні максимуми вельми погіршеного рівня стану.

Локальний максимум вельми погіршеного рівня стану (або гідрорадіоекологічно-ландшафтний локальний максимум) кваліфікується як гідрологічно-ландшафтна мікроструктура в районі тестового річкового басейну. Вона вирізняється в тих районах, де домінують ступенів ризику більше ніж один. Локальні максимуми за місцезнаходженням практично еквівалентні окремим компактно-розрахунковим ділянкам дозоутворення в тестовому басейні, які мають високий ступінь ризику внаслідок водокористування та відповідний цьому рівень стану.

Увесь ієрархічний ланцюжок гідрорадіоекологічно-ландшафтних таксонів кодується спеціальною шестизначною нумерацією. Таксонам присвоюються певні власні назви з додатковим використанням значень "таксонних" індексів рівня стану (див. [40] і наступні рисунки).

Часткова ж алгоритмічна схема створення **інтегральної змодельованої функціональної структури** містить у собі такі послідовні рішення (приклад – на рис.4.4.-4.5):

1) отримана за попередньою частковою алгоритмічною схемою первинна функціональна структура (моделі (4.16)-(4.17)) поділяється на її субструктури згідно з межами просторових субобластей субполів тестових річкових басейнів. Створені таким чином нові субструктури первинно-вторинної функціональної структури і будуть правити за власне тестові басейни (*ТПБ*) як таксони районування, тобто

$$CPC_B(\omega, SR_{CPC,B}, t) \cap \{TPB(SR_{TPB}, t_0)\} = \{TPB_{CPC,B}(\omega, SR_{TPB}, t)\} ; \quad (4.19)$$

2) кожний басейн поділяється на його гідрорадіоекологічно-ландшафтні райони (*ПТПБ*) шляхом вирізнення та/або поєднання субполів первинної функціональної структури за спільними домінуючими ознаками ступенів ризику / рівня стану або спільними комбінаціями таких домінуючих ознак у *ТПБ*-таксоні. Звідси

$$\begin{aligned} \{CPC_B(\omega, SR_{CPC,B}, t)\} \cap \{CPC_{B,DOM}(\omega, SR_{CPC,B,DOM}, t_0), KPD_{CVD,P}(SR_{KPD}, t_0)\} = \\ = \{PТПБ_{CPC,B}(\omega, SR_{TPB}, t)\} \ni \{TPB_{CPC,B}(\omega, SR_{TPB}, t)\} ; \end{aligned} \quad (4.20)$$

3) за наявності та для гідрорадіоекологічно-ландшафтних районів з $n(CPC_{B,DOM}) > 1$ в їхньому складі окремо вирізняються для оцінювання рівня стану локальні максимуми підвищеного класу ризику внаслідок водокористування (*ЛМ*) – локальні максимуми вельми погіршеного рівня стану

$$\{PТПБ_{CPC,B}(\omega, SR_{TPB}, t)\} \in \{ЛМ_{CPC,B}(\omega, SR_{TPB}, t)\} . \quad (4.21)$$

Загальні ж тестові результати застосування першої алгоритмічної схеми за (4.1)-(4.21) для згаданого на початку розділу регіону Поліського краю зони мішаних лісів і півночі широколистяно-лісової та лісостепової зон як **тестової макрогеосистеми ДТ** (за [37, 40]) засвідчили таке. У цій макрогеосистемі було модельно вирізнено 30 тестових річкових басейнів. Вони розподіляються на 124 гідрорадіоекологічно-ландшафтних райони (рис.4.6-4.7) з вирізненням 28 локальних максимумів вельми погіршеного рівня стану. Субполя класу погіршеного рівня радіоекологічного стану охоплюють майже що 15% площі усіх тестових басейнів, диференціюючись на субполя вельми погіршеного (1,7%) та погіршеного (13,3%)

рівнів стану. Субполя класу задовільного рівня становлять близько 26% і класу вельми задовільного – коло 59% загальної площі протестованих геосистем.

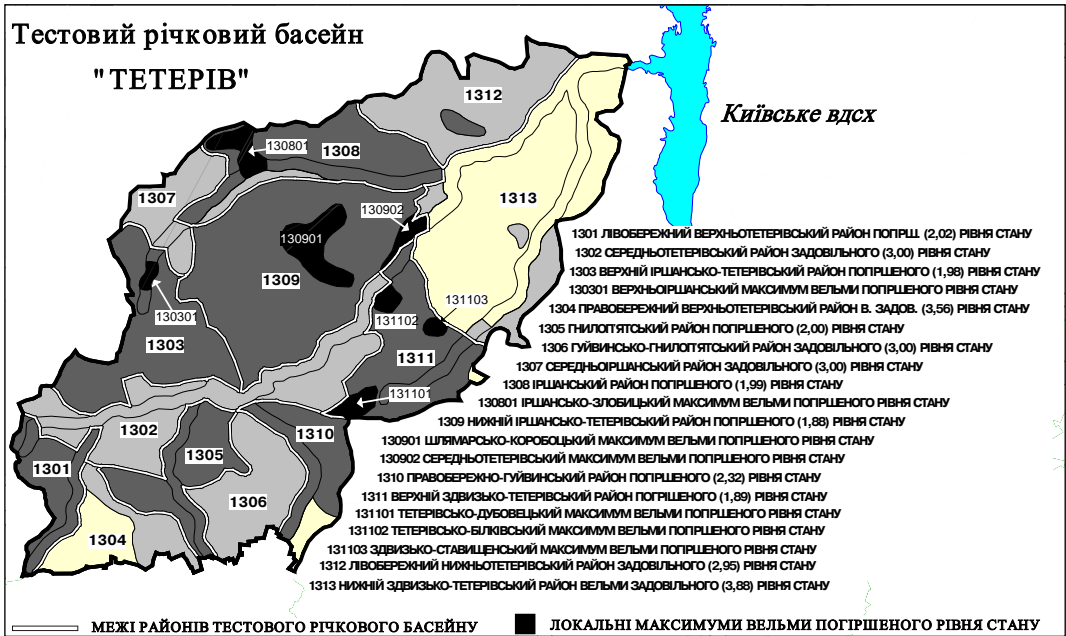


Рис.4.4 – Приклад інтегральної змодельованої функціональної структури на тлі пещинної структури

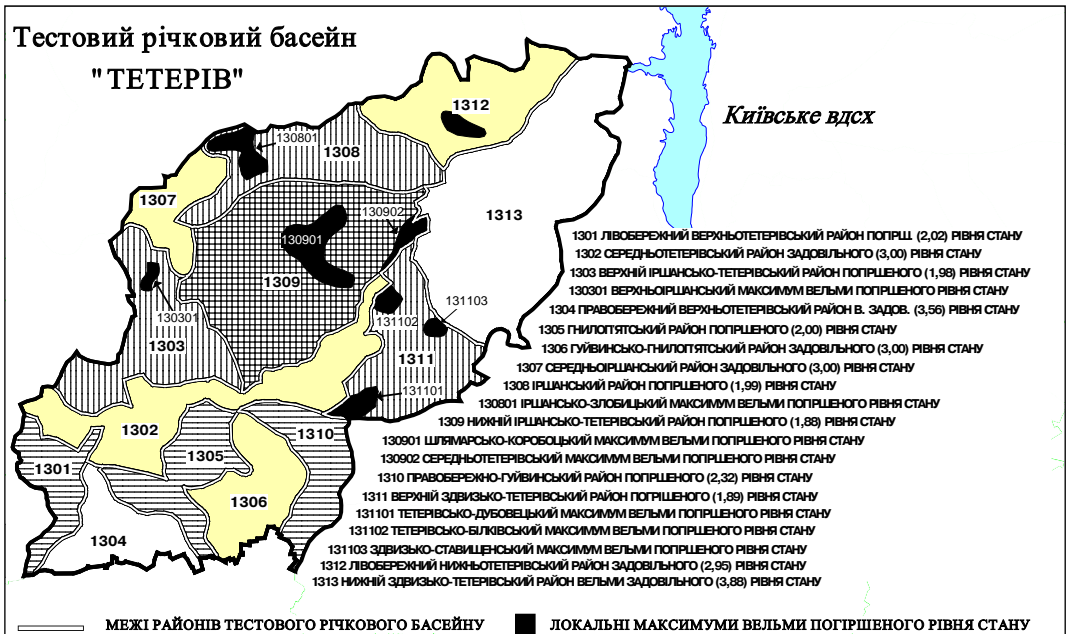


Рис.4.5 – Приклад інтегральної змодельованої функціональної структури – власне таксонів районування

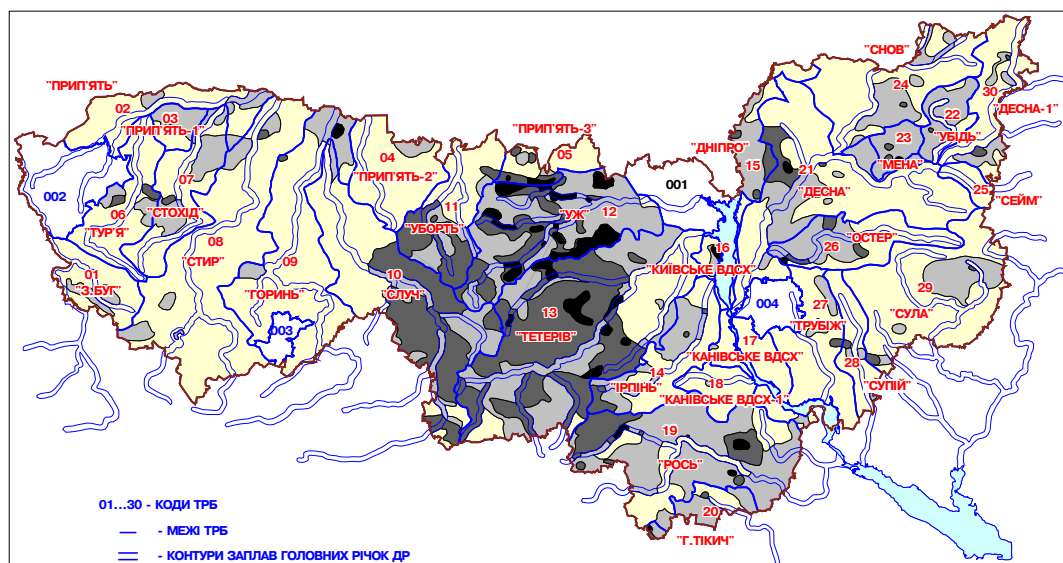


Рис.4.6 – Субполя рівнів радіоекологічного стану (на прикладі 30 тестових річкових басейнів макрогеосистеми ДТ за [37, 40]) ("ПРИП'ЯТЬ"... "СЕЙМ" – назви ТРБ; рівні стану (за табл.4.1): ■ – вельми погіршеного; ■ – погіршеного; ■ – задовільного; ■ – вельми задовільного)

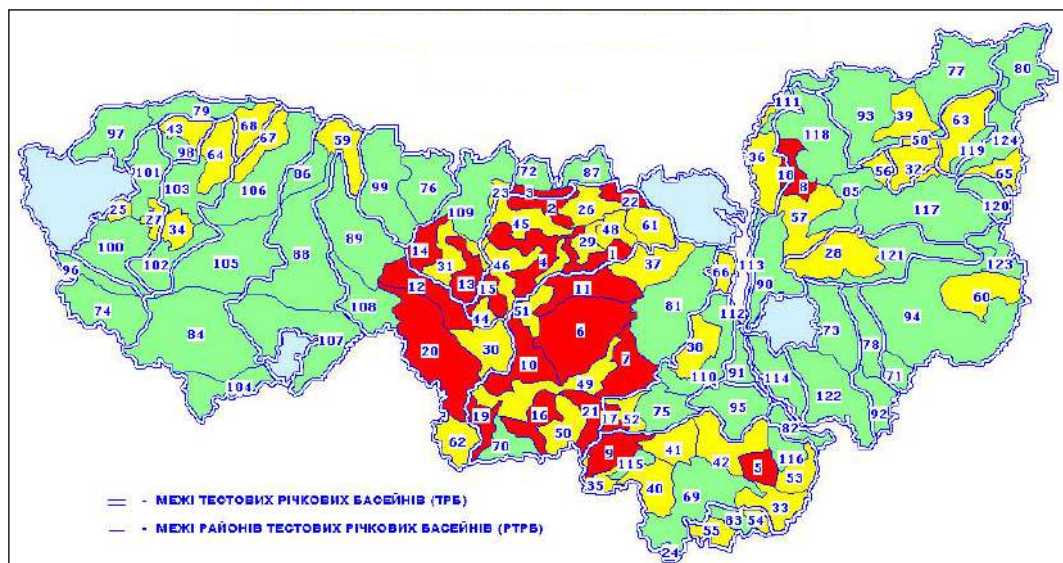


Рис.4.7 – Регіональні рейтинги районів тестових річкових басейнів за спаданням значень "таксонних" індексів рівня радіоекологічного стану моделі (4.18) (на прикладі 124 РТРБ тестової макрогеосистеми ДТ)

4.2 Друга алгоритмічна схема

Загальна алгоритмічна схема другого складника ландшафтно-гідрорадіоекологічного районування також адекватна другому та третьому етапам геоecологічного районування за п.3.1 і, у свою чергу, дотримується понятійно-модельних рішень за кожним із таких етапів.

Отже, на *етапі модельної параметризації* алгоритмічна схема оцінки стану *геосистем генетико-морфологічної ЛТС (ГМЛТС) і таксонів фізико-географічного районування (ФГТ) ДТ* передбачає:

1) **макрорівневе подавання** динаміки макроекосистеми досліджуваних територій [D{ДТ}] аналогічно до (4.1), тобто як

$$D \{ДТ\} \equiv D \{ГМЛТС, ФГТ\} = \{PE(\omega, R, t), ME(\omega, R, t), ГСП(\omega, R, t)\} . \quad (4.22)$$

2) **подальшу формалізацію** полів (4.22), яка, згідно з вже обґрунтованими спрощеннями тощо, здійснюється таким чином:

– генетико-морфологічна ЛТС у (4.22) формалізується за формулою (4.23) з додатковим урахуванням, за потреби, і власне морфологічних атрибутів ландшафтів. При цьому запис "модельного" субполя відповідає формулі (4.24), а отже загалом

$$\{ГМЛТС(\omega, R)\}^{\wedge} \in \{ТЛАНД(\omega, SR_{тланд})\}^{\wedge} \in \{ПЛАНД(\omega, SR_{рланд})\} , \quad (4.23)$$

$$D \{ПЛАНД(\omega, SR_{рланд})\} = \{ПЛАНД(\omega, SR_{рланд}, t)\} ; \quad (4.24)$$

де $ТЛАНД(\omega, SR_{тланд})^{\wedge}$ – ознаки, які відповідають просторовій сукупності типів ландшафту за відповідно обраною їхньою класифікаційною схемою (наприклад, за схемою [26]); $ПЛАНД(\omega, SR_{рланд})$ – ознаки "модельної" просторової сукупності родів ландшафту;

– фізико-географічні таксони у (4.22), функціонально поєднані із ГМЛТС і її складниками, формалізуються за формулою (4.25) із параметричним поданням відповідних субполів за моделями (4.26)-(4.27)

$$\{ФГТ(R)\}^{\wedge} \in \{ФГК(\omega, SR_{фк})\} \in \{ФГО(\omega, SR_{фго})\} , \quad (4.25)$$

$$D \{ФГК(\omega, SR_{фк})\} = \{ФГК(\omega, SR_{фк}, t)\} , \quad (4.26)$$

$$D \{ФГО(\omega, SR_{фго})\} = \{ФГО(\omega, SR_{фго}, t)\} , \quad (4.27)$$

де $ФГО(\omega, SR_{фк}, t)$ – субполе фізико-географічних країв; $ФГО(\omega, SR_{фго}, t)$ – субполе фізико-географічних областей;

– радіоекологічна група показників у (4.22) спадно формалізується тотожно першій алгоритмічній схемі, тобто за моделями (4.5)-(4.9). Утім при цьому зважають на те, що запис $РЕРБ(\omega, SR_{РБ})$ маркує випадкове субполе радіоекологічних характеристик і басейнової, і генетико-морфологічної ЛТС досліджуваних територій, як і таксонів їхнього фізико-географічного районування;

– параметрична структура медично-екологічної групи показників у (4.22) описується формулами (4.28)-(4.29)

$$\{ME(\omega, R)\}^{\wedge} \in \{MEID(\omega, SR_{ID}), MЕРПД(\omega, SR_{pnd})\}, \quad (4.28)$$

$$\begin{aligned} D \{MЕРПД(\omega, SR_{PID})\} &= \{MЕРПД(\omega, SR_{PID}, t)\} = \\ &= D \{HD_{70}(\omega, SR_{HD})\} = \{HD_{70}(\omega, SR_{HD}, t)\}, \end{aligned} \quad (4.29)$$

де $MEID(\omega, SR_{ID}, t)$ – вже розглянуте випадкове субполе дозоутворення водними шляхами (див. формалізацію за (4.10)-(4.12)); $MЕРПД(\omega, SR_{PID}, t)$ – випадкове субполе показників дозоутворення від загальнофункціональних джерел опромінення населення у вигляді субполя ретроспективно-прогнозних референтних доз компонента ME -групи. Таке субполе характеризується параметричними збуреннями в межах DT свого найбільш інтегрального елемента – субполем (4.29) просторових випадкових величин $HD_{70}(\omega, SR_{HD}, t)$, еквівалентних набору розподілених у DT референтних "доз за життя" – HD_{70} . Останні також має бути належним чином імплементовано засобами ГІС-інструментарію (див. далі);

– група інтегральних та спільних показників у (4.22) ($ГІСП$ -група) формалізується за такими моделями, як

$$\begin{aligned} \{ГІСП(\omega, R)\} &\in \\ &\in \{KPC_B(\omega, SR_{KPC, B}), KPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{KPC, B+3PCs})^{\wedge}, KPC_{B+3P}(\omega, SR_{KPC, B+3P})\}, \end{aligned} \quad (4.30)$$

$$\{KPC_{B+3P}(\omega, SR_{KPC, B+3P})\} \in \{CPC_{B+3P}(\omega, SR_{CPC, B+3P})\}, \quad (4.31)$$

$$\begin{aligned} \{CPC_{B+3P}(\omega, SR_{CPC, B+3P})\} &= f \{CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{CPC, B+3PCs})^{\wedge}, \\ &\Delta CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{\Delta CPC, B+3PCs})^{\wedge}\}, \end{aligned} \quad (4.32)$$

$$\begin{aligned} D \{KPC_{B+3P}(\omega, SR_{KPC, B+3P})\} &= \{KPC_{B+3P}(\omega, SR_{KPC, B+3P}, t)\} = \\ &= D \{CPC_{B+3P}(\omega, SR_{CPC, B+3P})\} = \{CPC_{B+3P}(\omega, SR_{CPC, B+3P}, t)\}, \end{aligned} \quad (4.33)$$

де:

$KPC_B(\omega, SR_{CPC, B}, t)$ – випадкове субполе класів ступенів можливого радіоекологічного ризику внаслідок водокористування, вже розглянуте згідно з моделями (4.13)-(4.15);

$KPC_{B+3P}(\omega, SR_{KPC, B+3P}, t)$ – випадкове субполе класів ступенів можливого радіоекологічного ризику, спільного внаслідок водо- і ресурсокористування (тобто $B+3P$) і відповідних їм класів рівнів радіоекологічного стану згідно із спеціально створеними проміжною (матрично-категорійною) та кінцевою категорійно-класифікаційною схемами (див. наступний текст). Подається як субполе компонента $ГІСП$ -групи, яке визначається параметричними збуреннями в DT його репрезентативного, інтегрального для $B+3P$, елемента – субполем (4.33) випадкових величин за простором $CPC_{B+3P}(\omega, SR_{CPC, B+3P})$. Вони, у свою чергу, "чисельно-ознаково"

характеризують власне ступені можливого ризику за рахунок водо- і ресурсокористування і відповідні рівні стану та відносяться до своїх візуально або функціонально поєднаних чи непоєднаних між собою просторових субобластей як складових частин і $SR_{KPC,B+3P}$, і $SR_{CPC,B+3P}$. Практичне подвійне застосування зазначених проміжної та кінцевої категорійно-класифікаційної схем визначається розкритим далі загальним алгоритмом моделювання, який зумовлює проміжні рішення (4.32) у ГІСП-групі показників ДТ;

$KPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{Kpc,\theta+3pcs})^\wedge$, $CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{Cpc,\theta+3pcs})^\wedge$ – проміжні "умовно-модельні" компонент і його елемент ГІСП-групи, адекватні субполя яких визначають просторово-часову динаміку макрогеосистеми ДТ, відповідно, за ступенями можливого ризику внаслідок водо- та ресурсокористування на першому рівні оцінювань. Таким ступеням, які стосуються саме загального ресурсокористування, зазвичай еквівалентна ліва колонка проміжної (матрично-категорійної) схеми. Для неї самостійні класи можливого радіоекологічного ризику та відповідних рівнів стану взагалі, зазвичай, не визначаються, а відповідний запис субполя мав би вигляд $CPC_{3PCs}(\omega, SR_{Cpc,3pcs}, t)^\wedge$.

Спільні ж категорії ризику отримують шляхом вирізнення "середньорегіональних" інтервалів референтних "доз за життя" HD_{70} за спеціально побудованою для цього загальнорегіональною залежністю $HD_{70} = f(^{137}Cs, s)$ і заданими інтервалами $^{137}Cs, s$, та синтезу визначених таким чином і означених категорій з категоріями можливого ризику внаслідок водокористування згідно з верхнім рядком вже згаданої матриці. Під час початкового застосування проміжної та кінцевої категорійно-класифікаційних схем, тобто визначенні ризику внаслідок загального ресурсокористування за $HD_{70}/^{137}Cs, s$ спільно з ризиком за "водними" дозами, на допоміжно-проміжному цифровому шарі маркуються межі просторових областей субполів випадкових величин за щойно згаданими синтезовано-категоріями ступенями можливого ризику внаслідок водо- і ресурсокористування. Така операція відповідає першому рівню ГІС-імплементатії "середньорегіональних" результатів категорювання можливого ризику внаслідок загального ресурсокористування згідно з залежністю $HD_{70} = f(^{137}Cs, s)$ у поєднанні з категоріями можливого ризику внаслідок водокористування;

$\Delta CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{\Delta Cpc,\theta+3pcs})^\wedge$ – позакомпонентно-елементний допоміжний "умовно-модельний" складник ГІСП-групи. Він загалом позиційно відображає субполя аномалій HD_{70} як відхилів від загальнорегіональної залежності $HD_{70} = f(^{137}Cs, s)$, причому "аномалій перевищення". Під останніми маються на увазі "ландшафтно-гідрологічно" зумовлені просторові області відхилів точкових значень "доз за життя" в бік викидів за верхні межі середньорегіональних дозових інтервалів за $^{137}Cs, s$, куди були спочатку (на першому рівні) віднесені ці значення. Коригувальний ефект використання складників субполя $\Delta CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{\Delta Cpc,\theta+3pcs}, t)^\wedge$ на тлі складників субполя $CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{Cpc,\theta+3pcs}, t)^\wedge$ з метою отримання результувальної системи субполів $CPC_{B+3P}(\omega, SR_{Cpc,\theta+3p}, t)^\wedge$, як другого рівня оцінювання спільного ризику за (4.33), досягається належним одно- чи кількопорядковим підвищенням відкоригованих спільних ступенів можливого ризику у відповідних просторових областях, які підпали під зазначене коригування. Останнє, зазвичай, стосується інтервалів із значеннями $HD_{70} \geq 10$ мЗв, оскільки для більш низьких інтервалів, по-перше, зазви-

чай звужено область визначення за умовами проведення дозиметричної паспортизації.

По-друге, що більш важливо, ці нижні інтервали вже не є принципово важливими для оцінювань ризику та відповідних їм рівнів стану за чинними концепціями радіоекологічної безпеки;

3) **оперування** заданими **перетинами** випадкових і детермінованих полів просторових величин відповідно до моделей (4.22)-(4.33)). Такі поля власне і визначають умови та наслідки вже водо- і ресурсокористування в *ДТ*;

4) **використання під час оцінювання** ознак "**стану за умовами**" водо- і ресурсокористування на тлі геосистем генетико-морфологічної *ЛТС* і таксонів фізико-географічного районування складників радіоекологічної групи показників з її ієрархічними побудовами, а ознак "**стану за наслідками**" – складників медично-екологічної групи та *ГСП*-групи як домінантної критеріальної для "стану за наслідками";

5) **застосування як власне ознак стану** за умовами та наслідками водо- і ресурсокористування фактичних числових або "чисельно-ознакових" значень. За такі значення, зазвичай, правлять елементи щойно зазначених відповідних груп показників стану генетико-морфологічних і фізико-географічних геосистем *ДТ* з просторовими областями полів цих елементів і потрібних різнорівневих комбінацій тощо таких полів або субполів.

На етапі **функціональної структуралізації** алгоритмічну схему оцінки стану геосистем *ГМЛТС* і таксонів *ФГТ ДТ* спрямовано на моделювання відповідних первинної та інтегральної функціональних структур *ДТ*. Вони складаються з чисельно-діапазонно та просторово визначених квазіоднорідних субполів можливого ризику вже внаслідок водо- і ресурсокористування та адекватного йому рівня стану. Це також визначає необхідність використання двох *часткових (допоміжних) алгоритмічних схем моделювання*.

Часткова алгоритмічна схема формування **первинної змодельованої функціональної структури** складається з таких послідовних рішень:

1) у *ДТ* засобами ГІС-інструментарію картографічно імплементуються дискретні ("точкові") значення випадкових величин за простором $НД_{70}$. Їх початково отримують за даними загальнодозиметричної паспортизації населених пунктів у *ДТ*;

2) задаються випадкові субполя $^{137}Cs, s$ у межах досліджуваних територій з необхідним і можливим їхнім комутаційним коригуванням. Останнє, в більшості випадків, може бути спричинено різномірильністю вихідних цифрових шарів зазначених субполів і робочих шарів ГІС-інструментарію;

3) розраховується як модельна загально регіональна для макрогеосистеми *ДТ* залежність $НД_{70} = f(^{137}Cs, s)$ (рис.4.8). На її основі модифікуються випадкові субполя $^{137}Cs, s$ шляхом поєднання та приведення їх до інтервалів категорійних ознак окремо створеної проміжної (матрично-категорійної) схеми можливого ризику внаслідок загального ресурсокористування (див. раніше і табл.4.2). Це є еквівалентним створенню випадкових субполів категорованого ризику внаслідок ресурсокористування в *ДТ* за реалізованими просторовими субобластями "середньорегіональних" інтервальних референтних "доз за життя" – $НД_{70}^*$. Останні відповідають просторовим субобластям сукупності субполів заданих інтервальних $^{137}Cs, s$, тобто

$$\{^{137}\text{Cs}_s(\omega, \text{SR}_{\text{Cs}_s}, t)\} \rightarrow \{HD_{70}^* = f(^{137}\text{Cs}_s)\}, \text{CPC}_{3P}\} \rightarrow \\ \rightarrow \{\text{CPC}_{3\text{PCs}}(\omega, \text{SR}_{\text{CPC}_{3\text{PCs}}}, t)^\wedge\}; \quad (4.34)$$

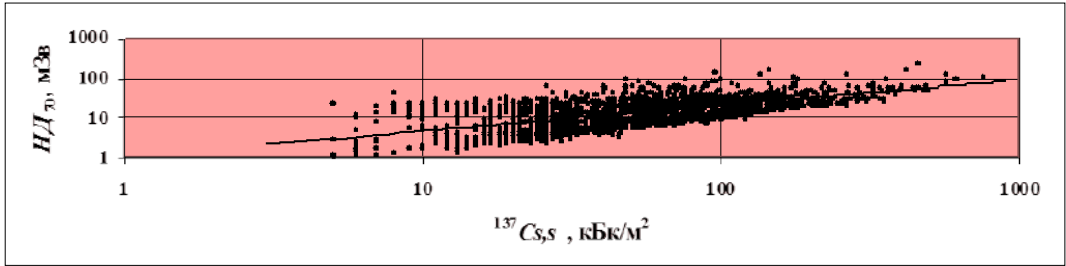


Рис.4.8 – Загальнорегіональна залежність $HD_{70} = f(^{137}\text{Cs}_s)$ (на прикладі ДТ Поліського краю та півночі широколистяно-лісової і лісостепової зон України)

Таблиця 4.2 – Проміжна (матрично-категорійна) схема визначення середніх числових індексів ступенів можливого радіоекологічного ризику внаслідок місцевого водокористування (МВ) та місцевого загального ресурсокористування (МЗР)

Категорійні ознаки ризику внаслідок МЗР		Категорійні ознаки ризику внаслідок МВ та МВ+МЗР				
Інтервали		Ознаки ступенів ризику внаслідок МЗР	Ознаки ступенів ризику внаслідок МВ (табл.4.1)			
$^{137}\text{Cs}_s, \text{кБк/м}^2$	$HD_{70}, \text{мЗв}$		високий	підвищений	помірний	незначний
		Середні числові індекси спільного ризику внаслідок МВ+МЗР				
≥ 555	≥ 60	понадвисокий	1	2	3	4
[185 – 555)	[30 – 60)	високий	4	5	6	7
[37 – 185)	[10 – 30)	підвищений	5	6	7	8
[11 – 37)	[5 – 10)	помірний	6	7	8	9
[0 – 11)	[0 – 5)	незначний	7	8	9	10

4) субполя моделі (4.34) геоінформаційно синтезуються з субполями первинної змодельованої функціональної структури ДТ за можливим ризиком внаслідок водокористування (див. (4.17)), зважаючи на субполя геосистем ГМЛТС і БЛТС. Це повинно мати за результат геоінформаційне позиційне маркування системи квазістаціонарних квазіоднорідних субполів ступенів можливого ризику, спільного внаслідок водо- і ресурсокористування, та відповідних рівнів стану для першого рівня оцінювання такого спільного ризику (рис.4.9), а отже

$$\{\text{CPC}_{3\text{PCs}}(\omega, \text{SR}_{\text{CPC}_{3\text{PCs}}}, t)^\wedge\} \cap \{\text{CPC}_B(\omega, \text{SR}_{\text{CPC}_B}, t)\} \rightarrow \\ \rightarrow \{\text{ТРБ}(\text{SR}_{\text{ТРБ}}, t_0), \text{ПЛАНД}(\text{SR}_{\text{ПЛАНД}}, t_0)\} = \\ = \{\text{CPC}_{B+3\text{PCs}}(\omega, \text{SR}_{\text{CPC}_{B+3\text{PCs}}}, t)^\wedge \cong \{\text{ВПолКСТА, КОДН, Трозр}\}; \quad (4.35)$$

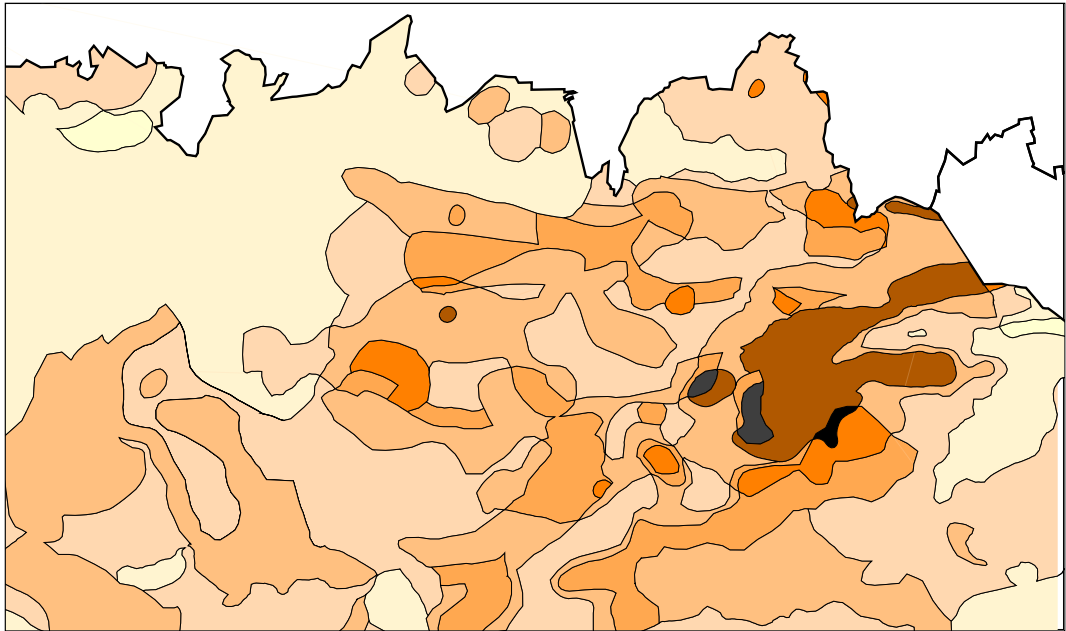


Рис.4.9 Першорівневий варіант первинної змодельованої функціональної структури (на прикладі фрагмента ДТ Поліського краю та півночі широколистяно-лісової і лісостепової зон України)

5) субполя моделі (4.35) адекватні першорівневному варіанту первинної змодельованої функціональної структури за рівнем оцінювання ризику, спільного внаслідок водо- і ресурсокористування (див. рис.4.9). Тому вони коригуються з метою переходу до первинної структури другого, більш імовірного рівня оцінювання ризику внаслідок водо- і ресурсокористування шляхом виконання ряду моделювальних операцій, а саме:

– сукупності фактичних "точкових" $НД_{70}$ для $НД_{70} \geq 10\text{мЗв}$ за адекватним їм певним фактичним інтервалом значень відповідного ризику за матричною його схемою порівнюються із інтервалом значень ризику, куди вони координатно "потрапили" відповідно до просторово-числових меж "середньорегіональних" дозових інтервалів за $^{137}\text{Cs}, s$ згідно з (4.34), з метою виявлення відповідних відхилів. Такі відхили в бік викидів за верхні значення цих "середньорегіональних" інтервалів, з ігноруванням викидів за нижні межі, кваліфікуються як "аномалії перевищення" першорівневого ризику внаслідок загального ресурсокористування за $НД_{70}^*/^{137}\text{Cs}, s$, а отже і першорівневого спільного ризику за матрично-категорійною схемою. Ці "аномалії перевищення", по-перше, поєднуються з просторовими областями відповідних їм певних компактно-розрахункових ділянок ландшафтно-гідрологічних комплексів (КРД ЛГК). Останні є змістовим аналогом КРД дозоутворення "водними" шляхами але вже стосовно саме ландшафтно-гідрологічних комплексів, тобто з переважанням підходу за критеріями вирізнення ГМЛТС.

По-друге, зазначені "аномалії перевищення" геоінформаційно маркуються вже як квазістаціонарні квазіоднорідні субполя, а отже

$$\begin{aligned} & \{HD_{70}(\omega_0, R_0, t_p)\} \rightarrow CPC_{3P} \neq \{HD_{70}^*(\omega_0, R_0, t_p)\} \rightarrow CPC_{3P} \cap \\ & \cap \{\{ПЛАНД(SR_{ПЛАНД}, t_0), ТРБ(SR_{ТРБ}, t_0)\} \otimes \{КРД ЛГС(SR_{КРД}, t_0)\}\} = \\ & = \{\Delta CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{\Delta CPC, e+3pcs}, t) \wedge \{ВПол_{КСТА, КОДН, Трозр}\} \}; \end{aligned} \quad (4.36)$$

– виконується перетин субполів за (4.35) з субполлями за моделлю (4.36). Це призводить до отримання результувальної системи субполлів $CPC_{B+3P}(\omega, SR_{CPC, B+3P}, t)$. Вона власне і формує другорівневий (основний) варіант первинної функціональної структури за рівнем оцінювання спільного ризику за його ступенями з можливістю об'єднання останніх і геоінформаційного позиціонування відповідних класів рівнів стану (рис.4.10). Таким чином

$$\begin{aligned} & \{\Delta CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{\Delta CPC, B+3PCs}, t) \wedge \{CPC_{B+3PCs}(\omega, SR_{CPC, B+3PCs}) \wedge\} = \\ & = \{CPC_{B+3P}(\omega, SR_{CPC, B+3P}, t)\} \ni \{ПЗФС_{CPC, B+3P}\} . \end{aligned} \quad (4.37)$$

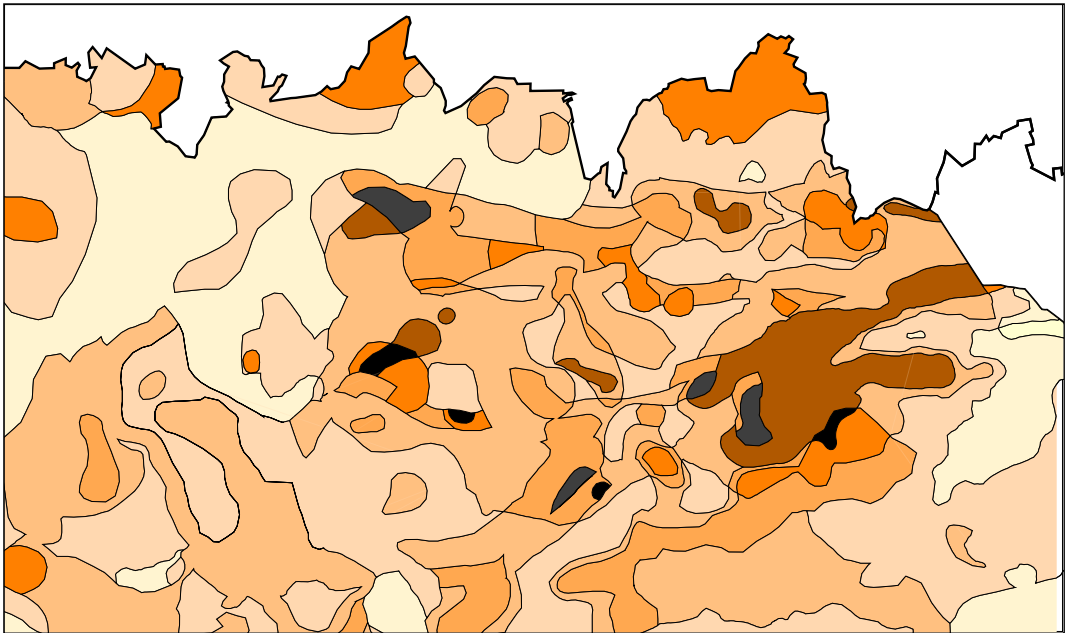


Рис.4.10 Основний варіант первинної змодельованої функціональної структури (на прикладі фрагмента ДТ Поліського краю та півночі широколистяно-лісової і лісостепової зон України)

Інтегральна (вторинна) змодельована функціональна структура в другому складнику районування полікритеріально моделюється передусім на основі первинної структури. Вторинна структура уособлює собою вже ієрархічно пов'язані **таксони районування**, вирізнені за умовами та ймовірними наслідками водо- і ресурсокористування. Вони зветься скорочено за змістом "ландшафтно-гідрорадіоекологічними таксонами". Ці таксони реально правлять за субполя первинної змодельованої функціональної структури, які відображають другий рівень

оцінювання категоризованого ризику, спільного внаслідок місцевого водокористування та загального ресурсокористування. Їх згруповано за відповідною **класифікаційною схемою ландшафтно-гідрорадіоекологічних таксонів (ЛГТ)**. Остання, з одного боку, використовує власну кінцеву категорійно-класифікаційну схему ступенів ризику / рівнів стану (табл.4.3). З іншого боку, ця схема оперує вже *ландшафтно-гідрологічними комплексами* за спадним ієрархічним ланцюжком: *зона – провінція – область – район*, що може поділятися на басейнові ділянки, – *локальний максимум поганого рівня стану*, який може вирізнятися в складі районів або басейнових ділянок районів.

Таблиця 4.3 – Кінцева категорійно-класифікаційна схема класів ступенів і ступенів можливого радіоекологічного ризику, спільного внаслідок місцевого водо- і ресурсокористування, та відповідних класів рівнів і рівнів радіоекологічного стану субструктур районування ГМЛТС і ФГТ

Класи (ступенів) ризику та класи рівнів стану	Ступені ризику та рівні радіоекологічного стану	
	Ступені ризику (з середніми числовими індексами ступеня ризику)	Рівні стану (за інтервалами "таксонних" індексів рівня стану моделі (4.38))
клас високого ризику та клас поганого рівня стану	гранично високий (1)	гранично поганий [1,00 – 1,50]
	вельми високий (2)	вельми поганий (1,50 – 2,50]
	середньо високий (3)	середньо поганий (2,50 – 3,50]
	початково високий (4)	початково поганий (3,50 – 4,50]
клас підвищеного ризику та клас погіршеного рівня стану	гранично підвищений (5)	гранично погіршений (4,50 – 5,50]
	вельми підвищений (6)	вельми погіршений (5,50 – 6,50]
	середньо підвищений (7)	середньо погіршений (6,50 – 7,50]
	помірно підвищений (8)	помірно погіршений (7,50 – 8,50]
клас помірного ризику та клас задовільного рівня стану	помірний (9)	задовільний (8,50 – 9,50]
клас незначного ризику та клас вельми задовільного рівня стану	незначний (10)	вельми задовільний (9,50 – 10,00]

Локальний максимум поганого за класом **рівня стану** (або **ландшафтно-гідрорадіоекологічний максимум**) є територіальним комплексом найнижчого рангу з максимальним рівнем реальної та потенційної радіоекологічної небезпеки для здоров'я населення внаслідок водо- і ресурсокористування. Це спричинено високою мірою біологічної доступності основних дозотворних радіонуклідів, зумовленою специфічними рисами прояву процесів первинного та вторинного радіоактивного забруднення в такому комплексі. Локальні максимуми можуть існувати, по-перше, у вигляді окремих "позасистемних" ареалів поганого рівня стану за різновидами такого рівня. По-друге, їх може бути згруповано на більш високому ієрархічному підрівні в **системі локальних максимумів**. Таким системам найчастіше відповідає природна закономірна комбінація певних родів ландшафту. Ландшафтно-

гідрорадіоекологічні максимуми або їхні системи входять до складу ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів або басейнових ділянок цих районів.

Ландшафтно-гідрорадіоекологічний район розглядається як мезосубструктура в макрогеосистемі досліджуваних територій, тобто як мезогеосистема останньої і базовий таксон даного виду районування. Такому таксону властива спорідненість умов і можливих радіоекологічних наслідків водо- і ресурсокористування, адекватна певним домінантним у районі класам рівнів стану. Згідно з цим район вирізняється та отримує визначення за інтегральним показником – домінантними класами рівнів стану, причому така "домінантність" встановлюється за спеціальними чисельно-обумовленими далі критеріями.

Ландшафтно-гідрорадіоекологічна область кваліфікується як сукупність мезосубструктур у макрогеосистемі *ДТ*, тобто сукупність її мезогеосистем, генерально поєднана спільністю ймовірних радіоекологічних наслідків водо- і ресурсокористування. Така спільність є відображенням і спільності в синергічному інтегруванні фізико-географічних особливостей рангу областей або їхніх частин і гідрологічно-макроструктурних особливостей рангу тестового річкового басейну або їхньої сукупності в аспекті реалізації процесів первинного та вторинного радіоактивного забруднення. Області об'єднують визначені ландшафтно-гідрорадіоекологічні райони та входять до складу провінцій.

Ландшафтно-гідрорадіоекологічна провінція розглядається як макросубструктура в макрогеосистемі *ДТ*, яка об'єднує ландшафтно-гідрорадіоекологічні області за зонально-крайово-обласним фізико-географічним принципом.

Ландшафтно-гідрорадіоекологічна зона за мірильністю практично еквівалентна, з урахуванням деяких модифікацій у межах зон, фізико-географічному таксону "зона". Під час модельного районування така зона маркується і вирізняється за агрегацією ландшафтно-гідрорадіоекологічних провінцій.

Ієрархічний ланцюжок вищезазначеного модельного районування кодується спеціальною вже восьмизначною нумерацією з обумовленим присвоєнням назв таксонам відповідного рівня. При цьому рівні радіоекологічного стану фігурують у назвах ландшафтно-гідрорадіоекологічних таксонів від локальних максимумів до провінцій включно, дотримуючись певних загальних принципів, зокрема такого. Радіоекологічне означення таксону формується за рахунок назви домінантного класу або назв спадно домінантних класів рівнів стану і тих, які подаються далі у дужках, назв власне рівнів стану за інтервалами "**таксонних**" **індексів рівня радіоекологічного стану** певних **ландшафтно-гідрорадіоекологічних таксонів** ($TIPPC_{B+3P(ЛГТ)}$). Останні розраховуються як інтегральні середньовиважені за площами відповідних субполів індекси можливого ризику внаслідок вже водо- і ресурсокористування за моделлю

$$TIPPC_{B+3P(ЛГТ)} = \sum_{i=1}^{n_{СРС,В+3P}} (IP_{B+3P} \cdot S_{IP,B+3P})_i / \sum_{i=1}^{n_{СРС,В+3P}} (S_{IP,B+3P})_i, \quad (4.38)$$

де I_{B+3P} – середні числові індекси ступеня ризику спільнокатегорійних за цими індексами субполів первинної змодельованої функціональної структури макрогеосистеми *ДТ* у певному ландшафтно-гідрорадіоекологічному таксоні відповідного

районування; $S_{IP,B+3P}$ – загальні площі щойно зазначених спільнокатегорійних за індексами ризику субполів; $n_{CPC,B+3P}$ – кількість категорій (ступенів) можливого ризику у певному таксоні районування за можливими радіоекологічними наслідками водо- і ресурсокористування.

Часткова алгоритмічна схема створення **інтегральної змодельованої функціональної структури** базується на аналізі та оцінці стану геосистем генетико-морфологічної ЛТС і таксонів фізико-географічного районування та імовірних радіоекологічних наслідків водо- і ресурсокористування. Схема містить у собі такі послідовні рішення (приклади – на рис.4.11-4.12):

1) із субполів отриманої за попередньою частковою алгоритмічною схемою первинної змодельованої функціональної структури (див. (4.34)-(4.37)) вирізняються субполя локальних максимумів поганого рівня стану (ЛГМ) – $ЛГМ(\omega, SR_{ЛГМ}, t)$ або субполя системних поєднань цих максимумів – $\{ЛГМ(\omega, SR_{ЛГМ}, t)\} \equiv СЛГМ(\omega, SR_{ЛГМ}, t)$;

2) шляхом вирізнення та/або поєднання певних субполів основного варіанта первинної функціональної структури ДТ (див. (4.37)) за ознаками доміантних класів ризику / рівнів стану, орієнтуючись на інтегрування просторових комбінацій ландшафтних субструктур, які належать до певних фізико-географічних таксонів, з відповідними гідрологічними субструктурами, маркуються просторові субобласті ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів (ЛГР), тобто

$$\begin{aligned} & \{CPC_{B+3P}(\omega, SR_{CPC,B+3P}, t)\} \cap \\ & \cap \{KPC_{B+3P,ДОМ}(\omega, SR_{KPC,B+3P,ДОМ}, t_0), \{ПЛАНД(SR_{ПЛАНД}, t_0)\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{ТЛАНД(SR_{ТЛАНД}, t_0)\}^{\wedge}, \{ТРБ(SR_{ТРБ}, t_0)\} = \{ЛГР_{B+3P}(\omega, SR_{ЛГР}, t)\} ; \end{aligned} \quad (4.39)$$

3) райони за моделлю (4.39) об'єднуються в ландшафтно-гідрорадіоекологічні області (ЛГО) згідно з вже поданим визначенням останніх. А отже певна така область формується як

$$\begin{aligned} & ЛГО_{B+3P}(\omega, SR_{ЛГО}, t) \in \{ЛГР_{B+3P}(\omega, SR_{ЛГР}, t)\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{KPC_{B+3P,ДОМ}(\omega, SR_{KPC,B+3P,ДОМ}, t_0), \{ФГО(SR_{ФГО}, t_0)\}, \{ТРБ(SR_{ТРБ}, t_0)\}\} ; \end{aligned} \quad (4.40)$$

4) згруповані за (4.40) області утворюють ландшафтно-гідрорадіоекологічні провінції (ЛГП) за їхнім визначенням. Тобто конкретна область вирізняється як

$$\begin{aligned} & ЛГП_{B+3P}(\omega, SR_{ЛГП}, t) \in \{ЛГО_{B+3P}(\omega, SR_{ЛГО}, t)\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{KPC_{B+3P,ДОМ}(\omega, SR_{KPC,B+3P,ДОМ}, t_0), \{ФГО(SR_{ФГО}, t_0)\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{ФГК(SR_{ФГК}, t)\}, \{ТРБ(SR_{ТРБ}, t_0)\}\} ; \end{aligned} \quad (4.41)$$

5) ландшафтно-гідрорадіоекологічні зони (ЛГЗ) маркуються за відповідними провінціями, тобто

$$ЛГЗ_{B+3P}(\omega, SR_{ЛГЗ}, t) \in \{ЛГП_{B+3P}(\omega, SR_{ЛГП}, t)\} . \quad (4.42)$$

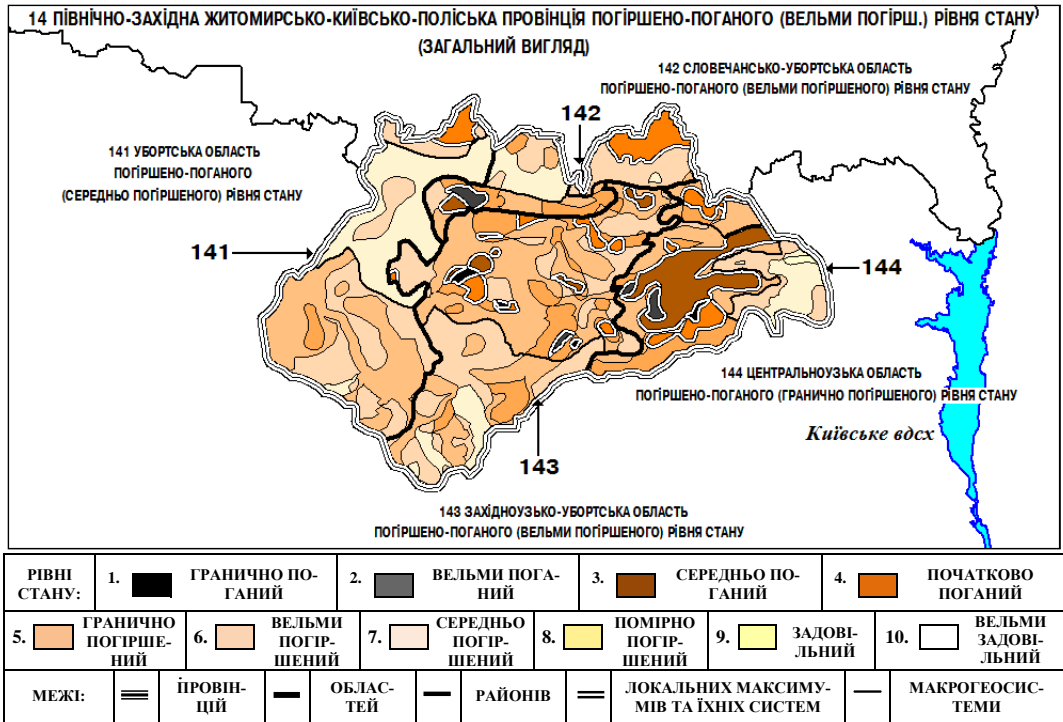


Рис.4.11 – Інтегральна змодельована функціональна структура (на прикладі Північно-Західної Житомирсько-Київсько-Поліської провінції та її областей) (рівні стану – за табл.4.3)



Рис.4.12 Інтегральна змодельована функціональна структура (на прикладі Центрально-Узької ландшафтно-гідрорадіоекологічної області погіршено-поганого (гранично погіршеного) рівня стану та її районів, локальних максимумів і їхніх систем) (легенда – за рис.4.11)

За комплексну характеристику рівня стану конкретних ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів (ЛГР) можуть правити також розрахункові показники $IP_{СР,ЛАНД,ЛГР}$. Вони є індексами ризику, середньовиваженими за площами субполів спільнотупеневих категорій можливого радіоекологічного ризику внаслідок водо- і ресурсокористування та відповідних їм рівнів радіоекологічного стану в спільнородових ландшафтах кожного ЛГР. Такі **індекси ризику (стану) "районно-ландшафтів"** моделюються за виразом

$$IP_{СР,ЛАНД,ЛГР} = \frac{n_{СР,В+ЗР,РЛАНД} \sum_{i=1}^{n_{СР,В+ЗР,РЛАНД}} (IP_{В+ЗР,РЛАНД} \cdot S_{IP,В+ЗР,РЛАНД})_i}{\sum_{i=1}^{n_{СР,В+ЗР,РЛАНД}} (S_{IP,В+ЗР,РЛАНД})_i}, \quad (4.43)$$

де $IP_{В+ЗР,РЛАНД}$ – визначені за відповідної схемою числові індекси ступенів ризику спільнокатегорійних за ступенями ризику субполів первинної змодельованої функціональної структури в певних спільнородових ландшафтних комплексах кожного ландшафтно-гідрорадіоекологічного району. Загальна кількість таких комплексів у ЛГР позначається як $n_{РЛАНД}$; $S_{IP,В+ЗР,РЛАНД}$ – загальні площі кожного "ландшафто-субполя ризику (стану)" (див. далі) в ландшафтно-гідрорадіоекологічному районі, що розглядається; $n_{СР,В+ЗР,РЛАНД}$ – кількість категорій ступенів ризику в певному ландшафті району, $IP_{СР,ЛАНД,ЛГР}$ якого моделюється.

Набір субполів, категорированих за ступенями ризику або рівнями стану та ідентифікованих за родами ландшафту в межах певного таксону загалом кваліфікується за змістом і скорочено визначається як **"ландшафто-субполя ризику або стану"**, маючи на увазі ризик внаслідок водо- і ресурсокористування та адекватний йому стан субполів.

Запроваджені характеристики, репрезентативні для оцінювання за ними ландшафтно-гідрорадіоекологічних таксонів (див. моделі (4.38) і (4.43) та супутні до них показники), є **підсумковими характеристиками радіоекологічного стану** таких таксонів. При цьому власне індекси ризику або стану "районно-ландшафтів", спільно з частками площ конкретних "ландшафто-субполів ризику або стану" стосовно площі їхнього таксону, що тестується, і розглядаються як характеристика "критичності" ландшафтних комплексів обраного таксону. Це здійснюється з причинно-наслідкових позицій, тобто з точки зору вивчення загальних закономірностей ландшафтно-гідрологічної зумовленості міри біологічної доступності тих чи інших забрудників. Натомість загальні "таксонні" індекси є більш застосовними для планування заходів з геоекологічної безпеки та й загалом природоохоронних заходів тощо, зважаючи і на повні назви модельно вирізнених одиниць районування.

За таких умов слід виходити з того, що змодельовані в процесі реалізації запропонованих принципів і підходів субполя з певними класами ступенів можливого ризику та відповідні їм субполя рівнів радіоекологічного стану субструктур районування територіально маркуватимуть просторові області, де при плануванні заходів з посилення геоекологічної безпеки водо- і ресурсокористування є доцільними, відповідно (див. табл.4.1 і табл.4.3):

1) заходи з невідкладного втручання. Їх буде приурочено до просторових областей з класом високого ризику внаслідок місцевого водо- і ресурсокористування та класом поганого рівня стану (див. табл.4.3);

2) заходи з обов'язкового вивчення умов і наслідків місцевого водо- і ресурсокористування з метою визначення міри потрібного втручання. Це буде стосуватися областей з класом підвищеного ризику внаслідок місцевого водокористування за табл.4.1 і таким же класом ризику внаслідок місцевого водо- і ресурсокористування згідно з табл.4.3 і, зрозуміло, з адекватними зазначеним класам ризику класами погіршеного рівня радіоекологічного стану;

3) заходи з вибіркової, оптимально фрагментарно обумовленої реєстрації параметрів стану однорідних гідрорадіоекологічно-ландшафтних або ландшафтно-гідрорадіоекологічних таксонів. Такі заходи будуть доцільними для просторових областей з класами помірного ризику за табл.4.1 та табл.4.3 і відповідними класами задовільного рівня стану.

Тестові ж результати ж районування за ландшафтно-гідрологічними за умовами та радіоекологічними наслідками місцевого водо- і ресурсокористування за моделями (4.22)-(4.43) (рис.4.13) призвели до вирізнення у зонах тестової макрогеосистеми ДТ таких ландшафтно-радіогідроекологічних таксонів, як 9 провінцій, 23 областей, 71 району та 45 локальних максимумів поганого рівня стану, а також 6 систем таких локальних максимумів. У цілому досліджений у [37, 40] регіон з площею 126,9 тис.км² внаслідок зазначеного районування було розподілено на субполя: поганого (2,8% площі регіону), погіршеного (45,4%), задовільного (23,3%) та вельми задовільного (28,5%) класів рівня радіоекологічного стану, враховуючи можливий ризик від місцевого водо- і ресурсокористування.



Рис.4.13 Приклад ландшафтно-гідрорадіоекологічного районування тестової макрогеосистеми ДТ (ландшафтно-гідрорадіоекологічні райони на тлі субполів первинної змодельованої функціональної структури, змодельованих за рівнями стану табл.4.3) (1111...2333 – коди районів за [37])

У випадку дотримання викладених вище алгоритмічних схем етапу оцінювально-функціонального структурування виникає *можливість наступної модифікації підсумкових результатів модельного районування*. Мова йде про *модифікацію підсумкових оцінок рівня стану таксонів* вже отриманої за певними підходами інтегральної функціональної структури. Це стосується таксонів, репрезентативних для апарату такої модифікації. Останню ж може бути здійснено за рахунок використання додаткових відомостей та додаткових критеріальних категорійно-класифікаційних схем рівнів стану визначених субструктур районування, зокрема поєднаних з вже застосованими такими схемами. Такий підхід у цілому розширює зміст та "комплексність" різновидів геоecологічного районування і його було застосовано, наприклад, у наших працях [38, 40]. У них попередньо обґрунтована багатofакторна (квазі)природно-антропогенна однорідність вирізнених ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів дозволила шляхом модельних рішень розповсюджувати умови цієї однорідності на мезосистемні особливості міграції забруднювальних речовин не лише радіоактивного, а й іншого генезису, та на відповідне відображення цих особливостей у результатах районування.

Так, у зазначених розробках [38, 40] було проведено *моделювання рівнів гідроекологічного стану 23 ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів (ЛГР)* тестової макроекосистеми ДТ Полісся і півночі широколистяно-лісової і лісостепової зон з *найгіршими рівнями їхнього радіоекологічного стану*. Такі райони було визначено за результатами модельного районування в монографії [37] (див. рис.4.13). Вони є однорідними за ландшафтно-гідрологічними умовами та можливими радіоекологічними наслідками місцевого водо- і ресурсокористування згідно із способами їхнього вирізнення (склад районів – далі на рис.4.14-4.15).

Розроблена для щойно зазначеного моделювання методика базується на застосуванні набору заданих модельних **індексів рівня гідроекологічного стану (ІРГС)**, по-перше, **власне водних об'єктів**. При цьому як індикаторні обрано місцеві водойми (див. початок цього розділу). По-друге, такі індекси застосовуються для **ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів загалом** за рівнями гідроекологічного стану набору водних об'єктів, які входять до складу кожного з цих районів. Крім того, під час моделювання здійснюється поступовий перехід спочатку від *компонентних індексів рівня гідроекологічного стану, середніх для водних об'єктів* і отриманих шляхом зіставлення на відповідність із заданими екологічними нормативами, до *їхніх розрахункових значень*, які враховують особливості натурного отримання даних в процесі моніторингу та генезис і морфометрію об'єктів. Потім здійснюється перехід до *компонентних індексів рівня гідроекологічного стану протестованих ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів*. При цьому зважають на множину помилок у випадку оцінювання властивостей таких районів як однорідних мезоекосистем за "точковими" значеннями зазначених індексів водних об'єктів. Узагальнений символічний спрощений запис компонентів і їхніх субкомпонентів груп показників геосистем водних об'єктів (див.п.2.1), елементи яких тестувалися за згаданю вище методикою для отримання відповідних індексів рівня гідроекологічного стану і водних об'єктів, і ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів, має вигляд

$$\{KM_{ET,ГФХ}\} \in \{BM_B; BM_{P,П}; KDA_{BM}; BP; CIC\} , \quad (4.44)$$

де $KM_{ET,ГФХ}$ – компоненти і субкомпоненти екотоксикологічної та гідрфізикохімічної груп показників геосистем водних об'єктів і ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів. Ці компоненти і субкомпоненти містять набори перелічених далі перетворених і змодельова-

них за [38, 40] для зазначених об'єктів і районів співвідношень із заданими еталонними показниками; BM_B – компонент вмісту важких металів у воді; $BM_{P,D}$ – субкомпонент вмісту важких металів у їстівних частинах риби та водоплавної птиці певних вікових груп їхніх обумовлених видів, які є найбільш поширеними для вживання місцевим населенням, $\{BM\} \in \{Pb_{w,f,d}, Zn_{w,f,d}, Cu_{w,f,d}, Cd_{w,f,d}\}$, де w – вода, f – риба, d – птиця; KDA_{BM} – субкомпонент коефіцієнтів донної акумуляції зазначених важких металів; BP – компонент вмісту біогенних речовин у воді, $\{BP\} \in \{NH_4^+, NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-}\}$; CIC – компонент показників соляного складу води, $\{CIC\} \in \{Cl, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, C3\}$, де $C3$ – сухий залишок.

Було запроваджено і підсумкову характеристику – **інтегральний індекс рівня гідроекологічного стану ландшафтно-гідрорадіоекологічного району (ІПРГС_{ЛРР})**. Він розраховувався як сума п'яти компонентних згідно з формулою (4.44) порайонних модельних індексів, всі з яких належать до групи спільних і інтегральних показників стану геосистеми заданого рангу. Було також створено **категорійно-класифікаційну схему рівнів гідроекологічного стану ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів** як за інтегральними, так і за компонентними індексами цих рівнів. Схема враховує отримані для дослідженого у [37, 38, 40] регіону стохастичні закономірності, а також функціональний зміст впливу на гідроекологічний стан геосистем елементів, які тестуються за певними компонентами або субкомпонентами груп показників стану таких геосистем, та кількості цих елементів у їхніх наборах.

Для схеми було запропоновано **п'ять категорійних ознак рівня гідроекологічного стану** спільно з відповідними їм числовими індексами та інтервалами, а саме: "**задовільний**", "**незадовільний**", "**вельми незадовільний**", "**надто незадовільний**" (близький до критичного), "**критичний**". Узагальнена оцінка, зокрема у геоінформаційному виконанні (рис.4.14), рівня гідроекологічного стану найбільш радіоекологічно ризикових у тестовій макрогеосистемі ДТ 23 ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів, проведена за інтегральним індексом ІПРГС_{ЛРР}, засвідчила таке.

По-перше, відсутні райони як із задовільним, так і з критичним рівнем стану у випадку такого комплексного тестування, яке загалом було виконано і за кожним компонентним індексом. По-друге, 3 райони (13% загальної кількості) мають незадовільний, 9 районів (39%) – вельми незадовільний і 11 районів (48%) – надто незадовільний (близький до критичного) рівні їхнього гідроекологічного стану.

Крім того було отримано **рейтинги протестованих районів**. Їх було розраховано **спільно паритетно (як суму)** за рейтингами рівня радіоекологічного стану, а саме відповідно до порайонних "таксонних" індексів рівня радіоекологічного стану $TIPPC_{B+3P(ЛРР)}$ за моделлю (4.38), та за рейтингами рівня гідроекологічного стану цих районів, тобто відповідно до інтегральних індексів ІПРГС_{ЛРР}. На підставі такого виду оцінювання та використання повної назви районів, адекватної їхньому визначенню за радіоекологічною та гідроекологічною ознаками, і було встановлено спільні **рейтинги рівня радіогідроекологічного стану** тестових ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів (рис.4.15).

Подальші розвиток і втілення наведених у п.3.1 і цьому розділі основ геоecологічного, зокрема ландшафтно-гідрорадіоекологічного, модельного районування у конкретні алгоритмічні схеми геоінформаційного тематичного поділу і оцінки стану територій та імплементація цих схем для обраних регіонів можуть стати передумовою, по-перше, об'єктивної оптимізації комплексних моніторингових мереж зі створенням сучасних геоінформаційних систем.

По-друге, розвиток і втілення зазначених основ сприятимуть вибору найбільш доцільних заходів із відновлення та підтримки геоecологічної безпеки ресурсокористування і охорони та реабілітації довкілля.



Рис.4.14 Категорії та рейтинги рівня гідроекологічного стану ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів (на прикладі 23 ЛГР тестової макрогеосистеми ДТ) (див. рис.4.13)

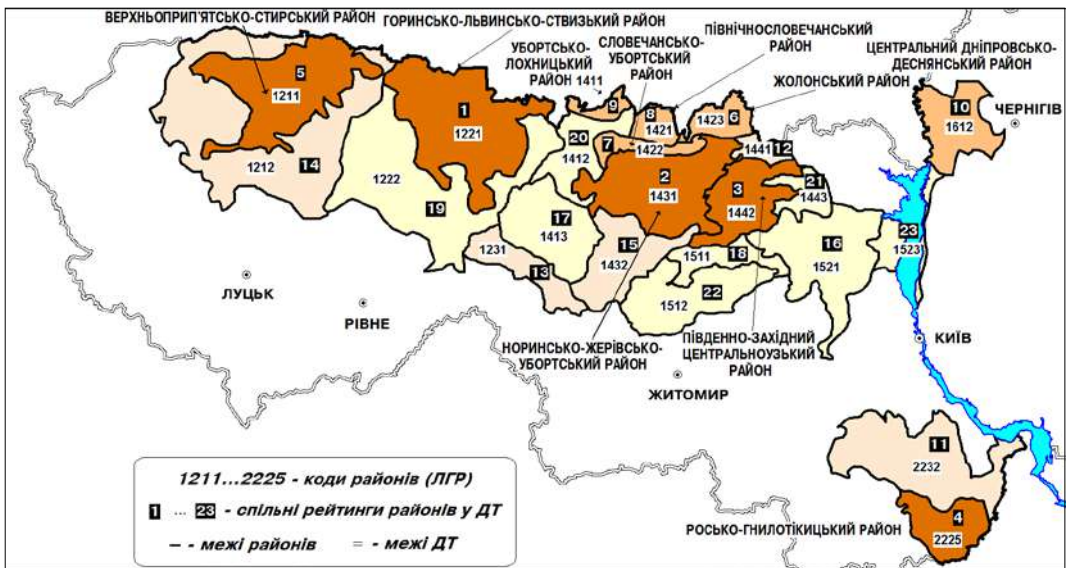


Рис.4.15 Спільні рейтинги рівня радіогідроекологічного стану ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів (на прикладі 23 ЛГР тестової макрогеосистеми ДТ)

Контрольні запитання й завдання до розділу 4:

1. Що таке ландшафтно-гідрорадіоекологічне районування?
2. Що таке індикаторні геосистеми? Поясніть на прикладі.

3. На які складники поділяється ландшафтно-гідрорадіоекологічне районування?
4. Побудуйте граф дій, які передбачає загальна алгоритмічна схема першого складника ландшафтно-гідрорадіоекологічного районування.
5. Що має забезпечити вирізнення тестових річкових басейнів?
6. Що таке індикаторні "водні" дози опромінення?
7. Яким чином вирізняють компактно-розрахункових ділянки дозоутворення "водними" шляхами?
8. Наведіть приклади числових або "чисельно-ознакових" значень як ознак стану.
9. Прокоментуйте структуру кінцевої категорійно-класифікаційної схеми класів рівнів і рівнів радіогеоекологічного стану субструктур районування басейнової ЛТС.
10. Що таке гідрорадіоекологічно-ландшафтні таксони?
11. Поясніть зміст "таксонних" індексів рівня радіогеоекологічного стану тестових річкових басейнів.
12. Наведіть дефініцію гідрорадіоекологічно-ландшафтного локального максимуму.
13. Прокоментуйте принципіві компоненти загальної алгоритмічної схеми другого складника ландшафтно-гідрорадіоекологічного районування.
14. Що таке субполя аномалій НД₇₀?
15. На тлі яких геосистем оцінюються ознаки "стану за умовами" водо- і ресурсокористування?
16. Чому коригуються субполя, адекватні першорівневому варіанту первинної змодельованої функціональної структури за рівнем оцінювання ризику, спільного внаслідок водо- і ресурсокористування?
17. Чим відрізняється ландшафтно-гідрорадіоекологічний район від ландшафтно-гідрорадіоекологічної області?
18. Як називається макросубструктура в макрогеосистемі досліджуваних територій, яка об'єднує ландшафтно-гідрорадіоекологічні області за зонально-крайово-обласним фізико-географічним принципом?
19. Прокоментуйте структуру моделі "таксонних" індексів рівня радіогеоекологічного стану ландшафтно-гідрорадіоекологічних таксонів.
20. Що таке індекси ризику (стану) "районо-ландшафтів"?
21. Що править за підсумкові характеристики радіогеоекологічного стану ландшафтно-гідрорадіоекологічних таксонів?
22. Яким чином можна визначати територіальний розподіл заходів з посилення геоекологічної безпеки водо- і ресурсокористування?
23. У чому полягає можливість модифікації підсумкових результатів геоекологічного, зокрема ландшафтно-гідрорадіоекологічного районування?
24. Що таке компонентні індекси рівня радіогеоекологічного стану ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів?
25. Яким чином розраховуються спільні рейтинги рівня радіогідрогеоекологічного стану тестових ландшафтно-гідрорадіоекологічних районів?

5 МОДЕЛЮВАННЯ БАСЕЙНОВИХ ГЕОСИСТЕМ

За основний об'єкт моделювання цього розділу править такий тип аква-теральної природничої геосистеми, як **басейнова геосистема (БГ)**, а отже для подальших формалізаційних записів використовується вихідна тотожність

$$\{ГЕО\} \equiv \{БГ\} . \quad (5.1)$$

Басейнова геосистема в цілому ідентифікується як територіальна одиниця (елемент) басейнової ЛТС (БЛТС), ядром якого є головний водотік із певною площею водозбору. З огляду на останню для моделювання розрізняють:

1) **середні й великі басейнові геосистеми** з площею водозбору, відповідно, 2-50 тис.км² і більше 50 тис.км² із їхніми суббасейновими геосистемами більш низького рангу. Такі середні й великі системи позначаються так само, як і басейнові геосистеми загалом, тобто **БГ**, і розглядаються далі у п.5.1 (приклад на фото 5.1);

2) **малі басейнові геосистеми** з площею водозбору менше 2 тис.км² (приклад – на фото 6.2). Моделювання їхнього стану здійснюється за спеціальними методиками з огляду на класифікаційні ознаки цих геосистем. Зокрема, модельні підходи щодо т.зв. малих урболандшафтних басейнових геосистем (**МУБГ**) викладено у п.5.2.



Фото.5.1 Головний водотік великої басейнової геосистеми – річка Десна (біля Чернігова)



Фото.5.2 Головний водотік малої басейнової геосистеми – Червоний ручай (м. Фан-тх'єт, В'єтнам)

5.1 Моделювання середніх і великих басейнових геосистем

(Квазі)природна підсистема заданої середньої або великої басейнової геосистеми (надалі просто *басейнової геосистеми*) диференціюється, враховуючи (1.4), на її **другопорядкові підсистеми** за записом (5.2) із можливістю його трансформації в "динамічному" варіанті аналогічно (1.3)

$$\{КПГЕП\} \in \{БТП \cap БМПП \cap БЛП \cap БФГП \cap БІН\}, \quad (5.2)$$

а саме на:

1) **басейнові територіальні підсистеми (БТП)** як таксони однойменного районування (**БТР**) за (1.4) (приклад – на рис.5.1). Сюди належать:

- по-перше, суббасейнові геосистеми водотоків рангу, нижчого за головний у **БГ**, а також нерулові суббасейни, наприклад ярів, балок тощо (**СБГ**);
- по-друге, визначені ділянки басейнової геосистеми в цілому, виокремлені вздовж її головної річки до обумовлених створів на ній тощо (**ДБГ**);
- по-третє, певні комбінації першого й другого щойно зазначених варіантів (**КБГ**).

Відповідні формалізовані записи будуть мати вигляд

$$\{БТП\} \in \{СБГ \cap ДБГ \cap КБГ\} , \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} D \{БТП\} &= \{БТП(\omega_{БТП}, R_{БТП}, t)\} = \\ &= \{СБГ(\omega_{СБГ}, R_{СБГ}, t) \cap ДБГ(\omega_{ДБГ}, R_{ДБГ}, t) \cap КБГ(\omega_{КБГ}, R_{КБГ}, t)\} , \end{aligned} \quad (5.4)$$

де $\omega_{БТП}$, $\omega_{СБГ}$, $\omega_{ДБГ}$ і $\omega_{КБГ}$ – числа фіксації випадкових субполів відповідних підсистем за (5.3); $R_{СБГ}$, $R_{ДБГ}$ і $R_{КБГ}$ – просторові субобласті субполів цих підсистем за умови, що загальна просторова область субполів підсистем **БТП** $R_{БТП} \equiv R \in \{R_{СБГ} \cap R_{ДБГ} \cap R_{КБГ}\}$;

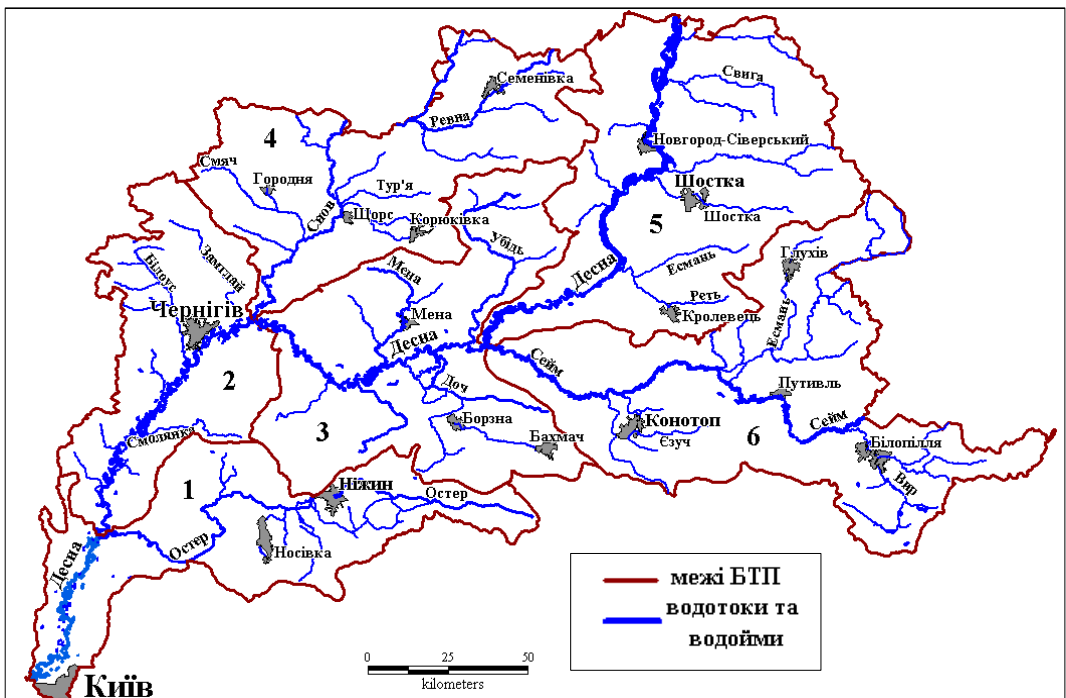


Рис.5.1 Басейнові територіальні підсистеми (БТП) на прикладі БГ Десни: 1 – Деснянсько-Остерська; 2 – Смолянсько-Замглайська; 3 – Середньодеснянська; 4 – Сновська; 5 – Верхньодеснянська; 6 – Сеймська

2) **басейнові морфологічно-позиційні підсистеми (БМПП)** як таксони, зрозуміло, морфологічно-позиційного районування (**БМПП**) за (1.4). Ними можуть бути басейнові геосистеми нижчого за **БГ** порядку, а саме вододільно-рівнинні (**ВРГ**), схиліві (**СХГ**), терасові (**ТРГ**), заплавні (**ЗПГ**) та руслові (**РСГ**) геосистеми. Останні маркуються разом з водоймами і практично є адекватними геосистемам русла (ложа) і берегів водотоків, шкалу міри антропоізації яких було розглянуто в табл.1.3. Крім того, найчастіше з огляду на наявну вихідну для аналізу інформацією, за **БМПП** можуть правити також різноманітні поєднання щойно зазначених геосистем (**ПМПП**), а саме терасово-заплавні, заплавно-руслові тощо. Басейнові морфологічно-позиційні підсистеми вирізняються стосовно головного водотоку всієї **БГ** і/або стосовно певних басейнових територіальних підсистем, тобто щодо заданих **СБГ** або **ДБГ** чи **КБГ** (див. (5.3)). А отже формалізація **БМПП** підтримується моделями (5.5) і (5.6) (запис останньої – для **R** у цілому)

$$\{БМПП\} \in \{ВРГ \cup СХГ \cup ТРГ \cup ЗПГ \cup РСГ \cup (\cap) ПМПП\} , \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} D \{БМПП\} &= \{БМПП(\omega_{БМПП}, R_{БМПП}, t)\} = \\ &= \{ВРГ(\omega_{ВРГ}, R_{ВРГ}, t) \cup \dots \cup (\cap) ПМПП(\omega_{ПМПП}, R_{ПМПП}, t)\} , \end{aligned} \quad (5.6)$$

де $\omega_{БМПП}, \omega_{ВРГ} \dots \omega_{ПМПП}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних підсистем за (5.5); $R_{ВРГ} \dots R_{ПМПП}$ – просторові субобласті субполів цих підсистем з огляду на те, що загальна просторова область субполів підсистем **БМПП** $R_{БМПП} \equiv R \in \{R_{ВРГ} \cup \dots \cup (\cap) R_{ПМПП}\}$;

3) **басейнові ландшафтні підсистеми (БЛП)** або, просто, "басейнові ландшафти". За них править набір геосистем як таксономічних одиниць генетико-морфологічної **ЛТС** певного рангу (**ГМЛТС** за (1.4)). Зазвичай це геосистеми підурочищ (**ПУГ**), урочищ (**УРГ**) і місцевостей (**МСГ**) у межах басейнової геосистеми в цілому або її певних басейнових територіальних чи морфологічно-позиційних підсистем.

Зрозуміло, що, через принциповий незбіг меж елементів басейнової та генетико-морфологічної **ЛТС**, геосистеми **БЛП** може бути представлено їхніми частинами, поміж них "зредукованими". Загальна ж формалізація цих підсистем в межах всієї **БГ** буде виглядати як

$$\{БЛП\} \in \{ПУГ \cap УРГ \cap МСГ\} , \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} D \{БЛП\} &= \{БЛП(\omega_{БЛП}, R_{БЛП}, t)\} = \\ &= \{ПУГ(\omega_{ПУГ}, R_{ПУГ}, t) \cap УРГ(\omega_{УРГ}, R_{УРГ}, t) \cap МСГ(\omega_{МСГ}, R_{МСГ}, t)\} , \end{aligned} \quad (5.8)$$

де $\omega_{БЛП}, \omega_{ПУГ}, \omega_{УРГ}$ і $\omega_{МСГ}$ – числа фіксацій випадкових субполів відповідних підсистем за (5.7); $R_{ПУГ}, R_{УРГ}$ і $R_{МСГ}$ – просторові субобласті субполів цих підсистем, зважаючи на те, що загальна просторова область субполів підсистем **БЛП** $R_{БЛП} \equiv R \in \{R_{ПУГ} \cap R_{УРГ} \cap R_{МСГ}\}$, а $R_{УРГ} \in \{R_{ПУГ}\}$ і $R_{МСГ} \in \{R_{ПУГ} \cap R_{УРГ}\}$;

4) **басейнові фізико-географічні підсистеми (БФГП)**. Вони вирізняються в межах *БГ* у цілому або її басейнових територіальних підсистем за тими, що "потрапили" в ці межі, теж найчастіше "зредукованими" через вищезазначені причини, таксонами фізико-географічного районування певного рівня – складниками **ФГТ** за (1.4). За такі таксони, зважаючи на [26], правлять фізико-географічні зони (**ФГЗ**), підзони (**ФГПЗ**), краї (**ФГК**), області (**ФГО**) та райони (**ФГР**). Вони, в свою чергу, відрізняються власною типологічною ландшафтною структурою та набором басейнових ландшафтних підсистем (*БЛП* за (5.7)-(5.8)). Загальну формалізацію басейнових фізико-географічних підсистем у межах всієї *БГ* можна подати як

$$\{БФГП\} \in \{ФГЗ \cap ФГПЗ \cap ФГК \cap ФГО \cap ФГР\} , \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} D \{БФГП\} &= \{БФГП(\omega_{БФГП}, R_{БФГП}, t)\} = \\ &= \{ФГЗ(\omega_{ФГЗ}, R_{ФГЗ}, t) \cap ФГПЗ(\omega_{ФГПЗ}, R_{ФГПЗ}, t) \cap ФГК(\omega_{ФГК}, R_{ФГК}, t)\} \cap \\ &\cap ФГО(\omega_{ФГО}, R_{ФГО}, t) \cap ФГР(\omega_{ФГР}, R_{ФГР}, t) \} , \quad (5.10) \end{aligned}$$

де $\omega_{БФГП}, \omega_{ФГЗ}, \omega_{ФГПЗ}, \omega_{ФГК}, \omega_{ФГО}$ і $\omega_{ФГР}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних підсистем за (5.9); $R_{ФГЗ}, R_{ФГПЗ}, R_{ФГК}, R_{ФГО}$ і $R_{ФГР}$ – просторові субобласті субполів цих підсистем, з огляду на те, що загальна просторова область субполів підсистем $БФГП R_{БФГП} \equiv R \in \{R_{ФГЗ} \cap R_{ФГПЗ} \cap R_{ФГК} \cap R_{ФГО} \cap R_{ФГР}\}$, а $R_{ФГО} \in \{R_{ФГР}\}$, $R_{ФГК} \in \{R_{ФГО} \cap R_{ФГР}\}$, $R_{ФГПЗ} \in \{R_{ФГК} \cap R_{ФГО} \cap R_{ФГР}\}$ і $R_{ФГЗ} \in \{R_{ФГПЗ} \cap R_{ФГК} \cap R_{ФГО} \cap R_{ФГР}\}$;

5) **інші басейнові підсистеми (БІН)**, зокрема геосистеми біоландшафтної територіальної та геотонної структур (*БІЛТС* і *ГІЛТС* за (1.4)) тощо.

Натурально-антропогенна та антропогенна підсистеми басейнової геосистеми формалізуються "стандартно" за відповідними загальними підходами до структурно-функціональної формалізації природничої геосистеми, викладеними в р.1. А саме, натурально-антропогенні та антропогенні геосистеми суходільного складника *БГ* формалізуються за (1.5)-(1.6), а такі ж геосистеми натуральних і штучних водотоків *БГ* – за табл.1.3. "Стандартно" формалізується і **підсистема каркасних меж *БГ*** – за моделями (1.9)-(1.10).

Моделювання складників **стійкості басейнової геосистеми** як природничої здійснюється як за універсальними, так і за специфічними для типів геосистем підходами п.2.3.

Так, перший підтип **фазової стійкості**, а саме **фазово-антропоізаційна стійкість басейнової геосистеми (ФАС(БГ))** кількісно моделюється за відповідними індексами антропоізації. Для суходільних геосистем *БГ* це $I_{ФАС,Т}$ за (2.55), а для акваторальних геосистем водотоків – $I_{ФАС,АТ}$ за (2.56) з використанням категорійно-класифікаційної схеми рівнів стану *БГ* за табл.2.3. При цьому **ФАС(БГ)** можна оцінювати як для *БГ* у цілому, так і для певних складників її (квазі)природної підсистеми. За останні правлять, насамперед, геосистеми басейнових територіальних або морфологічно-позиційних підсистем за моделями (5.3)-(5.6) та/або теральні чи акваторальні геосистеми цих підсистем більш низького рангу (приклад на рис.5.2).

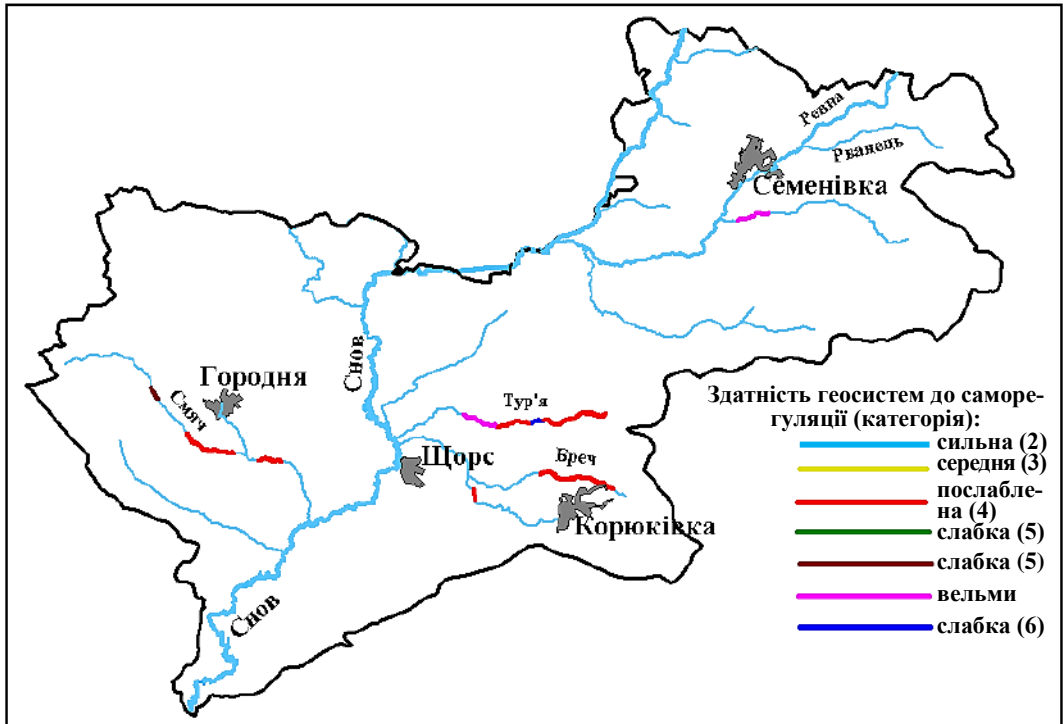


Рис.5.2 Фазово-антропоізаційна стійкість (здатність до саморегуляції) акваторьних геосистем водотоків (на прикладі ділянок гідромережі Сновської БТП БГ Десни) (на основі [55]; коди категорій рівня стану – за табл.2.3)

Фазово-етологічна стійкість басейнової геосистеми (ФЕС(БГ)), як вже зазначалося в п.2.3 щодо цього другого підтипу фазової стійкості, загалом віддзеркалює міру збереження відношень гідрофункціонування басейнової геосистеми і поділяється на два підвиди такої стійкості.

Перший з них, **гідромережну ФЕС басейнової геосистеми (ГФЕС(БГ))** в першому наближенні можна модельно оцінювати за ступенем антропогенної (техногенної) трансформації динаміки розрахункової гідромережі за рахунок зарегулювання водного стоку її компонентів штучними водоймами, а саме за моделлю

$$I_{ГФЕС} = f \{ 100 (W_{ЗШВ} / W_{СБРС}) \} , \quad (5.11)$$

де $I_{ГФЕС}$ – індекс гідромережної фазово-етологічної стійкості розрахункової гідромережі БГ або її басейнової територіальної підсистеми. Він адекватний індексу штучного зарегулювання стоку об'єктів гідромережі та визначається у відсотках з віднесенням до інтервалів співвідношення ($W_{ЗШВ} / W_{СБРС}$); $W_{ЗШВ}$ – загальний об'єм штучних водойм всіх типів і видів у межах заданої гідромережі; $W_{СБРС}$ – об'єм середнього за багатоліття річного водного стоку об'єктів гідромережі (всі об'єми – в млн. м³).

Наслідкову до таких засновків *категорійно-класифікаційну схему* як відповідну шкалу відношень, яку оцінювально поєднано з інтервалами $I_{ГФЕС}$, наведено в

табл.5.1. Ця схема вирізняє шість категорій рівня стану геосистем за мірою антропогенної (техногенної) трансформації їхньої розрахункової гідромережі. Класи рівня стану при цьому не вирізняються, позаяк зарегулювання стоку не є лише геоекологічно негативним за наслідками (див. детальніше наші монографії [45, 55]).

Таблиця 5.1 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану БГ за ознаками її гідромережної фазово-етологічної стійкості (етологічної трансформації розрахункової гідромережі)

Значення $I_{ГФЕС}$ за моделлю (5.11), %	Етологічна трансформація гідромережі (категорія рівня стану)
0	відсутня (1)
(0-25]	помірна (2)
(25-50]	середня (3)
(50-75]	сильна (4)
(75-100]	вельми сильна (5)
> 100	надто сильна (6)

Вододільно-водозбірну ФЕС басейнової геосистеми (ВВФЕС(БГ)) як вид стійкості, який має враховувати міру зміни місцезнаходження її (квазі)природних вододілів і водозборів (див. п.2.3), можна, відповідно, диференціювати на два підвиди – вододільну ФЕС (ВДФЕС(БГ)) і водозбірну ФЕС (ВЗФЕС(БГ)), тобто

$$\{ВВФЕС(БГ)\} \in \{ВДФЕС(БГ), ВЗФЕС(БГ)\} . \quad (5.12)$$

За параметричний критерій першого підвиду стійкості моделі (5.12) **ВДФЕС(БГ)** змістово може правити *індекс вододільної фазово-етологічної стійкості* ($I_{ВДФЕС}$, у %). При цьому, по-перше, зважають саме на міру порушення такої стійкості внаслідок перерізання вододілів вершинами ерозійних форм, а не на міру загрози такого порушення, що є надто складним завданням. По-друге, зазначений індекс стосується, зрозуміло, аналізу лише заданих басейнових територіальних підсистем у часи фіксації їхніх субполів t_1 і t_2 і/або заданого таким же чином поля БГ загалом як агрегації цих субполів. За таких умов індекс $I_{ВДФЕС}$ визначається за

$$\begin{aligned} \{ВДФЕС(БГ)\} &\equiv \{ВДФЕС(БТП)\} = \\ &= \{БТП(\omega_{БТП} R_{БТП} t_1)\} \cap \{БТП(\omega_{БТП} R_{БТП} t_2)\} , \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$I_{ВДФЕС} = 100 - I_{ВДД} = 100 - \sum_{i=1}^{n_{ВЕР}} I_{РОЗ,i} / (0,01 L_{ВД}) , \quad (5.14)$$

де $I_{ВДД}$ – *індекс вододільної дискретності* модельної БТП (у %); $I_{РОЗ,k,i}$ – "ширина" i -того "розриву" досліджуваного вододілу в t_2 , який виник внаслідок перерізання лінії "ініціального" вододілу, яка існувала в t_1 , що фактично відповідає "втрачений" в результаті зазначеного перерізання довжині вихідного вододілу (в км); $L_{ВД}$ –

довжина лінії вихідного (в t_1) вододілу (в км); $n_{ВЕР,k}$ – кількість вершин ерозійних форм, які перерізували початкову вододільну лінію з обох її боків.

Остаточна кількісна параметризація моделі (5.14) є завданням майбутніх детальних досліджень з огляду на ранг і типологію БТП і морфологію певних ерозійних форм. Наразі ж, за логікою зміни складників моделі (5.14), можна застосовувати *категорійно-класифікаційну схему щодо ВДФЕС(БГ)* з шістьма категоріями рівня стану за мірою дискретності вододілу об'єктів моделювання та з "традиційними" для підходів цього підручника п'ятьма відповідними класами рівня стану (табл.5.2).

Таблиця 5.2 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану БГ за ознаками її вододільної фазово-етологічної стійкості (вододільної дискретності)

Значення $I_{ВДФЕС,k}$ за моделлю (5.14), %	Вододільна дискретність (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
100	відсутня (1)	відмінний (I)
(100-90]	помірна (2)	добрий (II)
(90-80]	середня (3)	задовільний (III)
(80-45]	сильна (4)	незадовільний (IV)
(45-10]	вельми сильна (5)	поганий (V)
< 10	надто сильна (6)	

Параметризацію другого підвиду стійкості моделі (5.12) – водозбірної ФЕС (*ВЗФЕС(БГ)*) – спрямовано на оцінку міри саме зменшення (редукції) або розширення (експансії) площі водозбору геосистем. Ця редукція/експансія може відбуватися як внаслідок перерізання вододілів вершинами ерозійних форм, що "лінійно", але не "площинно" моделюється за (5.14), так і з інших причин. Серед них – створення меліоративних систем, гідротехнічне або транспортне будівництво чи інші впливи певних, передусім антропогенних, геосистем тощо. Такі чинники в цілому можуть змінити реальні межі поверхневого та підземного водозбору БГ і її складників з наслідковою зміною відношень гідрофункціонування, зосібна щодо різноманітних джерел забруднювання тощо.

За таких умов застосовується відповідний *індекс водозбірної фазово-етологічної стійкості* ($I_{ВЗФЕС}$, у %). Він, як попередній, розраховується для заданих басейнових територіальних підсистем у часи фіксації їхніх субполів t_1 і t_2 і/або поля БГ у цілому для таких же часів. Цей індекс, по-перше, окремо оцінює зменшення (з підрядковим символом "P") або збільшення (з підрядковим символом "E") водозбірної площі. По-друге, він базується на модифікації моделі (2.76) з п.2.3, де враховано, зокрема, сумарні відносні помилки просторового визначення зазначеної площі тощо (див. методику СОД ГЕІ у п.3.2.2 і [36, 40]). А отже

$$\{ВЗФЕС(БГ)\} \equiv \{ВЗФЕС(БТП)\} = \{БТП(\omega_{БТП}, R_{БТП}, t_1)\} \cap \{БТП(\omega_{БТП}, R_{БТП}, t_2)\}, \quad (5.15)$$

$$I_{ВЗФЕС,P} = 100 + I_{PB3} = 100 + \{100 ((S_{B3}(t_1) - S_{PB3}(t_2)) / S_{B3}(t_1) - 1)\} \leq$$

$$\leq \Delta_{\sigma,S} \{ - \Phi (S_{B3}(t))_{Pn} \bullet C_v (S_{B3}(t)) / (0,01 n_S^{0,5}) \} , \quad (5.16)$$

$$I_{B3\Phi EC,E} = 100 - I_{EB3} = 100 - \{100 ((S_{B3}(t_1) + S_{EB3}(t_2)) / S_{B3}(t_1) - 1)\} \leq \\ \leq \Delta_{\sigma,S} \{ \Phi (S_{B3}(t))_{Pn} \bullet C_v (S_{B3}(t)) / 0,01 n_S^{0,5} \} , \quad (5.17)$$

де I_{PB3} – індекс редукації водозбору модельної геосистеми; I_{EB3} – індекс експансії цього водозбору; $S_{B3}(t_1)$ – площа досліджуваного водозбору в час t_1 ; $S_{PB3}(t_2)$ – зменшення площі $S_{B3}(t_1)$ на час t_2 ; $S_{EB3}(t_2)$ – розширення площі $S_{B3}(t_1)$ на час t_2 ($S_{B3}(t_1)$, $S_{PB3}(t_2)$ і $S_{EB3}(t_2)$ – параметричні значення субполів БТП і/або поля БГ, у км²); $\Phi (S_{B3}(t))_{Pl}$ і $\Phi (S_{B3}(t))_{Pn}$ – розрахункові квантили довірчих ймовірностей перевищення для нижньої та верхньої їхніх меж, які задаються для певних розподілів значень субполів (поля) геосистеми і рівнів значущості ($SLev$); $C_v (S_{B3}(t))$ – функція коефіцієнта варіації зазначених значень; n_S – загальна кількість фактичних фіксацій (вимірів) значень модельних субполів (поля), яку може бути подано як $n_S = n_{S,t} \bullet n_{S,\omega}$, де $n_{S,t}$ – частота вимірів, тобто кількість перетинів випадкових субполів і/або поля геосистеми, а $n_{S,\omega}$ – загальна кількість вимірів параметричних значень у кожному перетині, тобто кількість реалізацій зазначених субполів і/або поля; $\Delta_{\sigma,S}$ – кратні інтервали результатів обчислень за останнім виразом моделей (5.15)-(5.16), поданим у фігурних дужках.

Зважаючи на зміст складників моделей (5.16)-(5.17), можна визначити, поперше, що $n_S^{0,5} = (2 \bullet 2)^{0,5} = 2$.

По-друге, можна задатися рівнями значущості $SLev = 5\%$ і за табл.2.12, орієнтуючись на адекватні для (5.16)-(5.17) параметри геостохастичних функцій для вододільно-рівнинних геосистем, отримати, відповідно, $\Phi (S_{B3}(t))_{Pl} = \Phi (S_{B3}(t))_{95\%} = -1,54$, $\Phi (S_{B3}(t))_{Pn} = \Phi (S_{B3}(t))_{5\%} = 1,74$ та максимальне значення функції коефіцієнта варіації $C_v (S_{B3}(t))_{max} = 0,12$.

За таких вихідних параметричних умов, враховуючи вже згадані помилки просторового визначення площ тощо та логіко-аналітично варіюючи кратними інтервалами $\Delta_{\sigma,S}$, можна використовувати два варіанти категорійно-класифікаційної схеми стосовно ВЗФЕС(БГ). Така схема містить шість категорій рівня стану за ступенем редукації або експансії водозбору басейнової геосистеми з п'ятьма відповідними класами рівня її стану (табл.5.3-5.4).

Таблиця 5.3 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану БГ за ознаками її водозбірної фазово-етологічної стійкості (водозбірної редукації)

Значення $I_{B3\Phi EC,P}$ за моделлю (5.16), %	Водозбірна редукація (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
(100-90,8]	відсутня (1)	відмінний (I)
(90,8-81,6]	помірна (2)	добрий (II)
(81,6-72,4]	середня (3)	задовільний (III)
(72,4-44,8]	сильна (4)	незадовільний (IV)
(44,8-17,2]	вельми сильна (5)	поганий (V)
< 17,2	надто сильна (6)	

Таблиця 5.4 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану *БГ* за ознаками її вододільної фазово-етологічної стійкості (водозбірної експансії)

Значення $I_{ВЗФЕС.Е}$ за моделлю (5.17), %	Водозбірна експансія (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
(100-89,6]	відсутня (1)	відмінний (I)
(89,6-79,2]	помірна (2)	добрий (II)
(79,2-68,8]	середня (3)	задовільний (III)
(68,8-37,6]	сильна (4)	незадовільний (IV)
(37,6-6,4]	вельми сильна (5)	поганий (V)
< 6,4	надто сильна (6)	

Усі види першого підтипу *параметричної стійкості* – *параметрично-процесної стійкості басейнової геосистеми (ППС(БГ))* – тобто флювіо-ерозійна *ППС (ФЕППС(БГ))*, радіогеоекологічна *ППС (РГППС(БГ))*, ацидифікаційна *ППС (АЦППС(БГ))*, ґрунтово-самоочищувальна *ППС (ГСППС(БГ))* і інші змістово зумовлені види цієї стійкості (*ІВППС(ГЕО)*) за (2.60) моделюються за універсальними для природничих геосистем підходами, викладеними в п.2.3.

У нашій праці [55] на прикладі басейнової геосистеми Десни та її басейнових територіальних підсистем (*БТП*) було вибірково модельно протестовано деякі із щойно зазначених видів стійкості, стислі приклади чого наводяться далі.

Так, для кожної з тестових *БТП* (див. рис.5.1) було отримано карти полів можливого радіогеоекологічного ризику (приклад на рис.5.3). Це дозволило надалі модельно визначити значення вихідного індексу $I_{РРГСТ.І}$ та на його основі розрахувати власне індекс *радіогеоекологічної параметрично-процесної стійкості* ($I_{РГППС}$ у %) (див. модель (2.67)).

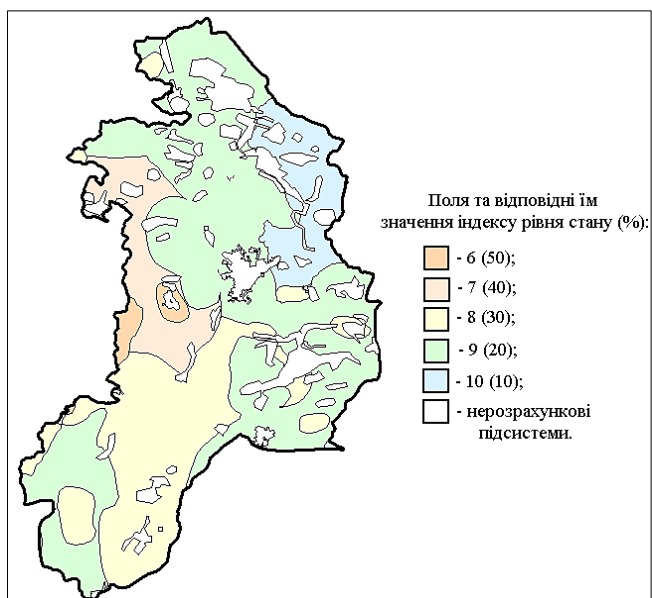


Рис.5.3 Приклад структури полів ландшафтно-гідрорадіоєкологічного районування (за р.4) в межах тестової Смолянсько-Замглайської *БТП* (6...10 – числові індикатори полів індексу рівня радіогеоекологічного стану; 10)...(50) – значення цих полів, у %; див. пояснення до (2.64)-(2.67))

Отримані відповідні результати, які подано на рис.5.4, свідчать, що рівень стану абсолютної більшості із тестових басейнових територіальних підсистем – п'яти БТП із шести – за ознаками їхньої радіогеоекологічної параметрично-процесної стійкості як за відповідною категорією, так і за відповідним класом (див. табл.2.6) є задовільним. Натомість для Сеймської БТП його слід ідентифікувати як вельми задовільний за категорією та добрий за класом рівень стану.

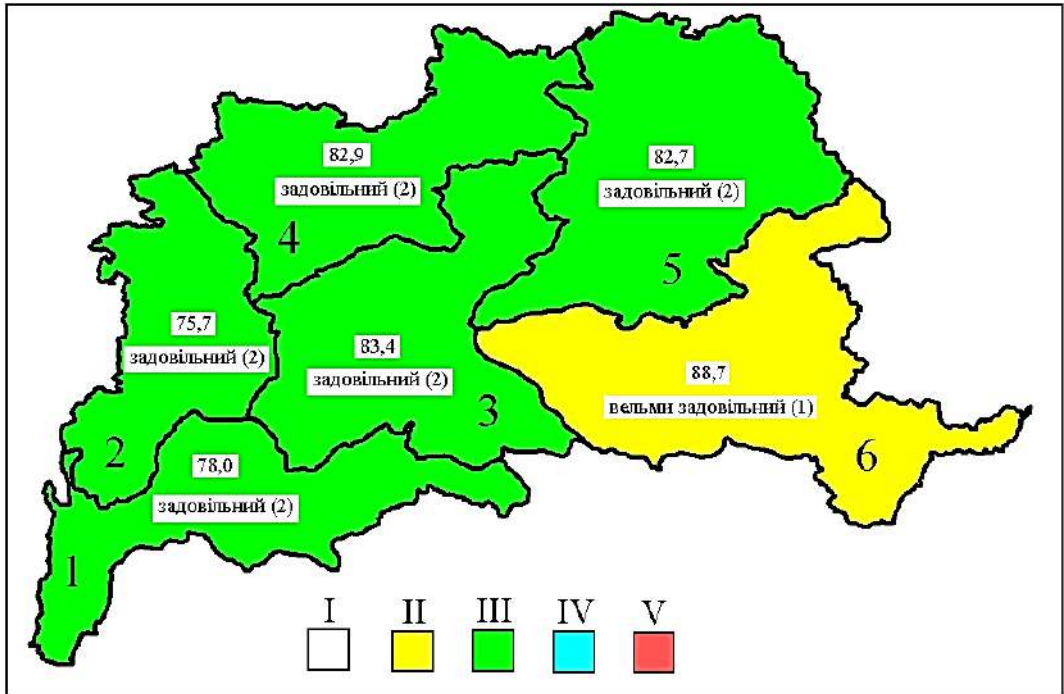


Рис.5.4 Рівень стану БТП БГ Десни за ознаками їхньої радіогеоекологічної параметрично-процесної стійкості (модель (2.67), табл.2.6) (1 – Деснянсько-Остерська БТП; 2 – Смолянсько-Замглайська БТП; 3 – Середньодеснянська БТП; 4 – Сновська БТП; 5 – Верхньодеснянська БТП; 6 – Сеймська БТП; 78,0...88,7 – значення індексів радіогеоекологічної ППС, $I_{PГПС}$, у %; задовільний (2) – рівень стану за категорією; кольором – рівень стану за класом: I – відмінний, II – добрий, III – задовільний, IV – незадовільний, V – поганий)

Тестування викладеної в п.2.3 схеми моделювання **ацидифікаційної параметрично-процесної стійкості** призвело до результатів, згідно з якими значення індексу цієї стійкості за (2.69) щодо геосистеми Десни в цілому становить $I_{ДППС} = 47,11\%$. Це ідентифікує її як басейнову геосистему, яка має середній ступінь ацидифікації водозбору згідно із змодельованою 4-тою категорією рівня стану. Це також адекватно задовільному рівню стану за класом відповідної категорійно-класифікаційної схеми (див. табл.2.8).

Для набору ж тестових басейнових територіальних підсистем басейнової геосистеми Десни простежуються істотні флуктуації індексу ацидифікаційної параметрично-процесної стійкості. Найнижче його значення в 34,2% приурочено до Смолянсько-Замглайської БТП, що ідентично 5-тій категорії рівня стану, тобто підвищеному ступеню ацидифікації водозбору. Найвище значення $I_{ДППС} = 61,5\%$ змодельовано для Верхньодеснянської БТП з маркуванням 3-тньої категорії рівня стану, а саме низького ступеня ацидифікації водозбору (див. табл.5.5).

Таблиця 5.5 – Результати тестової оцінки рівня стану БГ Десни та її БТП за ознаками їхньої ацидифікаційної параметрично-процесної стійкості (модель (2.69), табл.2.7-2.8)

Басейнові територіальні підсистеми	$I_{АППС}$ за (2.69), %	Ступінь ацидифікації водозбору (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
1.Деснянсько-Остерська	40,78	підвищений (5)	задовільний (III)
2.Смолянсько-Замглайська	34,16	підвищений (5)	задовільний (III)
3.Середньодеснянська	51,89	середній (4)	задовільний (III)
4.Сновська	50,80	середній (4)	задовільний (III)
5.Верхньодеснянська	61,46	низький (3)	добрий (II)
6.Сеймська	60,89	низький (3)	добрий (II)
<i>БГ в цілому</i>	47,11	середній (4)	задовільний (III)

Згідно з тестовою модельною оцінкою рівня стану басейнової геосистеми Десни в цілому за ознаками її **грунтово-самоочищувальної параметрично-процесної стійкості** (табл.5.6) ґрунти геосистеми мають середню здатність до самоочищення за категорією рівня стану. Це відповідає задовільному рівню стану за класом, позаяк басейновий індекс ґрунтово-самоочищувальної ППС $I_{ГСПС}$ становить 49,5% (див. моделі (2.70)-(2.72) і табл.2.9-2.10).

Таблиця 5.6 – Результати тестової оцінки рівня стану БГ Десни та її БТП за ознаками їхньої ґрунтово-самоочищувальної параметрично-процесної стійкості (модель (2.72), табл.2.9-2.10)

Басейнові територіальні підсистеми	$I_{ГСПС}$ за (2.72), %	Здатність ґрунтів до самоочищення (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
1.Деснянсько-Остерська	45,09	середня (3)	задовільний (III)
2.Смолянсько-Замглайська	53,12	середня (3)	задовільний (III)
3.Середньодеснянська	44,53	середня (3)	задовільний (III)
4.Сновська	56,35	середня (3)	задовільний (III)
5.Верхньодеснянська	58,48	висока (2)	добрий (II)
6.Сеймська	40,14	знижена (4)	задовільний (III)
<i>БГ в цілому</i>	49,51	середня (3)	задовільний (III)

Утім, якщо розглянути зміну значень зазначеного індексу ґрунтово-самоочищувальної стійкості за простором БГ, то можна умовно виокремити дві групи басейнових територіальних підсистем. Першу групу формують три північні підсистеми – Смолянсько-Замглайська, Сновська та Верхньодеснянська БТП (приклад на рис.5.5). Значення індексу $I_{ГСПС}$ цих підсистем перебувають в інтервалі від 53% до 59%, тобто фактично знаходяться на межі задовільного та доброго рівня стану за схемою табл.2.10.

До другої ж групи відносяться БТП, які розташовано в центрі і на півдні басейнової геосистеми Десни. Це Деснянсько-Остерська, Середньодеснянська і Сеймська БТП (приклад на рис.5.6).

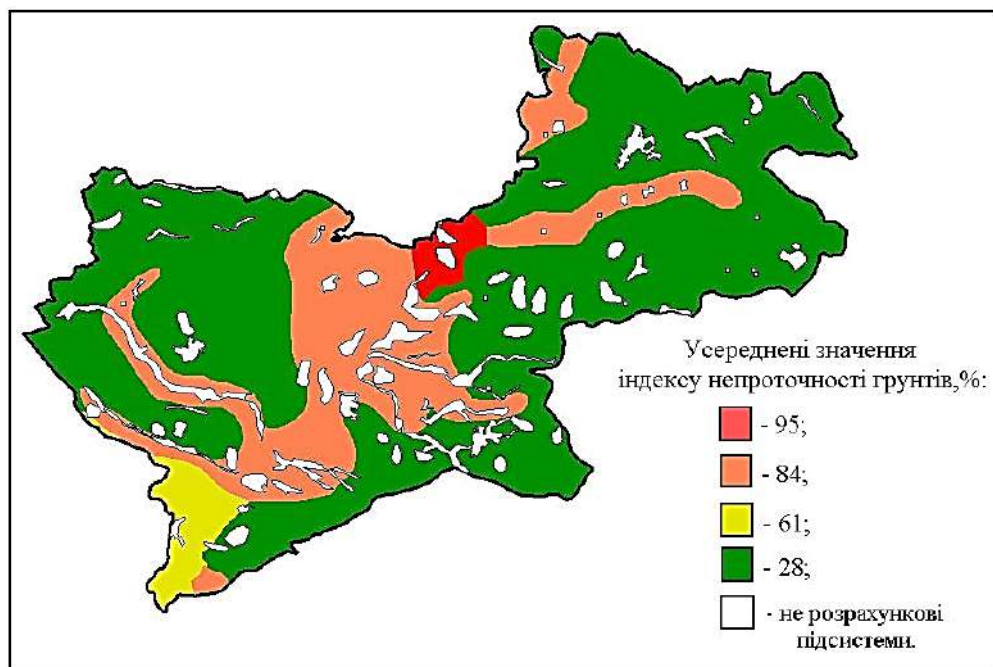


Рис.5.5 Приклад полів Сновської басейнової територіальної підсистеми з певним усередненим значенням індексу непроточності ґрунтів $I_{НПГВзj}$ за (2.72) і табл.2.9 (на основі [26])

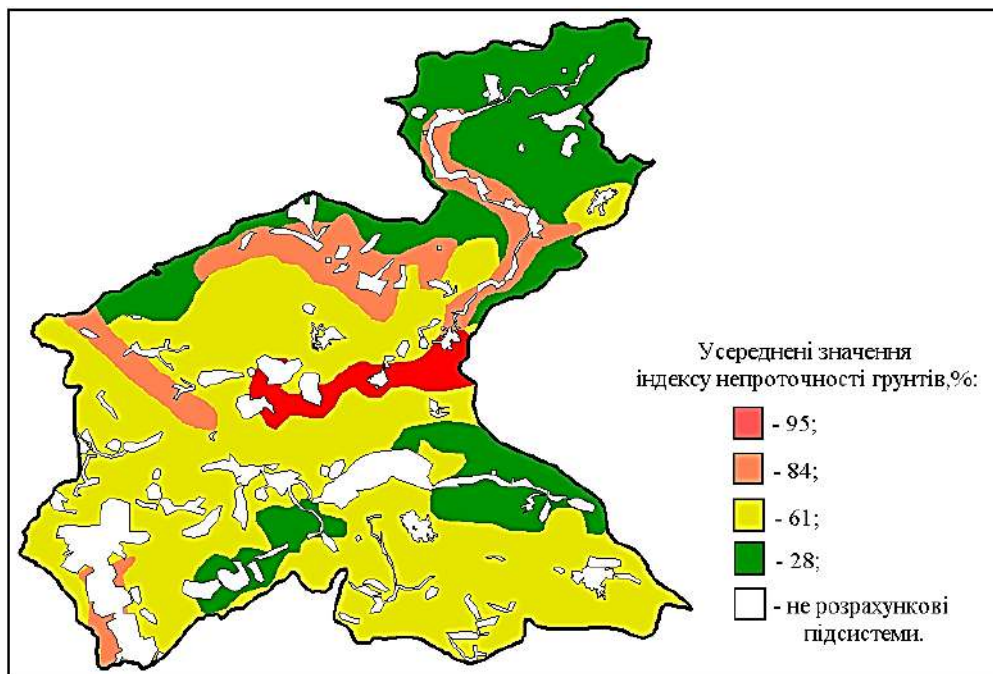


Рис.5.6 Приклад полів Середньодеснянської басейнової територіальної підсистеми з певним усередненим значенням індексу непроточності ґрунтів $I_{НПГВзj}$ за (2.72) і табл.2.9 (на основі [26])

Ґрунти Сеймської БТП мають знижену здатність до самоочищення за категорією рівня стану з $I_{ГСПС} = 40,1\%$. Натомість інші дві БТП цієї групи, з одного боку, характеризуються вищою категорією рівня стану – третьою, яка маркує середню здатність ґрунтів до самоочищення за табл.2.10). З іншого боку, ці підсистеми за значення їхніх індексів ґрунтово-самоочищувальної ППС є вельми близькими до нижньої межі зазначеної категорії.

Аналізуючи зумовленість таких результатів, варто зазначити, що між здатністю до самоочищення та типами ґрунтів, які превалюють у межах БГ Десни, існує певна залежність. Зокрема, в північній правобережній частині БГ Десни поширено дерново-підзолисті ґрунти (див. [55]). Вони мають вищу проточність, та, як наслідок, більшу здатність до самоочищення, ніж сірі лісові ґрунти та чорноземи типові й опідзолені, які домінують на півдні тестової геосистеми.

Параметрично-відновлювальна стійкість басейнової геосистеми (ПВС(БГ)) як другий підтип параметричної стійкості за (2.58) визначається за універсальними підходами для суходільних геосистем або аква-теральних геосистем водотоків, викладеними у п.2.3 (див., відповідно, моделі (2.73)-(2.74) і схему табл.2.11).

Перший вид **параметрично-інтегральної стійкості басейнової геосистеми (ПВС(БГ)) – водно-стокова ППС (ВСППС(БГ))** – є "модельно-індивідуальною" саме для такої геосистеми. Наразі можливим є моделювання її підвиду, а саме **загально-самоочищувальної водно-стокової параметрично-інтегральної стійкості (ЗВСППС(БГ))** з визначенням *однойменного* до такої стійкості *індексу* ($I_{ЗВСППС}$, у %) для "компактних" територіальних підсистем БГ (див. п.2.3), тобто БТП з $R_{КОМП}$, зважаючи на записи

$$\begin{aligned} \{ЗВСППС(БГ)\} &= \{ЗВСППС(БТП)\} = \\ &= \{БТП(\omega_{БТП} R_{БТП} t) \cap \{(НАГЕП(\omega_{НАГЕП} R_{НАГЕП} t) \cup АГЕП(R_{АГЕП} t)) \cap \\ &\quad \cap БМПП(\omega_{БМПП} R_{БМПП} t) \cap БЛП(\omega_{БЛП} R_{БЛП} t) \cap \\ &\quad \cap БФГП(\omega_{БФГП} R_{БФГП} t)\} = \{БТП(\omega_{КОМП} R_{КОМП} t)\} , \end{aligned} \quad (5.18)$$

$$I_{ЗВСППС} = f \{(W_{РВСМ} / W_{ЗАБРЄ})\} , \quad (5.19)$$

де $W_{РВСМ}$ – об'єм річного водного стоку головного водотоку "компактної" БТП БГ в маловодний рік; $W_{ЗАБРЄ}$ – об'єм річного надходження стічних вод у цей водоток у цілому, зважаючи і на загальний ступінь їхньої забрудненості або очищення (всі об'єми – у млн. м³).

Практично, для визначення $I_{ЗВСППС}$, фактичні значення співвідношення $(W_{РВСМ} / W_{ЗАБРЄ})$ порівнюються з їхніми l -тими критеріальними значеннями, які відповідають запису

$$\{(W_{РВСМ} / W_{ЗАБРЄ})_l\} = f \{\Delta(I_{АНТ,Т}^{**})\} , \quad (5.20)$$

де $\Delta(I_{АНТ,Т}^{**})$ – інтервали середньовиваженого індексу антропізації модельної БТП за формулою (1.7), які, з урахуванням табл.1.1, правлять за додаткові уточнювальні характеристики ступеня забрудненості вищезазначених стічних вод об'єму $W_{ЗАБРЄ}$.

Власне *категорійно-класифікаційна схема щодо загально-самоочищувальної водно-стокової ППС* оперує 6-ма категоріями рівня стану модельних "компактних" підсистем басейнових геосистем. Ці категорії, по-перше, визначають міру здатності до самоочищення стічних вод водним стоком власних головних водотоків геосистем – від вельми сильної до гранично слабкої. По-друге, категорії поєднано з вже обумовленими за змістом 5-ма класами рівня стану (табл.5.7).

Таблиця 5.7 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану "компактних" БТП басейнової геосистеми за ознаками їхньої загально-самоочищувальної водно-стокової параметрично-інтегральної стійкості (здатності до самоочищення стічних вод водним стоком)

Значення $I_{звстпс}$ моделі (5.19) для інтервалів $I_{АНТ,Т}^{**}$ моделі (1.7) (%):					Здатність до самоочищення (категорія)	Рівень стану за класом
$\leq 15,8$	(15,8-39,2]	(39,2-50,4]	(50,4-63,7]	$> 63,7$		
≥ 20	≥ 25	≥ 33	≥ 50	≥ 100	вельми сильна (1)	відмінний (I)
(20-10]	(25-13]	(33-17]	(50-25]	(100-50]	сильна (2)	добрий (II)
(10-7]	(13-9]	(17-11]	(25-17]	(50-33]	послаблена (3)	задовільний (III)
(7-2]	(9-3]	(11-4]	(17-5]	(33-10]	слабка (4)	незадовільний (IV)
(2-1]	(3-2]	(4-3]	(5-4]	(10-5]	вельми слабка (5)	
< 1	< 2	< 3	< 4	< 5	гранично слабка (6)	поганий (V)

Другий вид ППС, а саме **водно-якісна параметрично-інтегральна стійкість басейнової геосистеми (ВЯПІС(БГ))**, знову-таки є змістовим для її "компактних" басейнових територіальних підсистем, а отже

$$\begin{aligned}
 \{ВЯПІС(БГ)\} &= \{ВЯПІС(БТП)\} = \\
 &= \{БТП(\omega_{БТП}, R_{БТП}, t) \cap \{(НАГЕП(\omega_{НАГЕП}, R_{НАГЕП}, t) \cup АГЕП(R_{АГЕП}, t)) \cap \\
 &\quad \cap БМПП(\omega_{БМПП}, R_{БМПП}, t) \cap БЛП(\omega_{БЛП}, R_{БЛП}, t) \cap \\
 &\quad \cap БФГП(\omega_{БФГП}, R_{БФГП}, t)\} = \{БТП(\omega_{КОМП}, R_{КОМП}, t)\} . \quad (5.21)
 \end{aligned}$$

Цю стійкість можна модельно параметризувати на основі розвитку наших підходів, викладених у [45] і додатково протестованих у [55].

Для модельного оцінювання застосовується, по-перше, *категорійно-класифікаційна схема щодо водно-якісної ППС*. Схема оперує чотирма критеріальними блоками та рівнем стану "компактних" підсистем басейнової геосистеми за сімома категоріями та п'ятьма класами. Її у варіанті з мінімально-необхідним складом компонентів наведено в табл.5.8. При цьому розподіл значень модельних інде-

ксів між категоріями (див. далі) встановлюється за допомогою набору обмежених інтервалів, а саме для 1-ої категорії – (0-1,50), для 2-ої – [1,50-2,50), для 3-ої – [2,50-3,50) тощо (див. табл.5.8).

По-друге, для моделювання за табл.5.8 використовується, на основі базової моделі довірчої оцінки (5.22), *набір індексів рівня стану* басейнової геосистеми за ознаками її *ВЯПИС*. До цих індексів, які застосовуються для всіх варіантів моделювання рівня стану, належать:

- нижні, відповідні ймовірним найкращим категоріям рівня стану;
- середні, адекватні категоріям за вибіркоvim середнім;
- верхні, тотожні ймовірним найгіршим категоріям (див. моделі (5.23)-(5.25)).

Зазначена базова модель виглядає як

$$x(t)^* \cdot (1 + \Phi_{x,95\%} \cdot C_{v,x}^* / n_x^{0,5}) \leq m_x(t) \leq x(t)^* \cdot (1 + \Phi_{x,5\%} \cdot C_{v,x}^* / n_x^{0,5}) , \quad (5.22)$$

де $m_x(t)$ – функція дійсного середнього значення компонента якості води; $x(t)^*$ і $C_{v,x}^*$ – функція його вибіркового середнього значення та середній коефіцієнт варіації; $\Phi_{x,95\%}$ і $\Phi_{x,5\%}$ – квантили нижньої та верхньої межі довірчої ймовірності перевищення, які задаються за відповідними індивідуальними геостохастичними функціями (див. п.2.2) конкретного компонента; n_x – кількість вимірів компонента.

Розрізняють 3 *варіанти* власне *модельної оцінки рівня стану БГ*, а саме:

- а) *компонентну оцінку*, що застосовує компонентні індекси;
- б) *блокову оцінку*, що оперує індексами, середньовиваженими для блоків табл.5.8 за компонентними індексами цих блоків, з урахуванням числа вимірів;
- в) *інтегральну оцінку*, для якої розраховують індекси, середньовиважені для блоків табл.5.8, з огляду на число вимірів, кількість розрахункових компонентів і їхню усереднену варіабельність для зазначених блоків.

По-третє, модель *компонентної оцінки рівня стану* басейнової геосистеми використовує діапазони компонентного індексу I_x і має вигляд

$$I_{x,95\%} \{ [N_{c,x,95\%}] \} \leq I_x^* \{ [N_{c,x}^*] \} \leq I_{x,5\%} \{ [N_{c,x,5\%}] \}$$

або $I_x \equiv \{ I_x^* [N_c^*]; I_{x,95\%} - I_{x,5\%} [N_{c,95\%} - N_{c,5\%}] \} , \quad (5.23)$

де $I_{x,95\%}$, I_x^* та $I_{x,5\%}$ – назви нижнього (ймовірного найкращого, за лівою частиною (5.22)), середнього (за вибіркоvim середнім) та верхнього (можливого найгіршого за правою частиною (5.22)) компонентних індексів, адекватні $N_{c,95\%}$, N_c^* і $N_{c,5\%}$ – номерам категорій табл.5.8 як середнім значенням цих індексів.

Друга частина (5.23) є повним "компонентним" визначенням рівня стану. Тобто, наприклад, цей рівень певного об'єкта за компонентом "хлоридні іони" кваліфікуватиметься як $I_{Cl} \equiv \{ \text{задовільний } [4,00]; \text{ задовільний – посередній } [4,00-5,00] \}$ тощо.

По-четверте, модель *блокової оцінки рівня стану* басейнової геосистеми будується за діапазонами блокового індексу $I_{БЛ}$ і виглядає як

$$I_{БЛ,95\%}^{**} \{ [N_{c,БЛ,95\%}^{**}] \} \leq I_{БЛ}^{**} \{ [N_{c,БЛ}^{**}] \} \leq I_{БЛ,5\%}^{**} \{ [N_{c,БЛ,95\%}^{**}] \}$$

або $I_{БЛ} \equiv \{ I_{БЛ}^{**} [N_{c,БЛ}^{**}] \}$;

$$I_{БЛ,95\%}^{**} - I_{БЛ,5\%}^{**} [N_{c,БЛ,95\%}^{**} - N_{c,БЛ,5\%}^{**}]; n_{БЛ,НП}/n_{БЛ} \}, \quad (5.24)$$

де $I_{БЛ,95\%}^{**}$, $I_{БЛ}^{**}$ і $I_{БЛ,5\%}^{**}$ – відповідно, назви нижнього, середнього та верхнього блокових індексів, визначені для кожного блоку за його компонентними індексами-складниками вже як середньовиважені за значеннями цих індексів і числом вимірів кожного компонента (n_x), прийнятого при цьому в розрахунок. Такі назви адекватні $N_{c,БЛ,95\%}^{**}$, $N_{c,БЛ}^{**}$ і $N_{c,БЛ,5\%}^{**}$ – середньовиваженим щойно зазначеним способом числовим значенням цих індексів; $n_{БЛ,НП}/n_{БЛ}$ – відношення числа найгірших компонентних індексів у блоці, які маркують категорії незадовільного та поганого рівнів стану, до загального числа блокових модельних компонентів.

За таких засновків повне "блокове" визначення рівня стану певного модельного об'єкта може звучати, наприклад за *екотоксифікаційним блоком*, як $I_{ЕГ} \equiv \{ \text{посередній [4,66]; задовільний – посередній [4,48–4,93]; 7/12} \}$.

По-п'яте, *інтегральна оцінка рівня стану* "компактних" підсистем басейнової геосистеми оперує діапазонами інтегрального індексу I_{Σ} і використовує модель

$$I_{\Sigma,95\%}^{**} \{ \{ N_{c,\Sigma,95\%}^{**} \} \} \leq I_{\Sigma}^{**} \{ \{ N_{c,\Sigma}^{**} \} \} \leq I_{\Sigma,5\%}^{**} \{ \{ N_{c,\Sigma,95\%}^{**} \} \}$$

або $I_{\Sigma} \equiv \{ I_{\Sigma}^{**} [N_{c,\Sigma}^{**}; N_{c,\Sigma,95\%}^{**} - N_{c,\Sigma,5\%}^{**}];$

$$I_{\Sigma,БЛ,95\%} - I_{\Sigma,БЛ,5\%}; n_{\Sigma,НП}/n_{\Sigma} \}, \quad (5.25)$$

де $I_{\Sigma,95\%}^{**}$, I_{Σ}^{**} і $I_{\Sigma,5\%}^{**}$ – назви нижнього, середнього та верхнього інтегральних індексів, визначені для кожного об'єкта моделювання за його блоковими індексами-складниками як середньовиважени; $N_{c,\Sigma,95\%}^{**}$, $N_{c,\Sigma}^{**}$ і $N_{c,\Sigma,5\%}^{**}$ – власне числові значення індексів $I_{\Sigma,95\%}^{**}$, I_{Σ}^{**} і $I_{\Sigma,5\%}^{**}$, середньовиважені за виразом $(n_{x,\Sigma,БЛ} \cdot n_{БЛ}) / C_{v,БЛ}^{*2}$, де $n_{x,\Sigma,БЛ}$ – сумарне число вимірів всіх компонентів у блоці, $n_{БЛ}$ – кількість таких компонентів; $C_{v,БЛ}^{*}$ – середні коефіцієнти варіації усереднених розподілів компонентів кожного блоку ("блокових" геофункцій, [40]), які за табл.5.8 становлять для першого блоку 0,290, для другого – 0,325, для третього – 0,555 та для четвертого – 0,625; $I_{\Sigma,БЛ,95\%}$ і $I_{\Sigma,БЛ,5\%}$ – назви найкращого і найгіршого блокового індексу для об'єкта; $n_{\Sigma,НП}/n_{\Sigma}$ – відношення числа всіх найгірших компонентних індексів (6-та й 7-ма категорії за табл.5.8) до загальної їхньої використаної кількості.

Визначальними під час моделювання водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості є компонентні й блокові оцінки рівня стану саме "компактних" підсистем басейнової геосистеми. Загалом же специфіку застосування та шляхи удосконалення такого моделювання більш детально розглянуто в наших працях [45, 55] тощо.

Зокрема, слід зазначити, що під час інтегрального оцінювання рівня стану *БГ* за водно-якісною параметрично-інтегральною стійкістю доцільно враховувати гідрота геохімічні особливості регіону, на території якого власне й розташовано таку геосистему, що моделюється. Крім того, треба розуміти, що наведений у табл.5.8 набір компонентів є мінімально необхідним для адекватної модельної оцінки відповідно до критеріїв водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості. Для більш детального вивчення саме водно-якісного аспекту функціонування басейнових геосистем цей набір у подальшому потребує удосконалення. Воно має бути орієнтоване на сутність досліджуваних процесів та зважати на наявність вихідних зіставних даних моніторингових досліджень за відповідними компонентами якості води.

Таблиця 5.8 – Категорійно-класифікаційна схема для моделювання рівнів стану "компактних" БПП басейнової геосистеми за ознаками їхньої водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості

Рівень стану за класом	Відмінний (I)		Добрий (II)		Зловільний (III)		Незадовільний (IV)	Погааний (V)	Параметри геофункцій блоків і компонентів якості води		
	Відмінний (1)	Вельми добрий (2)	Добрий (3)	Зловільний (4)	Посередній (5)	Незадовільний (6)			$C_{\text{г.к}}$	$C_{\text{г.к}}^*$	$\Phi_{\text{г.к}}\%$
Рівень стану за категорією Компоненти якості води											
1. Сольово-компонентний блок (СК)	(0-1,50)	[1,50-2,50]	[2,50-3,50]	[3,50-4,50]	[4,50-5,50]	[5,50-6,50]		$\geq 6,50$	1,935	0,290	–
1.1. Сума іонів, мг/дм ³	≤ 500	(500-750)	(750-1000)	(1000-1250)	(1250-1500)	(1500-2000)		> 2000	0,863	0,141	-1,380
1.2. Хлоридні іони, мг/дм ³	≤ 20	(20-30)	(30-75)	(75-150)	(150-200)	(200-300)		> 300	5,992	0,644	-0,680
1.3. Сульфатні іони, мг/дм ³	≤ 50	(50-75)	(75-100)	(100-150)	(150-200)	(200-300)		> 300	2,200	0,323	-1,054
2. Трофо-сапробізаційний блок (ТС)	(0-1,50)	[1,50-2,50]	[2,50-3,50]	[3,50-4,50]	[4,50-5,50]	[5,50-6,50]		$\geq 6,50$	2,218	0,325	–
2.1. Завись, мг/дм ³	≤ 5	(5-10)	(10-20)	(20-30)	(30-50)	(50-100)		> 100	5,998	0,644	-0,680
2.2. Прозорість, м	$> 1,50$	[1,50-0,95]	[0,95-0,60]	[0,60-0,45]	[0,45-0,30]	[0,30-0,15]		$\leq 0,15$	2,340	0,339	-1,032
2.3.1 рН (1)	[7,0-6,8]	[6,8-6,6]	[6,6-6,4]	[6,4-6,2]	[6,2-6,0]	[6,0-5,8]		$\leq 5,8$	0,305	0,051	-1,539
2.3.2 рН (2)	(7,0-7,5)	(7,5-7,9)	(7,9-8,1)	(8,1-8,3)	(8,3-8,5)	(8,5-8,7)		$> 8,7$	0,305	0,051	-1,539
2.4. NH ₄ , мгN / дм ³	$\leq 0,10$	(0,10-0,20)	(0,20-0,30)	(0,30-0,50)	(0,50-1,00)	(1,00-1,50)		$> 1,50$	4,384	0,531	-0,789
2.5. NO ₂ , мгN / дм ³	$\leq 0,002$	(0,002-0,005)	(0,005-0,010)	(0,010-0,020)	(0,020-0,050)	(0,050-0,070)		$> 0,070$	5,955	0,641	-0,682
2.6. NO ₃ , мгN / дм ³	$\leq 0,20$	(0,20-0,30)	(0,30-0,50)	(0,50-0,70)	(0,70-1,00)	(1,00-2,00)		$> 2,00$	5,679	0,624	-0,697
2.7. PO ₄ , мгP / дм ³	$\leq 0,015$	(0,015-0,030)	(0,030-0,050)	(0,050-0,100)	(0,100-0,200)	(0,201-0,300)		$> 0,300$	4,959	0,575	-0,742
2.8. БСК ₅ , мгO ₂ /дм ³	$\leq 1,0$	(1,0-1,6)	(1,6-2,1)	(2,1-4,0)	(4,0-7,0)	(7,0-11,0)		$> 11,0$	5,540	0,615	-0,705
3. Екотоксифікаційний блок (ЕТ)	(0-1,50)	[1,50-2,50]	[2,50-3,50]	[3,50-4,50]	[4,50-5,50]	[5,50-6,50]		$\geq 6,50$	4,688	0,555	–
3.1. Нафтопродукти, мкг/дм ³	≤ 10	(10-25)	(25-50)	(50-100)	(100-200)	(200-300)		> 300	4,420	0,534	-0,786
3.2. Феноли легкі, мкг/дм ³	0	(0,1-0,5)	(0,5-1,0)	(1,0-2,0)	(2,0-3,0)	(3,0-5,0)		$> 5,0$	2,700	0,378	-0,970
3.3. СПАР, мкг/дм ³	0	(1-10)	(10-20)	(20-50)	(50-100)	(100-150)		> 150	4,267	0,522	-0,797
4. Радіоактивний блок (РН)	(0-1,50)	[1,50-2,50]	[2,50-3,50]	[3,50-4,50]	[4,50-5,50]	[5,50-6,50]		$\geq 6,50$	5,700	0,625	–
4.1. ⁹⁰ Sr, Бк/дм ³	$\leq 0,01$	(0,01-0,03)	(0,03-0,05)	(0,05-0,50)	(0,50-1,00)	(1,00-1,20)		$> 1,20$	5,679	0,624	-0,697
4.2. ¹³⁷ Cs, Бк/дм ³	$\leq 0,04$	(0,04-0,10)	(0,10-0,15)	(0,15-1,00)	(1,00-2,00)	(2,00-2,50)		$> 2,50$	5,726	0,627	-0,694
Інтегральна оцінка	(0-1,50)	[1,50-2,50]	[2,50-3,50]	[3,50-4,50]	[4,50-5,50]	[5,50-6,50]		$\geq 6,50$	–	–	–

Таблиця 5.9 – Вихідні результати тестової оцінки рівнів стану басейнової територіальної підсистеми за ознаками її водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості (на прикладі Деснянсько-Остерської БТП БГ Десни) (моделі (5.22)-(5.25), табл.5.8)

Параметри Компоненти якості води	x^*	n_x	$N_{c,x,95\%}^{**};$ $N_{c,БЛ,95\%}^{**};$ $N_{c,\Sigma,95\%}^{**}$	$N_{c,x}^{**};$ $N_{c,БЛ}^{**};$ $N_{c,\Sigma}^{**}$	$N_{c,x,5\%}^{**};$ $N_{c,БЛ,5\%}^{**};$ $N_{c,\Sigma,5\%}^{**}$
1.1.Сума іонів, мг/дм ³	393	28	1	1	1
1.2.Хлориди, мг/дм ³	20,1	28	1	2	2
1.3.Сульфати, мг/дм ³	41,4	28	1	1	1
Значення блокового індексу $I_{СК}$	-	84	1	1,33	1,33
2.1.Зависи, мг/дм ³	15,1	28	3	3	4
2.2.Прозорість, м	0,35	24	5	5	5
2.3.1.pH (1)	-	-	-	-	-
2.3.2.pH (2)	8,1	28	3	3	4
2.4.NH ₄ , мгN /дм ³	0,45	28	4	4	5
2.5.NO ₂ , мгN /дм ³	0,022	28	4	5	5
2.6.NO ₃ , мгN /дм ³	0,27	28	2	2	3
2.7.PO ₄ , мгP /дм ³	0,65	28	4	4	4
2.8.БСК ₅ , мгO ₂ /дм ³	2,14	28	3	4	4
Значення блокового індексу $I_{ТС}$	-	220	3,6	3,85	4,36
3.1.Нафтопродукти, мкг/дм ³	4,29	21	1	1	1
3.2.Феноли леткі, мкг/дм ³	0,62	21	3	3	3
3.3.СПАР, мкг/дм ³	10	21	2	2	3
Значення блокового індексу $I_{ЕТ}$	-	63	2	2	2,33
Значення інтегрального індексу I_{Σ}	-	367	3,18	3,42	3,86
рівень стану за категорією			добрий (3)	добрий (3)	задовільний (4)
рівень стану за класом			добрий (II)	добрий (II)	задовільний (IV)

Підводячи проміжний підсумок наведеним вище можливим підходам до моделювання параметризації оцінювань компонентів стійкості басейнової геосистеми та/або певних підсистем цієї геосистеми, треба зазначити ще таке.

По-перше, слід помірковано підходити до таких оцінювань під час переходу від моделювання стійкості окремих обраних підсистем БГ або їхнього набору до моделювання стійкості БГ у цілому. При цьому слушно орієнтуватись, передусім, на сутність і специфіку визначених типів і видів стійкості, зокрема з огляду на можливість чи неможливість і зміст розрахунку індексів стійкості, інтегральних для БГ загалом, на основі виваження таких індексів для її підсистем-складників тощо.

По-друге, за умов аналізу результатів моделювання різновидів стійкості певних басейнових підсистем доцільно зважати на метасистемну сполучність таких результатів. Тобто треба враховувати ситуацію, коли, наприклад, високу здатність до самоочищення від забрудників підсистем БГ, оцінену через їхній відповідно висо-

кий індекс водно-стокової параметрично-інтегральної стійкості, може бути зумовлено не стільки параметрами водного стоку тощо зазначених підсистем, скільки істотною непроточністю ґрунтів їхнього водозбору, а отже низькими значеннями індексу ґрунтово-самоочищувальної параметрично-процесної стійкості.

У контексті тестового моделювання **водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості (ВЯПИС)** на прикладі вже розглянутих шести басейнових територіальних підсистем *БГ Десни* (див. рис.5.1) насамперед варто зазначити таке. Ураховуючи репрезентативність вихідної інформації, тестову модельну оцінку *ВЯПИС* було проведено у [55] за трьома блоками, відповідно до схеми табл.5.8, а саме за сольово-компонентним (*СК*), трофо-сапробізаційним (*ТС*) і екотоксифікаційним (*ЕТ*) блоками, а також за інтегральним показником рівня стану (I_{Σ}). Приклади отриманих таким чином результатів подано у вихідній і формалізованій табличній (табл.5.9-5.10), картографічній (рис.5.7) і графічній (рис.5.8) формах.

Таблиця 5.10 – Формалізовані результати оцінки рівнів стану басейнових територіальних підсистем за ознаками їхньої водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості (на прикладі *БТП БГ Десни*, моделі (5.22)-(5.25), табл.5.8) (індекси блоків: $I_{СК}$ – сольово-компонентного, $I_{ТС}$ – трофо-сапробізаційного, $I_{ЕТ}$ – екотоксифікаційного; I_{Σ} – інтегральний індекс)

Варіант оцінки	Результати оцінки (рівень стану за категорією)
Деснянсько-Остерська БТП	
Блокова за $I_{СК}$	{відмінний [1,33]; відмінний – відмінний [1,00–1,33]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{задовільний [3,85]; задовільний – задовільний [3,60–4,36]; 0/8}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{вельми добрий [2,00]; вельми добрий – вельми добрий [2,00–2,33]; 0/3}
Інтегральна за I_{Σ}	{добрий [3,42]; добрий – задовільний [3,18–3,86]; 0/14}
Смолянсько-Замглайська БТП	
Блокова за $I_{СК}$	{відмінний [1,00]; відмінний – відмінний [1,00–1,00]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{задовільний [3,66]; задовільний – задовільний [3,66–3,80]; 0/8}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{вельми добрий [2,02]; вельми добрий – вельми добрий [2,02–2,34]; 0/3}
Інтегральна за I_{Σ}	{добрий [3,18]; добрий – добрий [3,18–3,32]; 0/14}
Середньодеснянська БТП	
Блокова за $I_{СК}$	{відмінний [1,00]; відмінний – відмінний [1,00–1,00]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{добрий [2,99]; добрий – задовільний [3,13–3,53]; 0/8}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{відмінний [1,33]; відмінний – відмінний [1,33–1,33]; 0/3}
Інтегральна за I_{Σ}	{добрий [2,96]; добрий – добрий [2,83–3,33]; 0/14}
Сновська БТП	
Блокова за $I_{СК}$	{відмінний [1,00]; відмінний – відмінний [1,00–1,00]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{добрий [2,90]; добрий – задовільний [2,90–3,60]; 1/8}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{добрий [3,00]; добрий – добрий [3,00–3,00]; 0/3}
Інтегральна за I_{Σ}	{добрий [2,66]; добрий – добрий [2,66–3,23]; 1/14}

Варіант оцінки	Результати оцінки (рівень стану за категорією)
Верхньодеснянська БТП	
Блокова за $I_{СК}$	{відмінний [1,00]; відмінний – відмінний [1,00–1,00]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{добрий [3,41]; добрий – задовільний [3,41–3,81]; 1/8}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{добрий [2,68]; добрий – добрий [2,68–3,40]; 0/3}
Інтегральна за I_{Σ}	{добрий [3,05]; добрий – добрий [3,05–3,41]; 1/14}
Сеймська БТП	
Блокова за $I_{СК}$	{відмінний [1,33]; відмінний – відмінний [1,00–1,33]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{задовільний [4,00]; задовільний – задовільний [3,75–4,00]; 1/8}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{відмінний [1,33]; відмінний – відмінний [1,33–1,33]; 0/3}
Інтегральна за I_{Σ}	{добрий [3,24]; добрий – добрий [3,24–3,46]; 1/14}

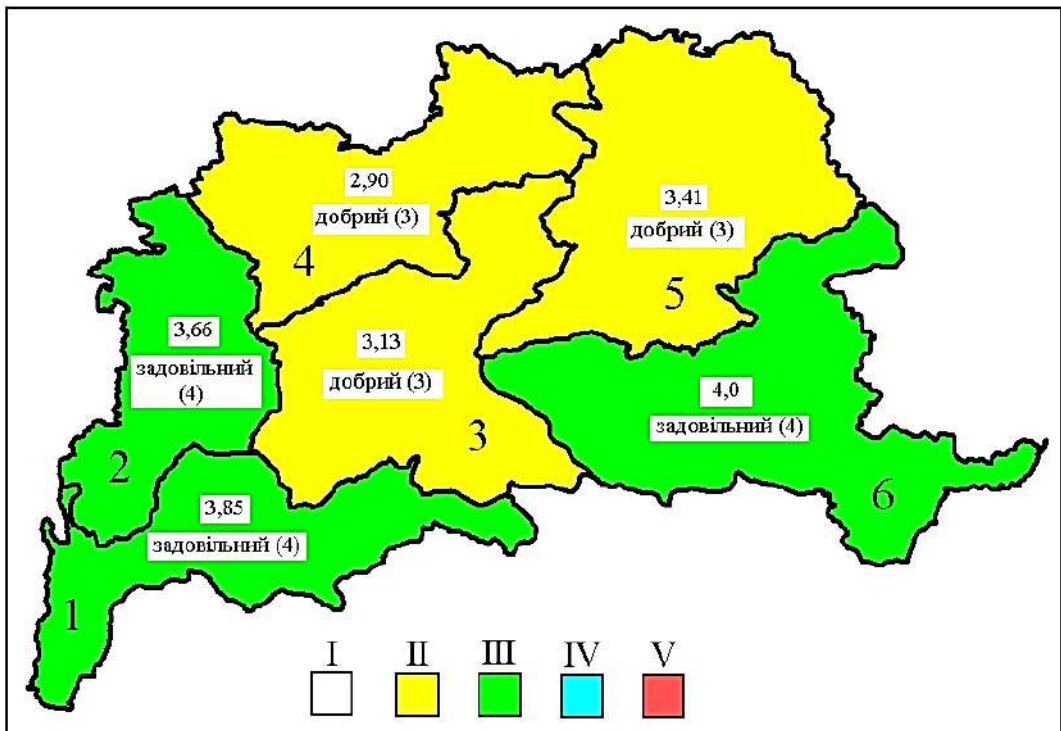


Рис.5.7 Рівень стану БТП БГ Десни за ознаками їхньої водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості (усереднена оцінка за трофо-сапробізаційним блоком, модель (5.24); табл.5.8-5.10) (1 – Деснянсько-Остерська БТП; 2 – Смолянсько-Замглайська БТП; 3 – Середньодеснянська БТП; 4 – Сновська БТП; 5 – Верхньодеснянська БТП; 6 – Сеймська БТП; 2,9...4,0 – значення середніх блокових індексів $I_{ТС}$; задовільний (4) ... добрий (3) – рівень стану за категорією; кольором – рівень стану за класом: I – відмінний, II – добрий, III – задовільний, IV – незадовільний, V – поганий)



Фото.6.3 Гирло Десни – головного водотоку тестової басейнової геосистеми

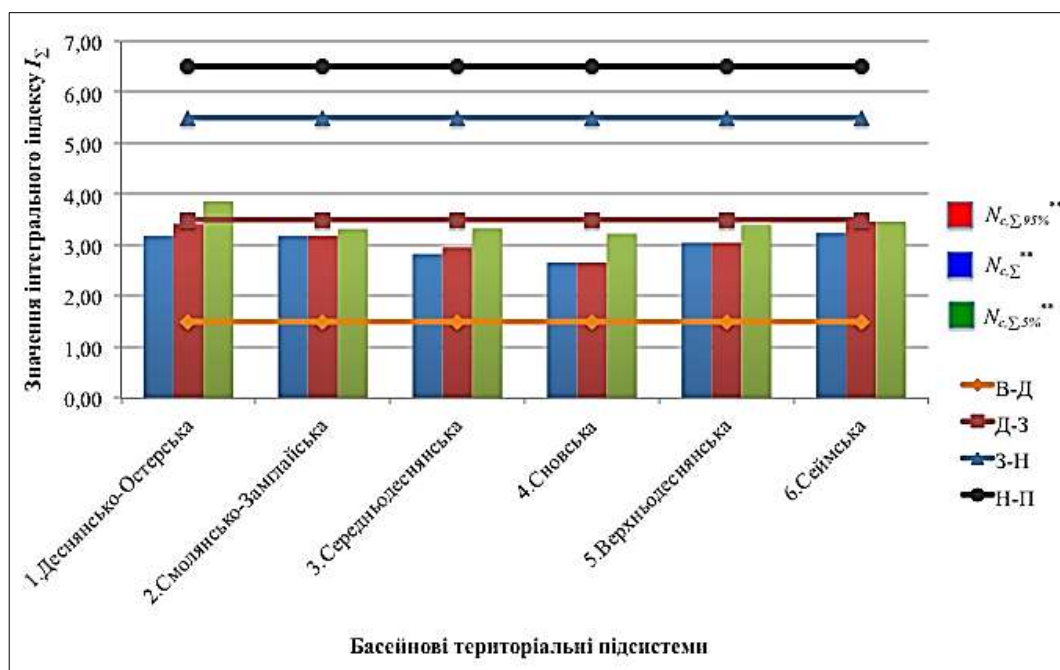


Рис.5.8 Значення нижнього, середнього та верхнього індексу рівня стану БТП БГ Десни за ознаками їхньої водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості (інтегральна оцінка) ($N_{c,Σ,95\%}^{**}$, $N_{c,Σ}^{**}$ і $N_{c,Σ,5\%}^{**}$ за (5.25); горизонтальні лінії розмежовують знизу догори рівень стану за класом за табл.5.8: В-Д – відмінний і добрий; Д-3 – добрий і задовільний; 3-Н – задовільний і незадовільний; Н-П – незадовільний і поганий)

Наведені вище результати тестового моделювання водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості шести басейнових територіальних підсистем БГ Десни засвідчили таке.

Інтегральний варіант тестового моделювання за діапазонами інтегрального індексу I_{Σ} моделі (5.25) (див. табл.5.10 і рис.5.8) дозволяє стверджувати, що відповідний рівень стану всіх шести БТП за нижніми (ймовірними найкращими) та середніми значеннями зазначеного індексу можна ідентифікувати як добрий, адекватний 3-ій категорії та II-му класу за категорійно-класифікаційною схемою табл.5.8. При цьому, наприклад, середні значення інтегральних індексів I_{Σ} дещо різняться. Зокрема, значення індексу I_{Σ} для Сновської БТП становить 2,66 і є близьким до нижньої межі відповідної категорії. Натомість значення I_{Σ} для Сеймської та Деснянсько-Остерської БТП, а саме 3,24 та 3,42, наближаються до верхньої межі категорії доброго рівня стану. А от щодо верхніх (можливих найгірших) значень інтегрального індексу I_{Σ} ситуація є дещо іншою. П'ять з шести БТП, без Деснянсько-Остерської, знаходяться на верхній межі доброго рівня стану за категорією та класом, тобто є близькими до задовільного такого рівня. А от Деснянсько-Остерська БТП безпосередньо відповідає зазначеному останнім рівню, що зумовлює значну ймовірність погіршення стану цієї підсистеми та нагальну необхідність обґрунтування для неї оперативних природоохоронних заходів.

Для конкретизації аналізу отриманих щодо ВЯПИС верифікаційних результатів було також розглянуто коливання значень відповідно змодельованих блокових індексів моделі (5.24) (див. табл.5.10). Такий "блоковий" аналіз дав змогу виявити низку тенденцій.

По-перше, для всіх шести БТП БГ Десни нижні, середні й верхні значення індексу $I_{СК}$ за сольово-компонентним блоком не перевищували 1,5. А отже за цим блоком басейнові територіальні підсистеми геосистеми Десни мають відмінний за категорією та класом рівень їхнього стану згідно з табл.5.8.

По-друге, всі отримані під час моделювання нижні, середні й верхні значення індексу $I_{ТС}$ за трофо-сапробізаційним блоком щодо Деснянсько-Остерської, Смолянсько-Замглайської та Сеймської БТП однозначно ідентифікують рівень стану цих підсистем як задовільний, відповідний 4-тій категорії та III-му класу рівня стану за табл.5.8. Решту ж підсистем – Середньодеснянську, Сновську та Верхньодеснянську – за нижніми та середніми значеннями індексу $I_{ТС}$ віднесено до доброго рівня стану згідно з отриманою для них 3-ю категорією та II-м класом за табл.5.8. Утім за верхніми (можливими найгіршими) значеннями такого індексу ці басейнові територіальні підсистеми кваліфікуються вже як ті, які мають задовільний рівень стану. А отже результати тестового моделювання параметрів трофо-сапробізаційного блока свідчать, що всі шість заданих БТП є обов'язковими об'єктами вивчення з природоохоронних позицій.

По-третє, найбільша "строкатість" значень щодо БТП БГ Десни стосується індексу $I_{ЕТ}$, який характеризує рівень стану басейнових підсистем за екотоксифікаційним блоком схеми табл.5.8. Зокрема, для Середньодеснянської та Сеймської БТП його нижні, середні й верхні значення становлять 1,33, маркуючи відмінний рівень стану за категорією й класом. Для Деснянсько-Остерської та Смолянсько-Замглайської БТП значення $I_{ЕТ}$ не перевищують 2,34, що дозволяє ідентифікувати стан підсистем як вельми добрий за 2-гою категорією. Для решти підсистем – Сновської та Верхньодеснянської – всі значення $I_{ЕТ}$ за моделлю (5.24) знаходяться в межах доброго рівня стану за його 3-ю категорією.

Наведені параметризовані тестові оцінки достатньо наочно ілюструють можливість прикладного застосування запропонованих моделей і алгоритмів визначення рівня стану елементів басейнових геосистем за критеріями їхньої водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості. При цьому, а проте, слід зважати, що ефективність зазначених моделей і алгоритмів залежить, насамперед, від повноти й достовірності вихідного інформаційного, зокрема геоінформаційного, базису моделювання. Тому його розширення та змістова систематизація, передусім в аспекті вирізнення саме "компактних" басейнових підсистем, є основними засобами подальшого підвищення репрезентативності й прикладної значущості результатів моделювання.

5.2 Моделювання малих урболандшафтних басейнових геосистем

Цей підрозділ присвячено моделюванню одного з різновидів малої басейнової геосистеми – *малої урболандшафтної басейнової геосистеми (МУБГ, {БГ} ≡ {МУБГ})*. За неї править геосистема басейнової ЛТС з площею водозбору менше 2 тис.км², позиційно та структурно-функціонально приурочена до найбільшого за порядком урбанізованого ландшафту – ландшафтно-урбанізаційної системи (ЛУС за [13-16], приклад на рис.5.9 і фото.5.4). Моделювання малої урболандшафтної басейнової геосистеми відзначається як спільними із середньою й великою басейновою геосистемою підходами, що стосується більшості випадків, так і окремими специфічними способами структурно-функціональної та модельно-параметричної формалізації.

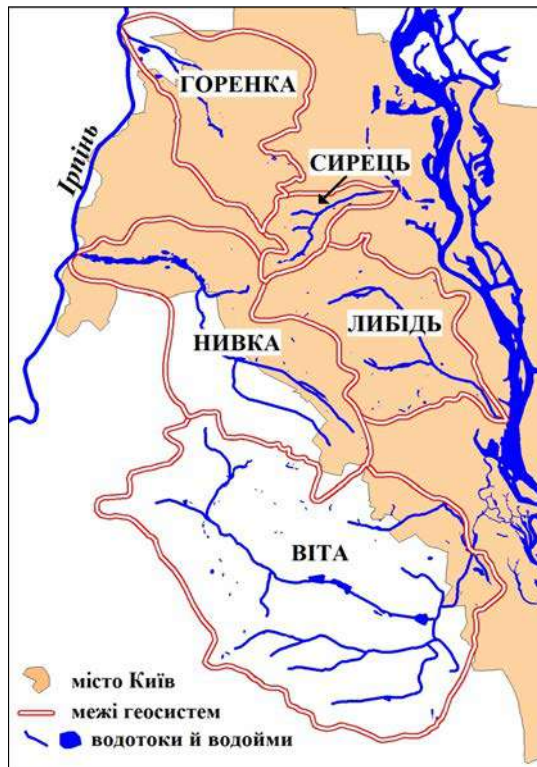


Рис.5.9 Тестові малі урболандшафтні басейнові геосистеми (МУБГ) річок Києва, досліджені в нашій праці [45]

Так, *(квазі)природна підсистема* обраної для моделювання *малої урболандшафтної басейнової геосистеми* поділяється на *другопорядкові підсистеми* згідно із ідентичним до (5.2) записом

$$\{КПГЕП\}_{МУБГ} \in \{БМПП \cap БТП \cap БЛП \cap БІН\}, \quad (5.26)$$

де *БМПП*, *БТП*, *БЛП*, *БФГП* і *БІН* – відповідно, вже розглянуті в загальних рисах басейнові морфологічно-позиційні, зазвичай вододільно-рівнинні, схилів та

заплавні (приклад на рис.5.10), територіальні, ландшафтні (урболандшафтні) та інші підсистеми, зосібна і, за потреби, фізико-географічні.



Фото.5.4 МУБГ річок Кисва та Перта (Шотландія)

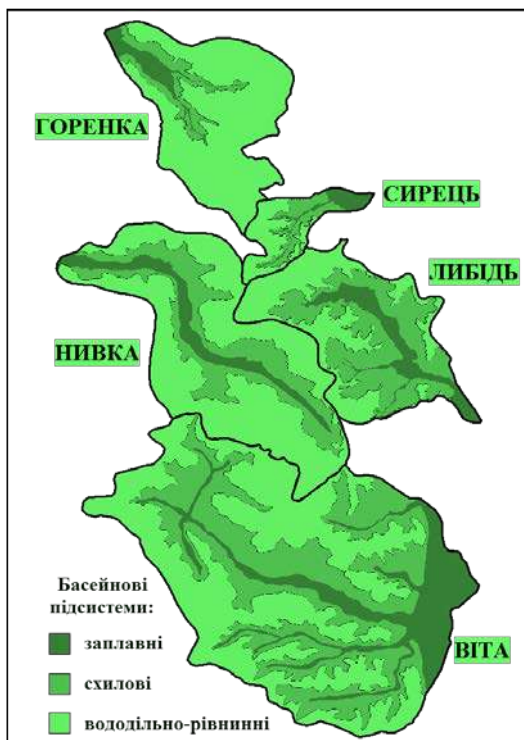


Рис.5.10 Басейнові морфологічно-позиційні підсистеми на прикладі тестових МУБГ Кисва

Натурально-антропогенна та антропогенна підсистеми МУБГ формалізуються, з одного боку, "стандартно". Це стосується геосистем натуральних і штучних водотоків МУБГ (див. табл.1.3), а також підсистеми її каркасних меж (див. моделі (1.9)-(1.10)). Натомість натурально-антропогенні та антропогенні геосистеми суходільного складника малої урболандшафтної геосистеми формалізуються згідно з нашою працею [45] тощо за специфічною моделлю

$$\{НАГЕП, АГЕП\}_{МУБГ} \in \{УФП \cap ЛАП \cap УП \cap ІНАА\}, \quad (5.27)$$

яка містить:

– **урбофункціональні підсистеми (УФП)** як складники урбофункціональної структури в межах МУБГ – тобто геосистеми житлової, промислової, лісопаркової та інших підсистем. Вони тотожні певній домінуючій, зокрема й інтегрованій, функціональній ознаці – головному виду "урбанізаційного" землекористування та/або його наслідків (аналог СЗК/НЗ у табл.1.2). Шкалу міри антропоізації (рівня натуральності) таких натурально-антропогенних і антропогенних геосистем наведено в табл.5.11 (приклад – на рис.5.11). Геосистеми перших трьох типів підсистем цієї таблиці розглядаються як натурально-антропогенні та геопозитивні, інші сім – як антропогенні та геонегативні без більш детального їхнього поділу на натуральні, майже натуральні тощо (див. табл.1.1).

Таблиця 5.11 – Шкала міри антропоізації (рівня натуральності) суходільних натурально-антропогенних і антропогенних геосистем урбофункціональних підсистем (УФП) МУБГ ($I_{АНТ,Т,Р,i}$ – розрахункові часткові індекси антропоізації геосистем, %, за (1.7))

Коди, назви й символи натурально-антропогенних і антропогенних геосистем УФП МУБГ	Інтервальні та усереднені значення $I_{АНТ,Т,Р,i}$ %
1) природоохоронна	(0-10]; 5
2) лісопаркова	(10-20]; 15
3) парково-скверова	(20-30]; 25
4) агропромислова	(30-40]; 35
5) культурно-освітня	(40-50]; 45
6) громадсько-адміністративна	(50-60]; 55
7) житлова	(60-70]; 65
8) транспортна	(70-80]; 75
9) складська	(80-90]; 85
10) промислова	(90-100]; 95

– **ландшафтно-архітектурні підсистеми (ЛАП)**, які відображають приуроченість території МУБГ до одиниць ландшафтно-архітектурної структури (за [13-16]) певного ієрархічного рівня, тобто ландшафтно-архітектурних елементів, груп, масивів, комплексів, систем, і визначеного типу згідно з генетико-морфологічною та типово-забудовною ознаками. Під час вибору "моделльних" одиниць ЛАП слід зв'язати на площу МУБГ, що стосується і урболандшафтних підсистем;

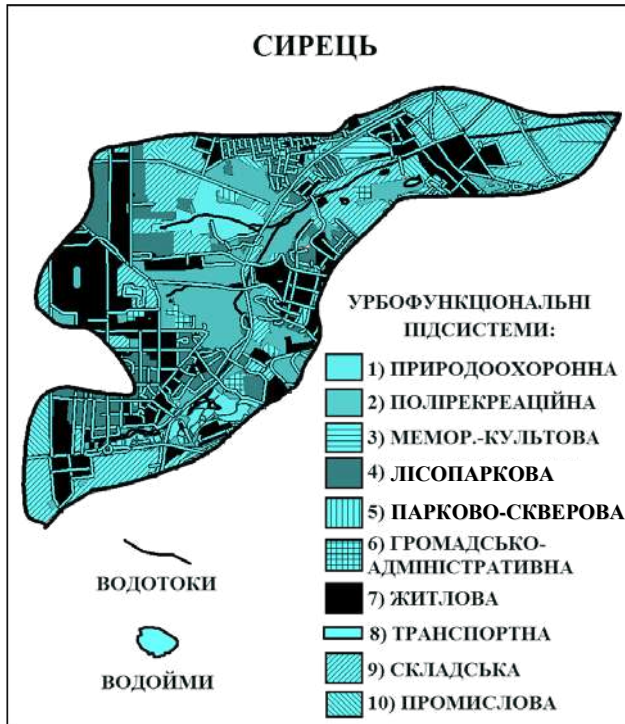


Рис.5.11 – Геосистеми урбофункціональних підсистем (на прикладі МУБГ Сирець)

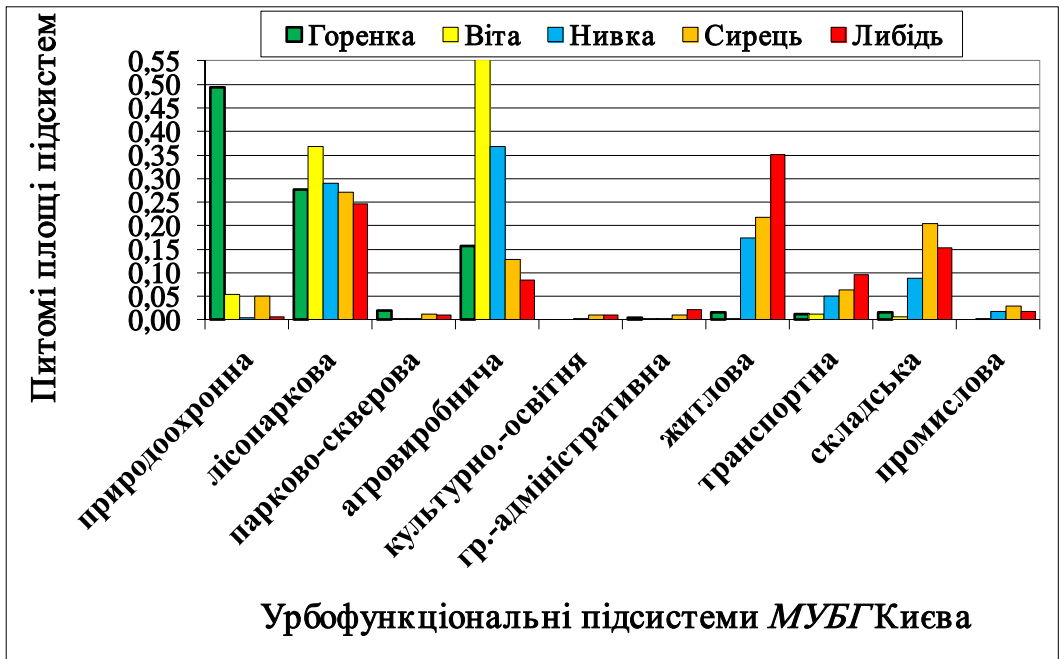


Рис.5.12 Зведений розподіл питомих площ геосистем урбофункціональних підсистем (у частках одиниці) на прикладі тестових МУБГ річок Києва

– **урбоінтегративні підсистеми (УІП)**, які відповідають поєднанню території *МУБГ* з певними загальнофункціональними мезопідсистемами *ЛУС* відповідного рангу, тобто (за [13-16]) з урбанізаційним ядром або іншими підсистемами, зважаючи на можливість узгодження масштабів такого зіставлення;

– **інші**, необхідні для певних задач моделювання натурально-антропогенні та антропогенні **підсистеми (ІНАА)**, а також їхні задані комплекси.

Крім того, з одного боку, через "оригінальність" шкали міри антропізації суходільних натурально-антропогенних і антропогенних геосистем урбофункціональних підсистем *МУБГ* (див. табл.5.11), відмінною від універсальної шкали табл.2.3 наслідково є й **категорійно-класифікаційна схема рівнів стану суходільних складників малої урболандшафтної басейнової геосистеми за ознаками її фазово-антропоізаційної стійкості**. Її наведено в табл.5.12.

Таблиця 5.12 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану суходільних складників *МУБГ* за ознаками їхньої фазово-антропоізаційної стійкості (здатності до саморегуляції)

Значення $I_{ФАСТ}$ за моделю (2.55), %	Здатність до саморегуляції (категорія рівня стану)	Рівень стану за класом
≥ 90	вельми сильна (1)	відмінний (I)
(90...80]	сильна (2)	добрий (II)
(80...70]	середня (3)	задовільний (III)
(70...60]	послаблена (4)	
(60...50]	слабка (5)	незадовільний (IV)
(50...30]	вельми слабка (6)	
< 30	гранично слабка (7)	поганий (V)

З іншого боку, моделювання *МУБГ* вирізняється й ідентифікацією специфічної для цієї геосистеми **загальнофункціональної фазово-етологічної стійкості (ЗФЕС(*МУБГ*))** (див. п.2.3).

Така стійкість, по-перше, може чисельно оцінюватися згідно з розподілом території *МУБГ* за її наявними урбоінтегративними підсистемами, приуроченими до урбанізаційного ядра і інших мезопідсистем *ЛУС* потрібного рангу.

По-друге, ця стійкість відобразатиме узагальнені умови структурно-функціональної трансформації та розвитку малої урболандшафтної басейнової геосистеми. При цьому, зважаючи на площі *МУБГ* та вимогу узгодження масштабів моделювання, найбільш коректним у першому наближенні буде зіставлення розмірів територій цих геосистем у межах урбанізаційного ядра та поза ним: чим більші перші – тим менша загальнофункціональна фазово-етологічна стійкість (приклад на рис.5.13). Утім, моделювання такого різновиду стійкості потребує удосконалення не тільки в критеріальному аспекті, а й з огляду на необхідність врахування в методично-прикладних рішеннях сучасних тенденцій розвитку великих міських агломерацій ([40]).



Рис.5.13 Міра належності території МУБГ до урбанізаційного ядра міста (на прикладі тестових МУБГ річок Києва) (10,1...100,0 – відсоток території в межах ядра)

Підходи до модельного оцінювання інших складників рівня стану МУБГ збігаються з такими підходами для середніх і великих басейнових геосистем (див. п.5.1). Вибіркові приклади такого тестового оцінювання наводяться далі для вже згаданих п'яти тестових МУБГ річок Києва, досліджених в [45].

Зокрема, модельне оцінювання *фазово-антропоізаційної стійкості* на прикладі суходільних складників зазначених МУБГ, наведене на рис.5.14-5.15, засвідчило, що найвищою "залишковою" здатністю до саморегуляції володіють басейнові геосистеми Горенки та Віти, а найнижчою – Нивки, та, особливо, Сирцю та Либіді.

При цьому, по-перше, добрий рівень стану за класом загалом стосується лише МУБГ Горенки. Натомість вже геосистема Віти характеризується середньою, досить близькою до послабленої, здатністю до саморегуляції, тобто задовільним рівнем стану. Це відносить її до об'єктів необхідного планування природоохоронних заходів.

По-друге, "беззаперечними" об'єктами останнього є геосистеми Нивки, Сирцю та Либіді. Причём, якщо перша з них за індексом фазово-антропоізаційної стійкості $I_{\text{фас,т}} = 58,1\%$ "тяжіє" скоріш до нижньої межі задовільного рівня стану (60%), то друга та третя відзначаються зазначеними індексами, адекватними середині інтервалу їхніх значень, які маркують незадовільний стан геосистем (див. табл.5.12).



Рис.5.14 Рівень стану тестових МУБГ річок Кисва за ознаками їхньої фазово-антропоізаційної стійкості (модель (2.55), табл.5.12) (50,6...83,7 – значення індексів фазово-антропоізаційної стійкості $I_{фас.т}$, у %; кольором – класи рівня стану: I – відмінний, II – добрий, III – задовільний, IV – незадовільний, V – поганий)

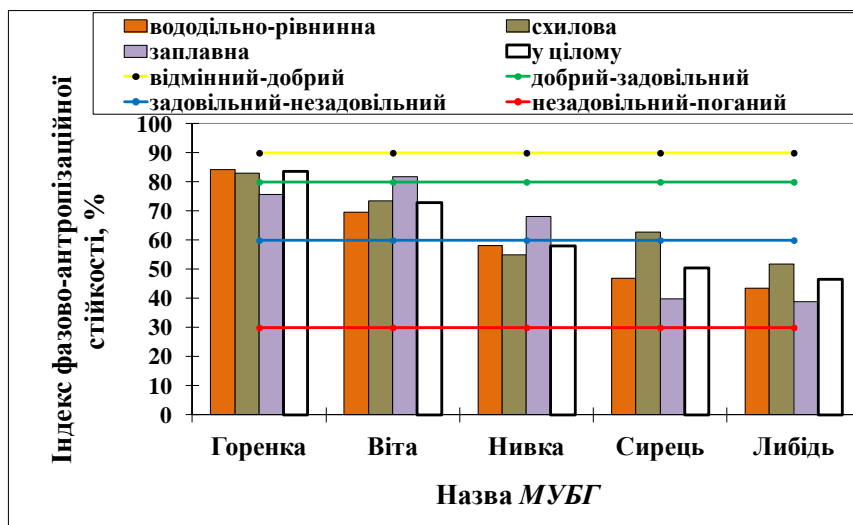


Рис.5.15 Значення індексів фазово-антропоізаційної стійкості (модель (2.55)) басейнових морфологічно-позиційних підсистем (вододільно-рівнинної, схилової та заплавної) і геосистем у цілому (на прикладі тестових МУБГ Кисва) (лінії розмежовують класи рівня стану за табл.5.12)

Тестування наведених у п.5.1 підходів до моделювання першого підвиду **фазово-етологічної стійкості – гідромережної стійкості (ГФЕС)** було проведено на прикладі забезпечених відповідними даними чотирьох МУБГ річок Києва. Його результати, наведені для території геосистем у цілому в табл.5.13, засвідчили таке. МУБГ Либіді та Віти характеризуються помірною етологічною трансформацією їхньої гідромережі, Нивки – теж помірною, але вельми близькою до середньої, а Сирцю – сильною.

Таблиця 5.13 – Загальні результати модельної оцінки рівня стану тестових геосистем за ознаками їхньої гідромережної фазово-етологічної стійкості (за моделлю (5.11), табл.5.1 і вихідними даними за [45])

МУБГ річки	Об'єм водоїм $W_{ЗШВ}$, млн. м ³	Об'єм середнього річного стоку $W_{СБРС}$, млн. м ³	Індекс стійкості $I_{ГФЕС}$, %	Етологічна трансформація гідромережі (категорія рівня стану)
Віта	1,442	18,3	7,9	помірна (2)
Нивка	1,274	5,40	23,6	помірна (2)
Сирець	0,900	1,39	64,8	сильна (4)
Либідь	0,282	3,76	7,5	помірна (2)

Результати моделювання одного з підвидів вже параметричної стійкості – **параметрично-відновлювальної стійкості** – на прикладі суходільних складників обраних тестових МУБГ наведені на рис.5.16-5.17. Вони засвідчують надзвичайно несприятливу геоекологічну ситуацію в землекористуванні згідно з табл.2.11 в заплавах підсистемах МУБГ Сирцю й Либіді, як і загалом в межах цих геосистем, що адекватно поганому рівню їхнього стану. Така ж ситуація притаманна геосистемі Нивки, втім у заплаві останньої вона дещо інша – несприятлива, що маркує незадовільний рівень стану. Геоекологічна ситуація в заплаві підсистемі геосистемі Віти сприятлива, визначаючи задовільний рівень стану завдяки високим питомим площам природоохоронної та лісопаркової урбофункціональних підсистем у заплаві. Натомість загалом в цій геосистемі геоситуація є несприятливою.

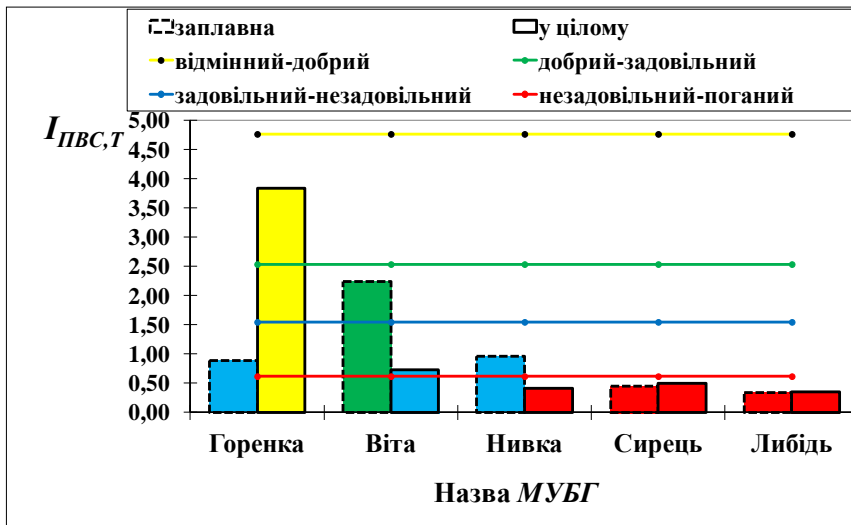


Рис.5.16 Значення індексів параметрично-відновлювальної стійкості ($I_{ПВС,Т}$ за моделлю (2.73)) заплавної підсистем геосистем і геосистем у цілому (на прикладі тестових МУБГ Києва) (лінії розмежують класи рівня стану за табл.2.11)

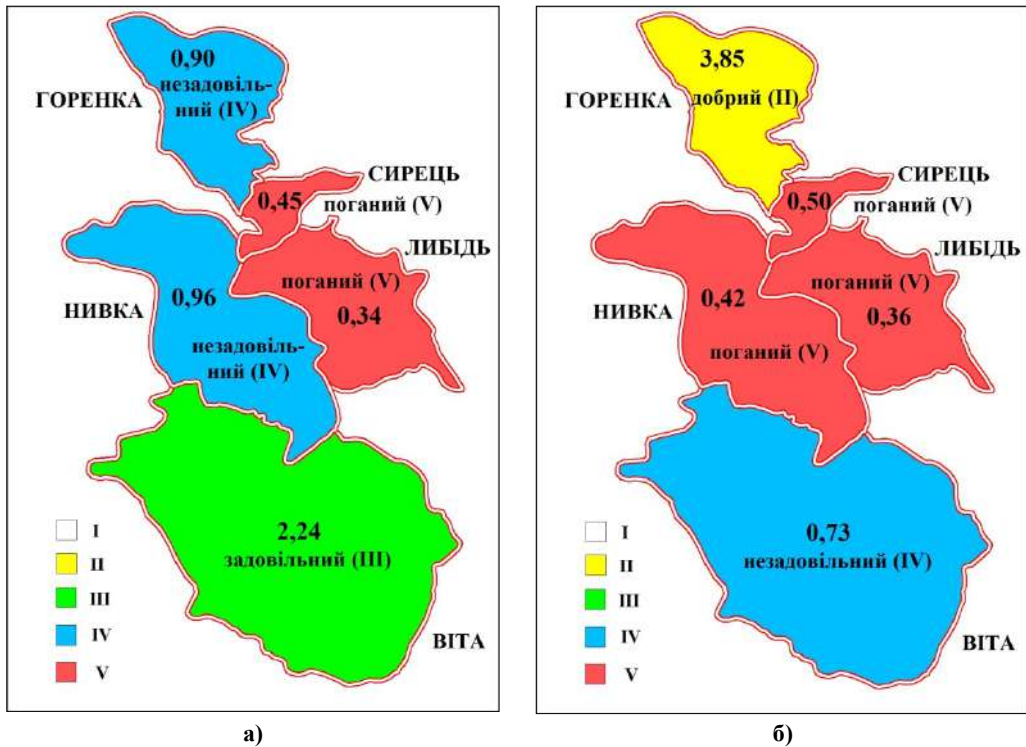


Рис.5.17 Рівень стану заплавної підсистем геосистем (а) і геосистем у цілому (б) за ознаками їхньої параметрично-відновлювальної стійкості (на прикладі тестових МУБГ річок Києва, модель (2.73), табл.2.11) (0,34...3,85 – значення індексів $I_{ПВСТ}$, у %; кольором – класи рівня стану: I – відмінний, II – добрий, III – задовільний, IV – незадовільний, V – поганий)

А от МУБГ Горенки згідно з вже згаданими рис.5.16-5.17 і табл.2.11 загалом відзначається вельми сприятливою геоекологічною ситуацією в землекористуванні. Утім така ситуація в заплавної підсистемі цієї малої басейнової урболандшафтної геосистеми є несприятливою через надмірну питому площу агроугідь в заплаві цієї річки (див. наші монографії [45, 55]).

Тестування моделі підвиду *водно-стокової параметрично-інтегральної стійкості* (ВСПИС) – загально-самоочищувальної стійкості (ЗСВСПИС) – було проведено в [45] згідно з табл.5.7 для забезпечених належною інформацією малих урболандшафтних басейнових геосистем річок Києва. Результати модельного тестування, наведені в табл.5.14, говорять про таке.

Сильною здатністю до самоочищення забруднених стічних вод за рахунок їхнього розбавлення власним водним стоком володіє лише геосистема Горенки. Цьому і відповідає добрий рівень її стану за ознаками загально-самоочищувальної параметрично-інтегральної стійкості (див. табл.5.7). МУБГ Віти і Нивки з, відповідно, слабкою та вельми слабкою здатністю до самоочищення стічних вод водним стоком було ідентифіковано як геосистеми із незадовільним рівнем стану за класом.

Натомість малу урболандшафтну басейнову геосистему Либіді, де індекс стійкості, що тестувалася, $I_{ЗСВСПИС}$ становить менш за 1, може бути кваліфіковано як геосистему з гранично слабкою здатністю до самоочищення і поганим рівнем стану за ознаками її загально-самоочищувальної стійкості.

Таблиця 5.14 – Загальні результати модельної оцінки рівня стану тестових геосистем за ознаками їхньої загально-самоочищувальної водно-стокової параметрично-інтегральної стійкості (індекс стійкості $I_{ЗВСПС}$ за (5.19), рівні стану – за табл.5.7, індекс антропоізації $I_{АНТ,Т}^{**}$ – за (1.7), вихідні дані щодо річних об'ємів стоку у маловодний рік $W_{РВСМ}$ і стічних вод $W_{ЗАБРЄ}$ – за [45] у млн.м³)

МУБГ річки	$W_{РВСМ}$, млн.м ³	$W_{ЗАБРЄ}$, млн.м ³	$I_{ЗВСПС}$, %	$I_{АНТ,Т}^{**}$, %	Здатність до самоочищення (категорія)	Рівень стану за класом
Горенка	0,84	0,04	21,0	16,3	сильна (2)	добрий (II)
Віта	4,73	1,07	4,4	27,1	слабка (4)	незадовільний (IV)
Нивка	1,38	0,40	3,4	41,9	вельми слабка (5)	незадовільний (IV)
Либідь	0,96	4,14	0,2	53,4	гранично слабка (6)	поганий (V)

Результати модельної оцінки рівня стану геосистем за ознаками їхньої *водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості* (ВЯПІС) для п'яти МУБГ річок Києва наведено як картографічні для варіантів інтегральних і блокових індексів на рис.5.18, як графічні для інтегральної оцінки – на рис.5.19, а також як варіаційно-формалізовані для блоково-інтегральної оцінки за запропонованими в п.5.1 підходами – в табл.5.15.

Стислий коментар усіх щойно згаданих тестових результатів, які загалом є достатньо показовими самі по собі, зважаючи і на детальний виклад цих результатів у нашій праці [45], можна звести до такого.

У табл.5.15 і на рис.5.19 протестовані МУБГ розміщено в порядку збільшення значень їхніх інтегральних індексів I_{Σ} з урахуванням всіх складників формалізованого модельного запису табл.5.15, а отже у порядку погіршення рівня стану геосистем у варіанті **інтегральної оцінки**. Це визначає в оберненому порядку і пріоритетність вибору об'єктів для їхньої геоecологічної реабілітації тощо (див. р.3-4).

Тобто, на основі інтегральної оцінки водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості геосистем "ланцюжок пріоритетності" охоплення тестових геосистем геоecологічно-стабілізаційними заходами виглядає як "Либідь – Сирець – Нивка – Віта – Горенка". Це є цілковито адекватним аналогічному "ланцюжку", якщо його побудувати за результатами оцінювання рівня стану геосистем за мірою їхньої антропоізації (див. рис.5.15), як і за їхньою параметрично-відновлювальною стійкістю (див. рис.5.16). При цьому досить характерним прикладом є мала урболандшафтна басейнова геосистема Горенки. Індекс її фазово-антропоізаційної стійкості становить 83,7%, маркуючи добрий рівень стану за ФАС, але досить близько до верхньої межі задовільного за класом рівня (80%, див. табл.5.12). Певні "вагання" з приводу такого наближення може усунути використання для цієї геосистеми найгіршого блокового індексу вже більш інформативної та "наслідкової" водно-якісної стійкості (див. табл.5.15). Цей індекс засвідчує можливість належності геосистеми Горенки до задовільного рівня стану, а отже до об'єкта, який також має бути охоплено певними геоecологічно-стабілізаційними заходами.

У такому сенсі, комплексність запропонованих у п.5.1 підходів до моделювання ВЯПІС дозволяє дійсно більш об'єктивно та зважено підходити до всебічної оцінки рівня стану конкретних МУБГ, аналізуючи результати вже **блокової оцінки**, зокрема з метою подальшого визначення першопричин погіршення стану геосистем тощо (див. п.3.2.3).

Наприклад (див. табл.5.15), незважаючи на те, що рівень стану за інтегральним I_{Σ} малої урболандшафтної басейнової геосистеми Горенки коливається в межах доброго, оцінка ймовірних індексів трофо-сапробізаційного блоку засвідчує необхідність подальшого вивчення цієї МУБГ як об'єкта можливого проведення геоecологічно-стабілізаційних заходів з метою поліпшення його стану.

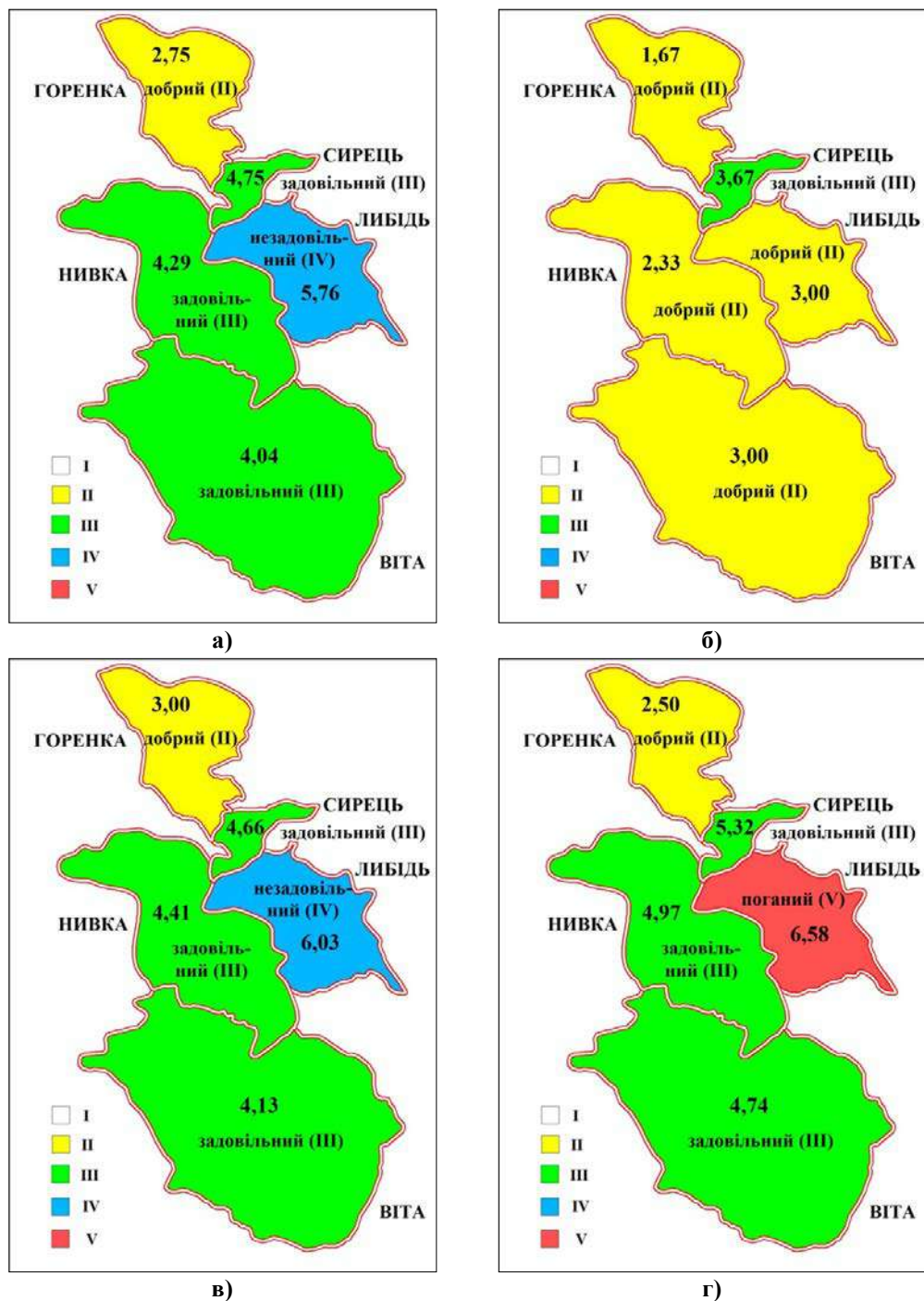


Рис.5.18 Рівень стану тестових МУБГ річок Кисва за ознаками їхньої водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості (усереднені оцінки: інтегральна (а); за сольово-компонентним (б), трофосапробізаційним (в) і екотоксифікаційним (г) блоками) (за моделями (5.22)-(5.25) і табл.5.8; кольором – класи рівня стану: I – відмінний, II – добрий, III – задовільний, IV – незадовільний, V – поганий)

Таблиця 5.15 – Формалізовані результати модельної оцінки рівня стану басейнових геосистем за ознаками їхньої водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості (на прикладі тестових МУБГ річок Кисва, моделі (5.22)-(5.25), табл.5.8) (індекси блоків: $I_{СК}$ – сольово-компонентного, $I_{ТС}$ – трофо-сапробізаційного, $I_{ЕТ}$ – екотоксифікаційного, $I_{РН}$ – радіонуклідного; I_{Σ} – інтегральний індекс)

Варіант оцінки	Результат оцінки (рівень стану)
МУБГ р. Горенка:	
Блокова за $I_{СК}$	{вельми добрий [1,67]; відмінний – вельми добрий [1,33–2,00]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{добрий [3,00]; вельми добрий – задовільний [2,43–3,71]; 0/7}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{добрий [2,50]; добрий [2,50–3,00]; 0/4}
Блокова за $I_{РН}$	{задовільний [4,00]; задовільний [3,50–4,00]; 0/2}
Інтегральна за I_{Σ}	{добрий [2,75; 2,27–3,37]; відмінний – задовільний; 0/16}
МУБГ р. Віта:	
Блокова за $I_{СК}$	{добрий [3,00]; добрий [3,00]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{задовільний [4,13]; задовільний [3,82–4,24]; 3/13}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{посередній [4,74]; задовільний – посередній [4,47–5,38]; 4/8}
Блокова за $I_{РН}$	{задовільний [4,00]; задовільний [4,00]; 0/2}
Інтегральна за I_{Σ}	{задовільний [4,04; 3,77–4,16]; задовільний – посередній; 7/26}
МУБГ р. Ниска:	
Блокова за $I_{СК}$	{вельми добрий [2,33]; вельми добрий – добрий [2,33–2,67]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{задовільний [4,41]; задовільний – посередній [4,16–4,80]; 6/13}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{посередній [4,97]; задовільний – посередній [4,47–5,36]; 2/8}
Блокова за $I_{РН}$	{посередній [5,00]; задовільний – посередній [4,00–5,00]; 0/2}
Інтегральна за I_{Σ}	{задовільний [4,29; 4,04–4,67]; вельми добрий – посередній; 8/26}
МУБГ р. Сирець:	
Блокова за $I_{СК}$	{задовільний [3,67]; задовільний [3,67–4,00]; 1/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{посередній [4,66]; задовільний – посередній [4,48–4,93]; 7/12}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{посередній [5,32]; посередній – незадовільний [5,13–5,52]; 6/9}
Блокова за $I_{РН}$	{задовільний [4,00]; задовільний [3,50–4,00]; 0/2}
Інтегральна за I_{Σ}	{посередній [4,75; 4,58–5,01]; задовільний – незадовільний; 14/26}
МУБГ р. Либідь:	
Блокова за $I_{СК}$	{добрий [3,00]; добрий [3,00]; 0/3}
Блокова за $I_{ТС}$	{незадовільний [6,03]; незадовільний [5,76–6,25]; 8/10}
Блокова за $I_{ЕТ}$	{поганий [6,58]; незадовільний – поганий [6,29–6,58]; 7/8}
Блокова за $I_{РН}$	{задовільний [4,00]; задовільний [4,00]; 0/2}
Інтегральна за I_{Σ}	{незадовільний [5,76; 5,52–5,93]; добрий – поганий; 15/23}

З іншого боку, у зазначеному вище контексті, незадовільний рівень стану геосистеми, наприклад, Либіді найменше зумовлено джерелами геонегативного впливу, які викликають погіршення стану за параметрами сольово-компонентного блоку. Натомість для МУБГ Сирцю такі джерела впливу слід передусім визначати стосовно процесів токсифікації геосистеми тощо.

У цілому ж ще більш конкретну оцінку рівня стану будь-яких тестових геосистем, зосібна щодо можливих джерел і причин його погіршення, можна отримати аналізуючи **компонентний варіант** оцінювання рівня стану геосистем за ознаками їхньої ВЯПІС. При цьому доцільно враховувати й певні комбінації компонентів якості води.

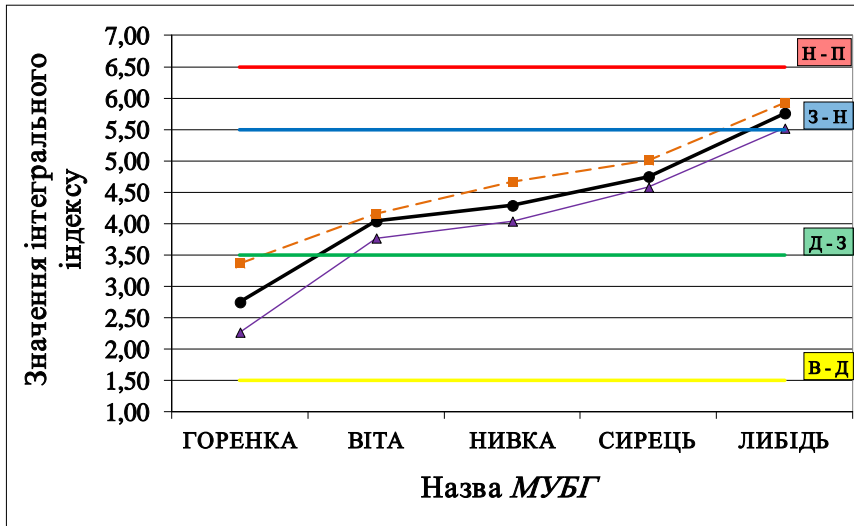


Рис.5.19 Значення нижнього, середнього та верхнього інтегрального індексу рівня стану тестових МУБГ за ознаками їхньої ВЯПИС (— $N_{c,\Sigma}$; — $N_{c,\Sigma,95\%}$; — $N_{c,\Sigma,5\%}$ за (5.25); горизонтальні лінії розмежують знизу догори класи рівня стану за табл.5.8: В-Д – відмінного і доброго; Д-З – доброго і задовільного; З-Н – задовільного і незадовільного; Н-П – незадовільного і поганого)

Методично важливою є також запроксимована у [45] степеневим трендом залежність для п'яти тестових геосистем між частковим індексом умовної надійності за фазово-антропоізаційною стійкістю і таким же індексом надійності за водно-якісною інтегральною стійкістю (див. (2.79)), тобто залежність

$$100 (N_{c,\Sigma,\delta}^{**} / N_{c,\Sigma,a}^{**}) = f(100 I_{\Phi AC,T,a} / I_{\Phi AC,T,\delta}) , \quad (5.28)$$

де $N_{c,\Sigma,a}^{**}$ і $N_{c,\Sigma,\delta}^{**}$ – актуальне та бажане числове значення середнього інтегрального індексу водно-якісної параметрично-інтегральної стійкості за (5.25). При цьому, по-перше, бажане таке значення приймається як середнє для доброго рівня стану за ознаками ВЯПИС за табл.5.8, а отже $N_{c,\Sigma,\delta}^{**} = 2,50$. По-друге, згідно зі змістом цієї таблиці та моделі (2.79) розглядається саме співвідношення $N_{c,\Sigma,\delta}^{**} / N_{c,\Sigma,a}^{**}$ на відміну від інших складників моделі (2.79); $I_{\Phi AC,T,a}$ і $I_{\Phi AC,T,\delta}$ – актуальний індекс фазово-антропоізаційної стійкості за (2.55) і цей же, але бажаний індекс, прийнятий за нижньою межею другої категорії рівня стану геосистеми за ознаками ΦAC (див. табл.5.12), тобто $I_{\Phi AC,T,\delta} = 80\%$.

Ця залежність з $R^2 = 0,88$ за критеріями [39, 47] є вельми задовільною за достовірністю апроксимації нелінійного зв'язку між двома змінними, дуже близькою до доброї за достовірністю ($R^2 > 0,9$ за [39, 47]) такого зв'язку. Отримання цієї залежності, поданої на рис.5.20, є вельми значущим, тому, що:

– залежність є чітко причинно-наслідково зумовленою, позаяк її фізичний зміст загалом відображає в прямому зв'язку домінуючу за внеском категоровану міру та особливості антропоізації геосистем (аргумент) та категоровану інтегральну міру рівня стану геосистем (функція). До того ж ці геосистеми є достатньо "компактними" для використання такої інтегральної міри (див. п.2.3);

– математично-логічна структура побудови та критеріального унормування аргументу залежності рис.5.20 ніяким чином не залежала тощо від такої ж структури та унормування функції цієї залежності. Тобто (див. табл.5.11-5.12 і рис.5.12), параметризація розподілу та внеску питомих площ геосистем різних урбофункціональних підсистем в межах МУБГ і

вирізнення категорій рівня стану за таким розподілом і внеском, що кінець кінцем призвело до отримання певних чисельних значень аргументу залежності рис.5.20, не впливали і не могли вплинути на параметризацію, категорійне структурування та отримання чисельних значень рівня стану геосистем за функцією залежності рис.5.20, тобто за формалізованими та категоризованими компонентними, блоковими та загальними індексами якості води водотоків МУБГ і їхніми комбінаціями тощо.

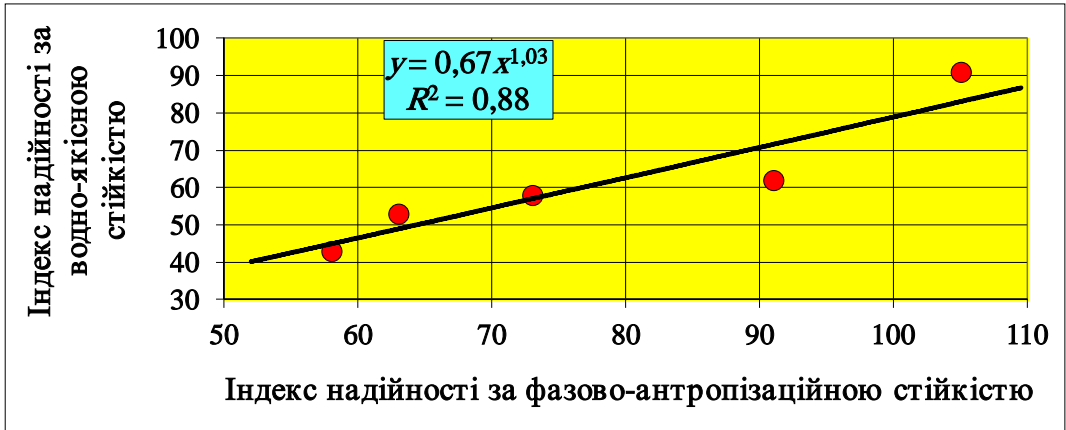


Рис.5.20 Зв'язок часткових індексів умовної надійності за фазово-антропізаційною та водно-якісною параметрично-інтегральною стійкістю (залежність (5.28)) (на прикладі тестових МУБГ річок Києва) (R^2 – квадрат індексу достовірності апроксимації степеневим трендом)

Такі умовиводи, разом із раніше наведеними у цьому розділі прикладами, вагомо підтверджують правомірність викладених принципових підходів, схем і розрахункових залежностей для комплексного моделювання рівня стану як різноманітних басейнових геосистем, так і природничих геосистем загалом.

Контрольні запитання й завдання до розділу 5:

1. Що таке басейнова геосистема?
2. Які розрізняють різновиди басейнових геосистем?
3. Назвіть другопорядкові підсистеми (квазі)природної підсистеми середньої або великої басейнової геосистеми.
4. Що належить до басейнових територіальних підсистем?
5. Назвіть склад басейнових морфологічно-позиційних підсистем.
6. Як іще зветься басейнові ландшафтні підсистеми і чому? Наведіть приклади.
7. Поясніть сутність гідрмережної фазово-етологічної стійкості басейнової геосистеми.
8. Чому не вирізняються класи рівня стану за ознаками гідрмережної фазово-етологічної стійкості басейнової геосистеми?
9. Якими є підвиди вододільно-водозбірної фазово-етологічної стійкості басейнової геосистеми?
10. Що враховують під час моделювання водозбірної фазово-етологічної стійкості басейнової геосистеми?

11. Поясніть, чи можливим наразі є моделювання в цілому водно-стокової параметрично-інтегральної стійкості басейнової геосистеми?
12. Що таке загально-самоочищувальна ВСПІС(БГ)?
13. Прокоментуйте особливості структури категорійно-класифікаційної схеми щодо водно-якісної ПІС басейнової геосистеми.
14. Що входить до набору індексів рівня стану басейнової геосистеми за ознаками її ВЯПІС?
15. Які Ви знаєте варіанти власне модельної оцінки рівня стану басейнової геосистеми за ознаками її ВЯПІС?
16. Наведіть приклади реалізації моделі блокової оцінки рівня стану басейнової геосистеми за ознаками її ВЯПІС.
17. Чим оперує інтегральна оцінка рівня стану "компактних" підсистем басейнової геосистеми?
18. Що таке мала урболандшафтна басейнова геосистема?
19. У чому полягає специфіка формалізації натурально-антропогенної та антропогенної підсистем МУБГ?
20. Наведіть приклади натурально-антропогенних геосистем урбофункціональних підсистем МУБГ.
21. Що таке ландшафтно-архітектурні підсистеми МУБГ?
22. Чим вирізняються урбоінтегративні підсистеми МУБГ?
23. У чому полягає "оригінальність" шкали міри антропоізації суходільних натурально-антропогенних і антропогенних геосистем урбофункціональних підсистем МУБГ?
24. Проілюструйте на прикладах зміст визначення загальнофункціональної фазово-етологічної стійкості МУБГ.
25. Виконайте порівняльний аналіз рівня стану тестових МУБГ річок Києва за ознаками їхньої фазово-антропоізаційної стійкості.
26. Прокоментуйте залежність між частковим індексом умовної надійності за фазово-антропоізаційною стійкістю і таким же індексом надійності за водно-якісною інтегральною стійкістю для тестових МУБГ.

6 МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОМЕРЕЖ

Цей розділ присвячено моделюванню **екологічної мережі (екомережі)** як своєрідного типу природничої геосистеми – **екомережної природничої геосистеми** або **екомережної геосистеми**. Така геосистема розглядається як системний територіальний мегаоб'єкт спеціального природоохоронного статусу та режиму ресурсокористування у вигляді мережі. Остання є певною сукупністю квазігеосистем біоландшафтної територіальної структури (*БЛЛТС*), функціонально диференційованих і координатно заданих вже як взаємопоєднані елементи власне екомережі відповідно до обумовлених критеріїв з огляду на головну мету формування екомереж – сьогоденне або майбутнє підтримання та/або відновлення біоландшафтного різноманіття. Таке різноманіття є інтегральним поняттям, що застосовується з огляду на необхідність одночасного системного збереження та/або відновлення і біорізноманіття, і ландшафтного різноманіття, зважаючи й на стохастичні зв'язки між едафічною типологією природничих геосистем та генофондною типологією екосистем як біоцентричних модулів цих геосистем.

Біоландшафтна територіальна структура (БЛЛТС) загалом тлумачиться як мережна структура, складниками якої є т.зв. (*квазі*)геосистеми або *елементи БЛЛТС*. За них правлять певні, специфічно поєднані між собою, відокремлені фрагменти синергічно інтегрованих генетико-морфологічної, басейнової та біоцентрично-сітьової (див. [40]) ландшафтних територіальних структур. Це фрагменти, які в тому чи іншому вигляді збереглися в природно-натуральному стані (див. р.1) в умовах антропогенного тиску й впливу структуро-деструкційних природних чинників або є референційними (реконструйованими) за р.1 чи відновленими до референційних.

У цьому розділі приділено увагу моделюванню екомереж регіонального територіального рівня – регіональних екомереж, серед них і регіонально-специфічних. Це є найбільш методично корисним, на наш погляд, для загалом природничо-географічного моделювання. Натомість особливості й способи моделювання екомереж міжрегіонального то локального рівнів, як і певну деталізацію наведених далі підходів, викладено у наших працях [44, 51, 57] тощо.

За таких умов, **екомережа регіонального територіального рівня** (надалі **регіональна екомережа** або просто **екомережа**) тлумачиться як певна за складом змодельована мережна сукупність (*квазі*)геосистем *БЛЛТС*, початково ідентифікованих і остаточно обраних за заданим набором критеріїв біоландшафтного різноманіття й стану цих (*квазі*)геосистем з метою їхнього поточного або перспективного збереження, охорони та реабілітації, в ідеалі – для максимально можливого відновлення й підтримання у стійкому стані бажаного за структурою природно-натурального каркаса території заданого регіону моделювання екомережі.

Регіон моделювання екомережі може бути задано межами геосистем (*квазі*)природної його підсистеми (див. р.1), наприклад геосистемами певних ландшафтних територіальних структур, зокрема генетико-морфологічної чи басейнової тощо, та/або геосистемами таксонів певного районування, зосібна фізико-географічного тощо. Також межі зазначеного регіону можна визначити багатокритеріально, що стосується моделювання регіонально-специфічної екомережі, тобто

екомережі структурно багатоманітних і істотно антропоізованих регіонів (див., наприклад, нашу працю [57]).

6.1 Концептуальні підвалини моделювання екомереж

З огляду на кінцеву цільову функцію моделювання – збереження й відновлення і біотичного, і ландшафтного різноманіття – доцільно розглядати територіальну структуру регіону, досліджуваного з метою математично-геоінформаційного моделювання екомережі, тобто **регіону моделювання екомережі (PME)** (приклад на фото 6.1), як отриману на основі модифікації базових моделей (1.1)-(1.2) комбінацію вирізнених за генезисно-еволюційними ознаками (квазі)природної (**KPPM**), натурально-антропогенної (**HAPM**) та антропогенної (**APM**) структур (підсистем), а отже

$$\{PME\} \in \{KPPM, HAPM, APM\}, \quad (6.1)$$

або

$$\{PME\} \in \{KPPM \cap (HAPM \cup APM)\}. \quad (6.2)$$

Динаміку щойно зазначених підсистем регіону моделювання екомережі регіонального рівня, що скрізь і буде розумітися далі, можна подати аналогічно до базової моделі (1.3) як

$$D \{PME\} = \{KPPM(\omega_{KPPM} R_{KPPM} t) \cap (HAPM(\omega_{HAPM} R_{HAPM} t) \cup APM(R_{APM} t))\}, \quad (6.3)$$

де $KPPM(\omega_{KPPM} R_{KPPM} t)$ і $HAPM(\omega_{HAPM} R_{HAPM} t)$ – сукупність випадкових полів (квазі)природної та натурально-антропогенної підсистем PME ; $APM(R_{APM} t)$ – сукупність "антропогенно"-детермінованих полів антропогенної підсистеми PME ; ω загалом – сукупність елементарних результатів досліджу, тобто ω_{KPPM} і ω_{HAPM} – кількість фіксацій зазначених випадкових полів за їхніми значеннями та/або координатами; R у цілому – загальна просторова область усіх полів моделі (6.3), тобто загальні межі регіону моделювання при $R \in (x, y)$ у прямокутній системі координат обраного для моделювання ГІС-інструментарію. Ця область містить власні просторові області (різнорангові субобласті) полів структур-складників PME , тобто, зважаючи на моделі (6.2)-(6.3), $R \in \{R_{KPPM} \cap (R_{HAPM} \cup R_{APM})\}$; t – параметр неперервного часу.

Часткові формалізовані схеми подальшої диференціації структур (підсистем) вищезазначеного регіону досліджень за моделями (1.1)-(1.3) мають наступний вигляд.

(Квазі)природна структура PME поділяється на (квазі)природні **сингулярні субструктури (СГС)** (другопорядкові підсистеми) – **площинні (СГСП)** і **мережну біоцентричну (СГСМ_{КП})**, а також на **інтегровану мережну біоландшафтну субструктуру (ІСМ_{КП})** за загальним записами, враховуючи й динаміку їхніх субполів,

$$\{KPPM\} \in \{СГС \cap ІСМ_{КП}\} \in \{(СГСП \cap СГСМ_{КП}) \cap ІСМ_{КП}\}, \quad (6.4)$$

$$\begin{aligned}
 D \{КПРМ\} &= \{КПРМ(\omega_{КПРМ}, R_{КПРМ}, t)\} = \\
 &= \{СГС(\omega_{СГС}, R_{СГС}, t) \cap ИСМ_{кп}(\omega_{ИСМ_{кп}}, R_{ИСМ_{кп}}, t)\} = \\
 &= \{(СГСП(\omega_{СГСП}, R_{СГСП}, t) \cap СГСМ_{кп}(\omega_{СГСМ_{кп}}, R_{СГСМ_{кп}}, t)) \cap \\
 &\quad \cap ИСМ_{кп}(\omega_{ИСМ_{кп}}, R_{ИСМ_{кп}}, t)\} , \tag{6.5}
 \end{aligned}$$

де $\omega_{СГС}$, $\omega_{СГСП}$, $\omega_{СГСМ_{кп}}$ і $\omega_{ИСМ_{кп}}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.4); $R_{СГС}$, $R_{СГСП}$, $R_{СГСМ_{кп}}$ і $R_{ИСМ_{кп}}$ – просторові субобласті субполів цих субструктур за умови, що $R_{КПРМ} \equiv R \in \{(R_{СГСП} \cap R_{СГСМ_{кп}}) \cap R_{ИСМ_{кп}}\}$; $R_{СГСП} = R$; $R_{СГСМ_{кп}} \neq R$; $R_{ИСМ_{кп}} \neq R$.

Під площинними субструктурами маються на увазі ті, які сформовано площинними просторовими об'єктами (полігонами), а під мережними – ті, які сформовано просторовими об'єктами високого рівня, – мережами (див. детальніше наші праці [46, 48]).

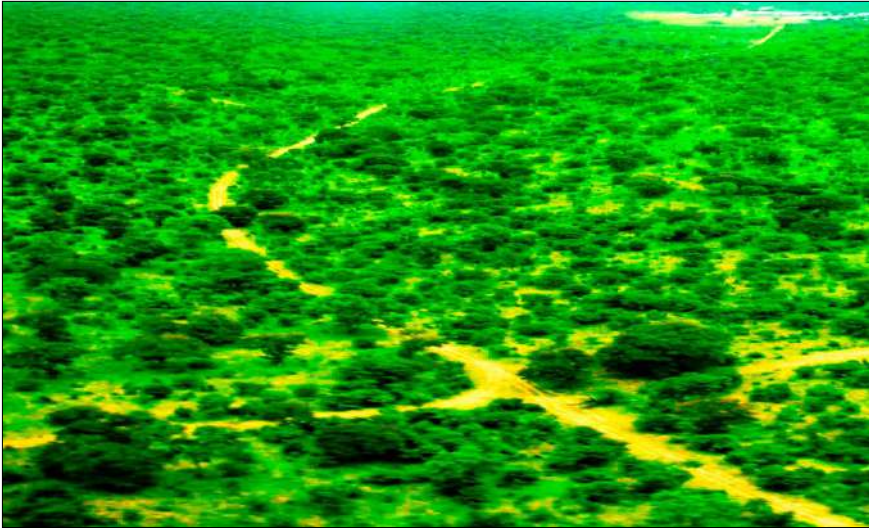


Фото 6.1 Приклад регіону моделювання екомережі

У свою чергу, *по-перше*, (квазі)природні сингулярні площинні субструктури відповідають запису

$$\{СГСП\} \in \{ЛС \cap ФГС \cap БС \cap ПДС \cap ГБС \cap ЗГС \cap ИСГСП\} , \tag{6.6}$$

тобто об'єднують такі субструктури (підсистеми) регіону моделювання екомережі, як:

1) **ландшафтні субструктури (ЛС)**. До них відноситься сукупність типізованих за відповідними класифікаційними ознаками геосистем генетико-морфологічної ландшафтної територіальної структури (ГМЛТС, див. (1.4)) заданого рангу. За них, зважаючи на регіональний рівень екомережі, найчастіше правлять геосистеми піду-

рочищ (*ПУГ*) і урочищ (*УРГ*). Звідси формалізація цієї субструктури та її динаміки буде спиратися на моделі

$$\{LC\} \in \{ПУГ \cap УРГ\}, \quad (6.7)$$

$$D \{LC\} = \{LC(\omega_{LC}, R_{LC}, t)\} = \{ПУГ(\omega_{ПУГ}, R_{ПУГ}, t) \cap УРГ(\omega_{УРГ}, R_{УРГ}, t)\}, \quad (6.8)$$

де ω_{LC} , $\omega_{ПУГ}$ і $\omega_{УРГ}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.7); R_{LC} , $R_{ПУГ}$ і $R_{УРГ}$ – просторові субобласті цих субполів з огляду на те, що загальна просторова область ландшафтних субструктур $R_{LC} \equiv R \in \{R_{ПУГ} \cap R_{УРГ}\}$, а $R_{УРГ} \in \{R_{ПУГ}\}$;

2) **фізико-географічні субструктури (ФГС)**. Сюди належать ідентифіковані для досліджуваного регіону таксони фізико-географічного районування певного рівня. А отже, з огляду на регіональність досліджень і (6.9), ними є, насамперед, фізико-географічні області (**ФГО**) та райони (**ФГР**) з урахуванням їхньої належності до зон (**ФГЗ**), підзон (**ФГПЗ**) і країв (**ФГК**), чому відповідають зведені формалізовані записи

$$\{ФГС\} \in \{ФГЗ \cap ФГПЗ \cap ФГК \cap ФГО \cap ФГР\}, \quad (6.9)$$

$$\begin{aligned} D \{ФГС\} &= \{ФГС(\omega_{ФГС}, R_{ФГС}, t)\} = \\ &= \{ФГЗ(\omega_{ФГЗ}, R_{ФГЗ}, t) \cap ФГПЗ(\omega_{ФГПЗ}, R_{ФГПЗ}, t) \cap ФГК(\omega_{ФГК}, R_{ФГК}, t)\} \cap \\ &\cap \{ФГО(\omega_{ФГО}, R_{ФГО}, t)\} \cap \{ФГР(\omega_{ФГР}, R_{ФГР}, t)\}, \end{aligned} \quad (6.10)$$

де $\omega_{ФГС}$, $\omega_{ФГЗ}$, $\omega_{ФГПЗ}$, $\omega_{ФГК}$, $\omega_{ФГО}$ і $\omega_{ФГР}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.9); $R_{ФГС}$, $R_{ФГЗ}$, $R_{ФГПЗ}$, $R_{ФГК}$, $R_{ФГО}$ і $R_{ФГР}$ – просторові субобласті цих субполів, зважаючи на те, що загальна просторова область фізико-географічних субструктур $R_{ФГС} \equiv R \in \{R_{ФГЗ} \cap R_{ФГПЗ} \cap R_{ФГК} \cap R_{ФГО} \cap R_{ФГР}\}$, а $R_{ФГО} \in \{R_{ФГР}\}$, $R_{ФГК} \in \{R_{ФГО} \cap R_{ФГР}\}$, $R_{ФГПЗ} \in \{R_{ФГК} \cap R_{ФГО} \cap R_{ФГР}\}$ і $R_{ФГЗ} \in \{R_{ФГПЗ} \cap R_{ФГК} \cap R_{ФГО} \cap R_{ФГР}\}$;

3) **басейнові субструктури (БС)**. За них править (див. п.5.1), *по-перше*, сукупність *басейнових територіальних субструктур (БТС)*, які адекватні ідентифікованим у регіоні геосистемам басейнової ЛТС (БЛТС за (1.4)). До них належать руслові і неруслові басейни та суббасейни різного порядку – від вищих за порядком басейнів, $БТС_1$, до нижчих за порядком суббасейнів, $БТС_n$. Ці геосистеми, за потреби, можна вирізняти і орієнтуючись на задані створи головного в басейні водотоку тощо (див. (5.3)-(5.4)).

По-друге, розрізняють *басейнові морфологічно-позиційні субструктури (БМПС)*. За них правлять вирізнені аналогічно до (5.5) в межах БТС обраного порядку вододільно-рівнинні (**ВРГ**), схилів (**СХГ**), терасові (**ТРГ**), заплавні (**ЗПГ**) та руслові (**РСГ**) геосистеми, а також, найчастіше, можливі їхні поєднання (**ПМПС**). До останніх відносяться насамперед такі, як терасово-заплавні, заплавно-руслові геосистеми тощо. За цими умовами, дотримуючись логіки структурно-функціональної формалізації, можна записати, що

$$\{BC\} \in \{BTC \cap BМПС\} , \quad (6.11)$$

$$\{BTC\} \in \{BTC_1 \cap \dots \cap BTC_n\} , \quad (6.12)$$

$$\{BМПС\} \in \{BPG \cup CXG \cup TRG \cup ZPG \cup PCG \cup (\cap) ПМПС\} , \quad (6.13)$$

$$\begin{aligned} D \{BC\} &= \{BC(\omega_{BC}, R_{BC}, t)\} = \\ &= \{BTC(\omega_{BTC}, R_{BTC}, t) \cap BМПС(\omega_{BМПС}, R_{BМПС}, t)\} , \end{aligned} \quad (6.14)$$

$$\begin{aligned} D \{BTC\} &= \{BTC(\omega_{BTC}, R_{BTC}, t)\} = \{BTC_1(\omega_{BTC,1}, R_{BTC,1}, t) \cap \dots \\ &\dots \cap BTC_n(\omega_{BTC,n}, R_{BTC,n}, t)\} , \end{aligned} \quad (6.15)$$

$$\begin{aligned} D \{BМПС\} &= \{BМПС(\omega_{BМПС}, R_{BМПС}, t)\} = \\ &= \{BPG(\omega_{BPG}, R_{BPG}, t) \cup \dots \cup (\cap) ПМПС(\omega_{ПМПС}, R_{ПМПС}, t)\} , \end{aligned} \quad (6.16)$$

де $\omega_{BC} \dots \omega_{ПМПС}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.11)-(6.13); $R_{BC} \dots R_{ПМПС}$ – просторові субобласті цих субполів з огляду на те, що загальна просторова область субполів басейнових субструктур $R_{BC} \equiv R \in \{R_{BTC} \cap R_{BМПС}\}$, субполів басейнових територіальних субструктур $R_{BTC} \equiv R \in \{R_{BTC,1} \cap \dots \cap R_{BTC,n}\}$ і субполів басейнових морфологічно-позиційних субструктур $R_{BМПС} \equiv R \in \{R_{BPG} \cup \dots \cup (\cap) R_{ПМПС}\}$;

4) **позиційно-динамічні субструктури (ПДС)**. Вони є визначеними для регіону моделювання та ідентичними, насамперед, геосистемам позиційно-динамічної ЛТС (ПДЛТС за (1.4)), таксонами позиційно-динамічного районування (див. [6, 40, 49]). Такими таксонами є парадинамічні райони (ПДРА) та підрайони (ПДПР), ландшафтні яруси (ПДЯР), басейнові та парагенетичні сектори (ПДСЕ), а також ландшафтні смуги (ПДСМ). Це робить правомірним такий формалізований запис, як

$$\{ПДС\} \in \{ПДРА \cap ПДПР \cap ПДЯР \cap ПДСЕ \cap ПДСМ\} , \quad (6.17)$$

$$\begin{aligned} D \{ПДС\} &= \{ПДС(\omega_{ПДС}, R_{ПДС}, t)\} = \\ &= \{ПДРА(\omega_{ПДРА}, R_{ПДРА}, t) \cap ПДПР(\omega_{ПДПР}, R_{ПДПР}, t) \cap ФГК(\omega_{ПДЯР}, R_{ПДЯР}, t)\} \cap \\ &\cap ПДСЕ(\omega_{ПДСЕ}, R_{ПДСЕ}, t) \cap ПДСМ(\omega_{ПДСМ}, R_{ПДСМ}, t) , \end{aligned} \quad (6.18)$$

де $\omega_{ПДС} \dots \omega_{ПДСМ}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.17); $R_{ФГЗ}$, $R_{ФГПЗ}$, $R_{ФГК}$, $R_{ФГО}$ і $R_{ФГР}$ – просторові субобласті цих субполів, зважаючи на те, що загальна просторова область позиційно-динамічних субструктур $R_{ПДС} \equiv R \in \{R_{ПДРА} \cap R_{ПДПР} \cap R_{ПДЯР} \cap R_{ПДСЕ} \cap R_{ПДСМ}\}$ тощо.

За необхідності більш детального дослідження берегових зон водосховищ і морів регіону моделювання екомережі можна також вирізняти згідно з підходами, наведеними далі в р.7 і у [49], геосистеми ПДЛТС берегової зони, зокрема берегові

ландшафтні райони, яруси і смуги, зважаючи й на їхню приуроченість до підсистем геотонного структурування берегового макрогеотону;

5) **геоботанічні субструктури (ГБС)**. Вони містять поєднані з регіоном моделювання екомережі, по-перше, типізовані таксони геоботанічного районування визначеного рівня (див. [26, 57]) (**ГБР**). Ними є, передусім, геоботанічні округи (**ГБOK**) з огляду на їхню належність до адекватних геоботанічних підобластей (**ГБПО**) і областей (**ГБОВ**), підпровінцій (**ГБПП**) і провінцій (**ГБПР**). По-друге, сюди відносяться й інші геоботанічні територіальні субструктури (**ГБІН**). Вони можуть характеризувати різноманітні фітоценотичні атрибути регіону, зокрема у межах певних **ГБР**, наприклад типологічний склад рослинності регіону в цілому або його лісів тощо. Усе це формалізовано виглядає як

$$\{ГБС\} \in \{ГБР \cap ГБІН\} , \quad (6.19)$$

$$\{ГБР\} \in \{ГБОВ \cap ГБПО \cap ГБПР \cap ГБПП \cap ГБOK\} , \quad (6.20)$$

$$\begin{aligned} D \{ГБС\} &= \{ГБС(\omega_{ГБС}, R_{ГБС}, t)\} = \\ &= \{ГБР(\omega_{ГБР}, R_{ГБР}, t) \cap ГБІН(\omega_{ГБІН}, R_{ГБІН}, t)\} , \end{aligned} \quad (6.21)$$

$$\begin{aligned} D \{ГБР\} &= \{ГБР(\omega_{ГБР}, R_{ГБР}, t)\} = \{ГБОВ(\omega_{ГБОВ}, R_{ГБОВ}, t) \cap \\ &\cap ГБПО(\omega_{ГБПО}, R_{ГБПО}, t) \cap ГБПР(\omega_{ГБПР}, R_{ГБПР}, t) \cap \\ &\cap ГБПП(\omega_{ГБПП}, R_{ГБПП}, t) \cap ГБOK(\omega_{ГБOK}, R_{ГБOK}, t)\} , \end{aligned} \quad (6.22)$$

де $\omega_{ГБС} \dots \omega_{ГБOK}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.19)-(6.20); $R_{ГБС} \dots R_{ГБOK}$ – просторові субобласті цих субполів, зважаючи на те, що загальна просторова область субполів геоботанічних субструктур $R_{ГБС} \equiv \equiv R \in \{R_{ГБР} \cap R_{ГБІН}\}$, а субполів таксонів геоботанічного районування $R_{ГБР} \equiv R \in \in \{R_{ГБОВ} \cap R_{ГБПО} \cap R_{ГБПР} \cap R_{ГБПП} \cap R_{ГБOK}\}$, при цьому $R_{ГБПП} \in \{R_{ГБOK}\}$, $R_{ГБПР} \in \in \{R_{ГБПП} \cap R_{ГБOK}\}$, $R_{ГБПО} \in \{R_{ГБПР} \cap R_{ГБПП} \cap R_{ГБOK}\}$ і $R_{ГБОВ} \in \{R_{ГБПО} \cap R_{ГБПР} \cap R_{ГБПП} \cap R_{ГБOK}\}$;

б) **зоогеографічні субструктури (ЗГС)**. Сюди входять адекватні регіону моделювання, з одного боку, типізовані таксони зоогеографічного районування певного рівня (див. [26, 57]) (**ЗГР**). Ними є, передусім зоогеографічні підділянки (**ЗГПД**) і ділянки (**ЗГДІ**), які належать до відповідних зоогеографічних районів (**ЗГРА**), округів (**ЗГОК**), провінцій (**ЗГПР**), підобластей (**ЗГПО**) та областей (**ЗГОВ**). З іншого боку, сюди відносяться й інші зоогеографічні територіальні субструктури (**ЗГІН**), які характеризують тваринний компонент біотопів тощо. Відповідні формалізовані записи будуть мати вигляд

$$\{ЗГС\} \in \{ЗГР \cap ЗГІН\} , \quad (6.23)$$

$$\{ЗГР\} \in \{ЗГОВ \cap ЗГПО \cap ЗГПР \cap ЗГОК \cap ЗГРА \cap ЗГДІ \cap ЗГПД\} , \quad (6.24)$$

$$D \{ЗГС\} = \{ЗГС(\omega_{ЗГС}, R_{ЗГС}, t)\} = \{ЗГР(\omega_{ЗГР}, R_{ЗГР}, t) \cap ЗГПН(\omega_{ЗГПН}, R_{ЗГПН}, t)\} , \quad (6.25)$$

$$D \{ЗГР\} = \{ЗГР(\omega_{ЗГР}, R_{ЗГР}, t)\} = \{ЗГОб(\omega_{ЗГОб}, R_{ЗГОб}, t) \cap \\ \cap ЗГПО(\omega_{ЗГПО}, R_{ЗГПО}, t) \cap ЗГПР(\omega_{ЗГПР}, R_{ЗГПР}, t)\} \cap \\ \cap ЗГОК(\omega_{ЗГОК}, R_{ЗГОК}, t) \cap \\ \cap ЗГРА(\omega_{ЗГРА}, R_{ЗГРА}, t) \cap ЗГДІ(\omega_{ЗГДІ}, R_{ЗГДІ}, t) \cap ЗГПД(\omega_{ЗГПД}, R_{ЗГПД}, t)\} , \quad (6.26)$$

де $\omega_{ЗГС} \dots \omega_{ЗГПД}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (1.23)-(1.24); $R_{ЗГС} \dots R_{ЗГОб}$ – просторові субобласті цих субполів із урахуванням того, що загальна просторова область субполів зоогеографічних субструктур $R_{ЗГС} \equiv R \in \{R_{ЗГР} \cap R_{ЗГПН}\}$, а субполів таксонів зоогеографічного районування $R_{ЗГР} \equiv R \in \{R_{ЗГОб} \cap R_{ЗГПО} \cap R_{ЗГПР} \cap R_{ЗГОК} \cap R_{ЗГРА} \cap R_{ЗГДІ} \cap R_{ЗГПД}\}$, при цьому $R_{ЗГДІ} \in \{R_{ЗГПД}\}$, $R_{ЗГРА} \in \{R_{ЗГДІ} \cap R_{ЗГПД}\}$, $R_{ЗГОК} \in \{R_{ЗГРА} \cap R_{ЗГДІ} \cap R_{ЗГПД}\}$, $R_{ЗГПР} \in \{R_{ЗГОК} \cap R_{ЗГРА} \cap R_{ЗГДІ} \cap R_{ЗГПД}\}$; $R_{ЗГПО} \in \{R_{ЗГПР} \cap R_{ЗГОК} \cap R_{ЗГРА} \cap R_{ЗГДІ} \cap R_{ЗГПД}\}$ і $R_{ЗГОб} \in \{R_{ЗГПО} \cap R_{ЗГПР} \cap R_{ЗГОК} \cap R_{ЗГРА} \cap R_{ЗГДІ} \cap R_{ЗГПД}\}$;

7) інші, допоміжні при моделюванні екомережі, (квазі)природні сингулярні площинні субструктури (ІСГСП). Ними можуть бути, зокрема, формалізовані за необхідності згідно з вищенаведеними підходами субструктури, які характеризують геологічні, гідрогеологічні, інженерно-геологічні, рельєфотвірні, ґрунтові та інші, поміж них інтегровані за атрибутами, особливості регіону.

По-друге, (квазі)природну сингулярну мережну біоцентричну субструктуру (СГСМ_{кп}) можна ототожнити з елементами (квазі)природної біоцентричності сільової ЛТС регіону (див. [6, 7, 40]) (БСЛТС_{кп}), які є реконструйованими (референційними). Останні ад'єктиви скрізь розуміються в значенні ретроспективного відтворення певних рис "неантропізованої" будови регіону (див. р.1 і наші праці [45, 58]). А отже до складу таких елементів входять біоцентри (БЦ_{кп}), біокоридори (БК_{кп}) та інтерактивні елементами (ІЕЛ_{кп}), звідки матимемо

$$\{СГСМ_{кп}\} \equiv \{БСЛТС_{кп}\} \in \{БЦ_{кп} \cap БК_{кп} \cap ІЕЛ_{кп}\} , \quad (6.27)$$

$$D \{СГСМ_{кп}\} \equiv D \{БСЛТС_{кп}\} = \{БСЛТС_{кп}(\omega_{БСЛТСкп}, R_{БСЛТСкп}, t)\} = \\ = \{БЦ(\omega_{БЦкп}, R_{БЦкп}, t) \cup БК(\omega_{БКкп}, R_{БКкп}, t) \cup ІЕЛ(\omega_{ІЕЛкп}, R_{ІЕЛкп}, t)\} , \quad (6.28)$$

де $\omega_{БСЛТСкп} \dots \omega_{ІЕЛкп}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.27); $R_{БСЛТСкп} \dots R_{ІЕЛкп}$ – просторові субобласті цих субполів із огляду на те, що $R_{БСЛТСкп} \neq R$.

По-третє, ми будемо оперувати (квазі)природною інтегрованою мережною біоландшафтною субструктурою (ІСМ_{кп}). Її можна ототожнити з сукупністю мережно поєднаних елементів (квазі)природної біоландшафтної територіальної структури (БЛТС_{кп}) регіону. Під останньою, на розвиток положень початку цього розділу, будемо розуміти мережну структуру біоландшафтного різноманіття, за (квазі)геосистеми якої як елементи правлять поєднані між собою реконструйовані (референційні) фрагменти синергічно інтегрованих певних складників ландшафт-

них і басейнових субструктур і (квазі)природної біоцентрично-сітьової ЛТС з урахуванням загального тла (квазі)природних сингулярних площинних субструктур. При цьому, з одного боку, зважаючи на "регіональність" модельної екомережі, до щойно зазначених складників належать, насамперед, геосистеми підурочищ і урочищ і поєднань басейнових морфологічно-позиційних субструктур – терасово-заплавних, заплавно-руслівих тощо – та/або відповідні частини таких геосистем. З іншого боку, власне (квазі)геосистемами $БЛТС_{КП}$ є **регіональні (квазі)природні ядра (КПЯ) та коридори (КПКР) біоландшафтного різноманіття** (або ядра та коридори $БЛТС_{КП}$). Вони правлять за (квазі)природний, тобто **реконструйований каркас біоландшафтного різноманіття ($РКБР_{РМЕ}$)** обраного для моделювання екомережі регіону. Звідси

$$\{ICM_{КП}\} \equiv \{БЛТС_{КП}\} \in \{ПУГ \cap УРГ \cap (\cup) \cap (\cup) ПМПС \cap БЛТС_{КП}\} \forall \{СГСП\}, \quad (6.29)$$

$$\{БЛТС_{КП}\} \equiv \{РКБР_{РМЕ}\} \in \{КПЯ \cap КПКР\} \forall \{СГСП\}, \quad (6.30)$$

$$\begin{aligned} D \{БЛТС_{КП}\} &\equiv D \{РКБР_{РМЕ}\} = \{БЛТС_{КП}(\omega_{БЛТС_{КП}}, R_{БЛТС_{КП}}, t)\} = \\ &= \{РКБР_{РМЕ}(\omega_{РКБР_{РМЕ}}, R_{РКБР_{РМЕ}}, t)\} = \\ &= \{КПЯ(\omega_{КПЯ}, R_{КПЯ}, t) \cap КПКР(\omega_{КПКР}, R_{КПКР}, t)\} \forall \{СГСП(\omega_{СГСП}, R_{СГСП}, t)\}, \quad (6.31) \end{aligned}$$

де $\omega_{БЛТС_{КП}} \dots \omega_{СГСП}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.29)-(6.30); $R_{БЛТС_{КП}} \dots R_{СГСП}$ – просторові субобласті цих субполів, зважаючи на те, що $R_{БЛТС_{КП}} \neq R$ тощо (див. попередні моделі).

Натурально-антропогенну та антропогенну структури (підсистеми) регіону моделювання екомережі доцільно спільно формалізувати за відповідними підходами р.1. А саме це робиться за моделлю (1.5), яка в спрощеному вигляді відтворює першорівневий склад геосистем зазначених структур за табл.1.2, а отже в даному випадку може бути записана як

$$\begin{aligned} \{НАРМ \cup АРМ\} &\in \{ПО_1 \cup БО_II \cup Л_III \cup ЧТ_IV \cup АГ_V \cup ГТГМ_{VI}, \cup \\ &\cup РКОВ_{VII} \cup СЕ_{VIII} \cup ПБ_{IX} \cup ГП_X \cup ТЗ_{XI} \cup БРР_{XII} \cup ГП_{XIII}\}. \quad (6.32) \end{aligned}$$

Вирізнення геосистем наступних рівнів у субструктурах за (6.32) здійснюється теж аналогічно моделі (1.6), за винятком природоохоронної субструктури, яка має дещо інший склад і символічне позначення ($ПО_1 \rightarrow ПОС$). Тобто, наприклад, гідротехнічно-гідромеліоративна субструктура ($ГТГМ_{VI}$) регіону моделювання екомережі поділяється згідно з табл.1.2 на такі субструктури-складники, як осушувально-зволожувальна, осушувальна або зволожувальна та гідромеліоративно-геонегативна, а отже

$$\{ГТГМ_{VI}\} \in \{ГТГМ_{VI,1} \cup ГТГМ_{VI,2} \cap (\cup) ГТГМ_{VI,2}\}. \quad (6.33)$$

Натомість *природоохоронна субструктура ПОС*, на відміну від поділу за табл.1.2, диференціюється на дещо інші регіональні субструктури-компоненти, серед яких:

- об'єкти природно-заповідного фонду від природних заповідників до парків-пам'яток садово-паркового мистецтва (*ПЗФС*);
- біотично-охоронні субструктури (*БОС*). До їхнього складу доцільно віднести ті субструктури, які задаються електронними варіантами Червоної та Зеленої книг України ([18, 19]), а саме субструктури "червонокнижних" видів тварин (*ЧВТС*) і рослин (*ЧВРС*) і "зеленокнижних" рослинних асоціацій (*ЗРАС*);
- інші спеціальні охоронні субструктури (*ІСОС*), а саме водоохоронні, санітарні, лісогосподарсько-охоронні, рибогосподарсько-охоронні, охорони водно-болотних угідь чи культурної спадщини тощо;
- екомережні субструктури (*ЕМС*).

Таким чином, загалом можна записати, що

$$\{ПОС\} \in \{ПЗФС \cap (\cup) БОС \cup (\cap) ІСОС \cap (\cup) ЕМС\}, \quad (6.34)$$

$$\begin{aligned} D \{ПОС\} &= \{ПОС(\omega_{ПОС}, R_{ПОС}, t)\} = \\ &= \{ПЗФС(\omega_{ПЗФС}, R_{ПЗФС}, t) \cap (\cup) БОС(\omega_{БОС}, R_{БОС}, t) \cup (\cap) \\ &\cup (\cap) ІСОС(\omega_{ІСОС}, R_{ІСОС}, t) \cap (\cup) ЕМС(\omega_{ЕМС}, R_{ЕМС}, t)\}, \end{aligned} \quad (6.35)$$

$$\{БОС\} \in \{ЧВТС \cap (\cup) ЧВРС \cap (\cup) ЗРАС\}, \quad (6.36)$$

$$\begin{aligned} D \{БОС\} &= \{БОС(\omega_{БОС}, R_{БОС}, t)\} = \{ЧВТС(\omega_{ЧВТС}, R_{ПЗФС}, t) \cap \\ &(\cup) ЧВРС(\omega_{ЧВРС}, R_{ЧВРС}, t) \cup (\cap) ЗРАС(\omega_{ЗРАС}, R_{ЗРАС}, t)\}, \end{aligned} \quad (6.37)$$

де $\omega_{ПОС} \dots \omega_{ЗРАС}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.34) і (6.36); $R_{ПОС} \dots R_{ЗРАС}$ – просторові субобласті цих субполів з огляду на те, що $R_{ПОС} \neq R$, і на те, що субструктури *БОС* задаються як точковими та площинними просторовими об'єктами, так і угрупованнями таких об'єктів (див. [44, 51, 57]).

Екомережні ж субструктури у (6.34) будуть відповідати загальному запису

$$\{ЕМС\} \in \{НЛЕМ \cap (\cup) ІСМ_{АНА} \cap (\cup) МЕМ\}, \quad (6.38)$$

а отже містити:

1) **субструктури елементів національної (міжрегіональної) та локальних екомереж (НЛЕМ)** у регіоні моделювання із зважанням на рівень реалізації природоохоронного статусу цих елементів, зокрема запроєктований, частково реалізований, реалізований тощо;

2) **актуальну натурально-антропогенну, слабко антропізовану та зредуковану за складом, інтегровану мережну біоландшафтну субструктуру регіону (ІСМ_{АНА})**, яка тотожна вже його актуальній натурально-антропогенній біоланд-

шафтній територіальній структурі ($БЛЛТС_{АНА}$) (див. попередній текст стосовно (6.29)-(6.31)). А отже, за (квазі)геосистеми останньої правлять вже поєднані та/або, частіше, роз'єднані між собою лише ті, що збереглися, насамперед "за сприяння" людини, в природно-натуральному стані в умовах антропоізації та дії структуро-деструкційних природних чинників, та/або вже відновлені фрагменти синергічно інтегрованих певних компонентів (квазі)природної структури $РМЕ$. Ними є компоненти ландшафтних і басейнових субструктур ($ПУГ_{АНА}$, $УРГ_{АНА}$ і $ПМПС_{АНА}$) і актуальної природно-антропогенної біоцентрично-сітьової $ЛТС$ ($БСЛЛТС_{АНА}$), а також відповідні складники природоохоронних субструктур $ПЗФС$, $БОС$ і $ІСОС$, зважаючи й на загальний склад інших елементів регіональної натурально-антропогенної та антропогенної структури (див. записи (6.32)-(6.33)). Тобто, безпосередньо за (квазі)геосистеми $БЛЛТС_{АПА}$ правлять **регіональні актуальні натурально-антропогенні ядра** ($АНАЯ$) та **коридори** ($АНАКР$) **біоландшафтного різноманіття** (або **ядра та коридори** $БЛЛТС_{АНА}$). Вони утворюють той, що зберігся або відновлений в природно-натуральному стані, **актуальний каркас біоландшафтного різноманіття** ($АКБР_{РМЕ}$) визначеного для моделювання екомережі **регіону**. Звідси, не забуваючи про заміну $ПО_1 \rightarrow ПОС$ у (6.32),

$$\{ICM_{АНА}\} \equiv \{БЛЛТС_{АНА}\} \in \{ПУГ_{АНА} \cap УРГ_{АНА} \cap (\cup) ПМПС_{АНА} \cap \cap БСЛЛТС_{АНА} \cap ПЗФС \cap БОС \cup ІСОС\} \forall \{(НАРМ \cup АРМ) - ПОС\} , \quad (6.39)$$

$$\{БЛЛТС_{АНА}\} \equiv \{АКБР_{РМЕ}\} \in \{АНАЯ \cap АНАКР\} \forall \{(НАРМ \cup АРМ) - ПОС\} , \quad (6.40)$$

$$\begin{aligned} D \{БЛЛТС_{АНА}\} &\equiv D \{АКБР_{РМЕ}\} = \{БЛЛТС_{АНА}(\omega_{БЛЛТС_{АНА}}, R_{БЛЛТС_{АНА}}, t)\} = \\ &= \{АКБР_{РМЕ}(\omega_{АКБР_{РМЕ}}, R_{АКБР_{РМЕ}}, t)\} = \\ &= \{АНАЯ(\omega_{АНАЯ}, R_{АНАЯ}, t) \cap АНАКР(\omega_{АНАКР}, R_{АНАКР}, t)\} \forall \\ &\forall \{(НАРМ \cup АРМ)((\omega_{НАРМ \cup АРМ}), R_{НАРМ \cup АРМ}, t) - ПОС(\omega_{ПОС}, R_{ПОС}, t)\} , \quad (6.41) \end{aligned}$$

де $\omega_{БЛЛТС_{АПА}} \dots \omega_{ПОС}$ – кількості фіксацій випадкових субполів відповідних субструктур за (6.39)-(6.40); $R_{БЛЛТС_{АПА}} \dots R_{ПОС}$ – просторові субобласті цих субполів, зважаючи на те, що $R_{БЛЛТС_{АПА}} \neq R$ тощо (див. попередні моделі);

3) власне **регіональну екомережу, що моделюється** ($МЕМ$). Під нею, як вже в загальних рисах зазначалося на початку розділу, буде розумітися, з одного боку й насамперед, обґрунтована за складом і модельно об'єднана в мережу сукупність (квазі)геосистем актуальної натурально-антропогенної та/або (квазі)природної біоландшафтно-територіальної структури. Такі (квазі)геосистеми має бути початково ідентифіковано й остаточно обрано за заданою системою критеріїв аналізу біоландшафтного різноманіття з метою поточного або перспективного збереження та/або ренатуралізувального реставрування й охорони цих (квазі)геосистем як екомережних складників. З іншого боку, до складу $МЕМ$ може бути додатково модельно залучено й сукупність нових штучних, передбачених для створення, елементів природоохоронних субструктур як ядер-складників або коридорів-складників $ПОС_{Дод}$. Вони можуть і мають забезпечувати оптимальний склад і сформованість майбут-

ньої екомережі. За такі складники **ПОС_{ДОД}** можуть правити, наприклад, нові штучні лісосмуги вздовж меліоративних каналів як коридори біорізноманіття, біоплато як штучні ядра біорізноманіття тощо. Обидві щойно зазначені сукупності спільно призначено для забезпечення реалізації й усталеного функціонування **оптимально сформованого** шляхом відновлення й додаткового створення **каркаса біоландшафтного різноманіття регіону (ОСКБР_{РМЕ})**. Він за структурою має бути максимально можливо наближеним до (квазі)природного такого каркасу з урахуванням реальної регіональної геоecологічної ситуації та потреби в оптимальній будові й сформованості майбутньої екомережі. При цьому за власне **структурні елементи ((квазі)геосистеми) модельної екомережі** будуть правити її **регіональні екомережні ядра (ЕМЯ) й коридори (ЕМКР)**, а також їхні **буферні зони (БУЗ)**, а отже

$$\{MEM\} \in \{БІЛТС_{АНА} \cap (\cup) БІЛТС_{КП} \cup ПОС_{ДОД}\} \in \{ЕМЯ \cup ЕМКР \cup БУЗ\} = \\ = \{ОСКБР_{РМЕ}\} \forall \{lim (ОСКБР_{РМЕ}) = (РКБР_{РМЕ} \cup ПОС_{ДОД})\} , \quad (6.42)$$

$$D \{MEM\} = \{MEM(\omega_{MEM}, R_{MEM}, t)\} = \\ = \{ЕМЯ(\omega_{ЕМЯ}, R_{ЕМЯ}, t) \cup ЕМКР(\omega_{ЕМКР}, R_{ЕМКР}, t) \cup БУЗ(\omega_{БУЗ}, R_{БУЗ}, t)\} = \\ = \{ОСКБР_{РМЕ}(\omega_{ОСКБР_{РМЕ}}, R_{ОСКБР_{РМЕ}}, t)\} \forall \\ \forall \{lim (ОСКБР_{РМЕ}(\omega_{ОСКБР_{РМЕ}}, R_{ОСКБР_{РМЕ}}, t)) = \\ = (РКБР_{РМЕ}(\omega_{РКБР_{РМЕ}}, R_{РКБР_{РМЕ}}, t) \cup ПОС_{ДОД}(\omega_{ПОС_{ДОД}}, R_{ПОС_{ДОД}}, t))\} , \quad (6.43)$$

де $\omega_{MEM} \dots \omega_{ПОС_{ДОД}}$ – кількості фіксації випадкових субполів відповідних субструктур і елементів за (6.42); $R_{MEM} \dots R_{ПОС_{ДОД}}$ – просторові субобласті цих субполів і елементів.

Тракування та систематизування щойно наведених основних структурних елементів регіональної екомережі, що моделюється, можна стисло звести до наступного.

Так, **регіональне екомережне ядро** (далі, скорочено, **регіональне екоядро** або просто **екоядро** з аббревіатурою **ЕМЯ**) – це ядро актуальної натурально-антропогенної біоландшафтно-територіальної структури (**БІЛТС_{АНА}**) та/або (квазі)природної біоландшафтно-територіальної структури (**БІЛТС_{КП}**) і/чи ядро-складник додаткових елементів природоохоронних субструктур (**ПОС_{ДОД}**), обране як модельний елемент регіональної екомережі у вигляді її ядра. Цей вибір робиться з огляду на те, що властивості такого екоядра за біоекосистемними, геосистемними та комплексними ознаками біоландшафтного різноманіття істотно регіонально відрізняються та є значущими й особливо цінними для функціонування оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону. Основними атрибутами екоядра є:

- сингулярна або інтегрована типовість ("еталонність") і/або унікальність для регіону головних ознак біоландшафтного різноманіття;
- цінність генофонду;
- високий ступінь біоландшафтно-натуральності;

– рівень стану або технологічних рішень щодо нього, який забезпечує сьогоденну та/або перспективну можливість збереження та/або відновлення чи підтримання під час створення визначальних біоландшафтно-різноманітних властивостей;

– супутні до вже зазначених й інші атрибути. За них можуть правити, зокрема, різноманітність едафічних умов та їхня привабливість для типових і/або рідких і тих, які зникають, регіональних біовидів і біогруповань, достатність розмірів для виконання відповідних каркасотвірних функцій тощо.

Типологічна класифікація регіональних екоядер містить ланцюжок таксонів, а саме: *гіперклас – гіперпідклас – клас – підклас – група – підгрупа – тип – підтип – категорія – розряд – підрозряд першого рівня деталізації – підрозряд другого рівня деталізації – вид – підвид – варіант – підваріант – рід* (табл.6.1).

Таблиця 6.1 – Типологічна класифікація регіональних екомережних ядер (за [57] з урахуванням [6, 7, 61, 62])

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Гіперклас	Відповідність типам і підтипам рослинних формацій, які відображають фізико-географічну зональність, інтразональність або екстразональність	Мішано-лісові, широколистяно-лісові, лісостепові, степові (північностепові, середньостепові, південностепові, сухостепові) тощо; болотні, заплавні, лучні; формацій пісків, карбонатних відкладів, кам'янистих ділянок тощо; ділянок мішаних лісів на надзаплавних терасах лісостепової й степової зон тощо
Гіперпідклас	Генезис	(Квазі)природні, натурально-антропогенні
Клас	Відповідність класам ідентифікаційних критеріїв можливих елементів екомережі (табл.6.4)	Біоекосистемні; геосистемні; комплексні, серед них подвійно поєднані, тобто біоекосистемно-геосистемні або геосистемно-біоекосистемні, та суто комплексні
Підклас	Відповідність типам (підтипам) ідентифікаційних критеріїв можливих елементів екомережі (табл.6.4)	Біопопуляційні, біоценотичні, загальнобіоекосистемні; ландшафтно-унікальні, ландшафтно-різноманітні, ландшафтно-репрезентативні, історико-культурні; біоландшафтно-натуральні, природоохоронно-типові (созологічно-типові, статусно-типові), гідроінвайронментні (гідроекосистемні, гідрогосистемні) тощо, зважаючи на певні можливі поєднання критеріїв
Група	За приналежністю до певного типу біотичних плямистих ЛТС	Популяційні / "специфічні" (підвищені для ландшафту показники щільності певної популяції; актуальні для визначеного біовиду, що досліджується); синекологічні / "нейтральні" (підвищені показники видової насиченості)
Підгрупа	Залежно від біоекологічного призначення та донорно-акцепторних генетичних взаємодій	Ресурсні (харчові ділянки), етологічні (гніздові території, території шлюбних ігор, кладки яєць, відгодівлі молоді), міграційні (місця перепочинку, перебування від хижаків тощо або, навпаки, як певні перешкоди на шляху міграції для деяких біовидів), комплексні; ядра-донори, ядра-акцептори

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Тип	Висотне місцезнаходження стосовно регіонального базису ерозії	Підвищені, середньовисотні, низовинні, низинні тощо
Підтип	Характер поєднання форм рельєфу	Слабко, середньо, сильно розчленовані тощо
Категорія	Діапазони едафічних умов за ознаками теплозабезпеченості, зволоженості, галоморфності та трофності	Мезотермні (2000-3000 Мдж/м ² рік), субмезотермні (1600-2000 Мдж/м ² рік), субмікротермні (1200-1600 Мдж/м ² рік), мікротермні (800-1200 Мдж/м ² рік), нанотермні (<800 Мдж/м ² рік) (актуальні для території України); гідроморфні (водоймові, водотокові), субгідроморфні (прибережно-водні), гігморфні (болотяні), субгігморфні (болотяно-лісолучні), семігігморфні (сиролісолучні), мезогігморфні (вологолісолучні), мезоморфні (сухолісолучні); мезоксероморфні (лучно-степові), семіксероморфні (степові), субксероморфні (сухостепові), ксероморфні (напівпустельні) тощо; екстрагаломорфні (з "вицвітами" солей), гіпергаломорфні (на солончаках (сильнозасолених солончакових ґрунтах)), пергаломорфні (на солончакуватих і солончакових ґрунтах), еугаломорфні (на глибокосолончакуватих і солончакуватих ґрунтах), галоморфні (на глибокозасолених, глибокосолончакуватих і солончакових ґрунтах), субгаломорфні (на глибокозасолених і солончакуватих ґрунтах), семігаломорфні (на глибокосолончакуватих і глибокозасолених ґрунтах), незасолені (на незасолених ґрунтах); гіпероліготрофні, пероліготрофні, оліготрофні, суболіготрофні, мезотрофні, семіевтрофні, субевтрофні, евтрофні; комбіновані (ксеро-літотопні, гало-гігротопні тощо)
Розряд	Міра територіальності за площею	Дуже малі (до 2 км ²), малі (2-10 км ²), середні (10-50 км ²), великі (50-100 км ²), дуже великі (> 100 км ²)
Підрозряд 1 рівня	Тип форми	Округлі, еліпсоїдні, квадратоподібні, променеві, шестернеподібні, розігнуті тощо та поліморфні
Підрозряд 2 рівня	Складність форми за одиницею індексом, як відношення периметра до площі	Дуже прості (до 0,3), прості (0,3-0,5), ускладнені (0,5-1,0), складні (1,0-2,0), дуже складні (> 2,0)

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Вид	За внутрішньою структурою та мірою однорідності прилеглого фону ландшафту	Дискретні однотипні на гомогенному фоні; дискретні різноякісні на гомогенному фоні; дискретні гетерогенні на гомогенному фоні; розмиті на гомогенному фоні; дискретні однотипні на гетерогенному фоні; дискретні гетерогенні на гетерогенному фоні; розмиті на гетерогенному фоні
Підвид	За структурно-функціональною формою меж	Екоядра з квазілінійними (автономними, неавтономними (кордонними буферно-смугових або у їхньому складі тощо)), буферно-смуговими (клінальними, геотонними), поліморфними (комбінованими) межами (див. р.7)
Варіант	Значущість для територіальної структури екомережі	Регіональні "ключові", підсистемні "ключові", суто системні, ізольовані (за рейтингом топологічних індексів доступності), а також різновиди за синтетичним індексом значущості ядер
Підваріант	Міра належності до структури міжрегіональної екомережі або поєднання з такою структурою чи віддаленості від неї	Регіональні в складі міжрегіональної екомережі, безпосередньо поєднані з міжрегіональною екомережею, близького оточення міжрегіональної екомережі, віддалені від зазначеної мережі тощо
Рід	Фактичний рівень стану, зокрема за його складниками	З вельми сильною, сильною, середньою, послабленою й ін. здатністю до саморегуляції (за табл.2.3); за мірою параметрично-процесної стійкості (див. (2.58)-(2.59)); за сучасним рівнем розвитку (критичні, пригнічені або нормальні)

Регіональний екомережний коридор (далі, скорочено, **регіональний екокоридор** або просто **екокоридор** з аббревіатурою **ЕМКР**) – це коридор актуальної натурально-антропогенної біоландшафтної територіальної структури ($БІЛТС_{АНА}$) та/або (квазі)природної біоландшафтної територіальної структури ($БІЛТС_{КП}$) і/чи коридор-складник додаткових елементів природоохоронних субструктур ($ПОС_{ДОД}$), визначений як модельний елемент екомережі у вигляді її коридору. При цьому зважають на те, що такий екокоридор є суттєво необхідним для підтримки регіональних просторових зв'язків між екоядрами та функціонування оптимально сформованого регіонального каркаса біоландшафтного різноманіття як мережного утворення в цілому, а також на те, що він виконує певні регіонально значущі функції відтворення та охорони довкілля. Основними атрибутами екокоридору є:

- висока міра біоландшафтної натуральності;
- достатність ширини й протяжності та сприятливість едафічних особливостей для ефективного забезпечення потрібних функцій міграції та розселення біовидів і обміну їхнім генофондом;
- відсутність бар'єрів, які є непереборними для виконання щойно зазначених функцій;

- адекватність едафічних умов або типу біоугруповань екокоридору таким же характеристикам екоядер, які він поєднує;
- рівень стану, достатній для збереження та/або відновлення чи створення як елемента екомережі;
- супутні та інші, зокрема спільні з екоядрами, корисні для довкілля та людини властивості, такі як естетичні тощо.

Типологічна класифікація регіональних екомережних коридорів оперує ланцюжком певних класифікаційних таксонів, а саме: *гіперклас – гіперпідклас – клас – група – підгрупа – тип – категорія – підкатегорія першого рівня деталізації – підкатегорія другого рівня деталізації – розряд – вид – підвид – варіант* (табл.6.2).

Таблиця 6.2 – Типологічна класифікація регіональних екомережних коридорів (за [57] з урахуванням [6, 7, 61, 62])

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Гіперклас	Відповідність типам і підтипам рослинних формацій, які відображають фізико-географічну зональність, інтразональність чи екстразональність	Мішано-лісові, широколистяно-лісові, лісостепові, степові (північностепові, середньостепові, південностепові, сухостепові) тощо; болотні, заплавні, лучні; формацій пісків, карбонатних відкладів, кам'янистих ділянок тощо
Гіперпідклас	Генезис	(Квазі)природні, натурально-антропогенні
Клас	Набір домінантних видів або підвидів з їхніми відповідними різновидами геопозитивних ПСЕФ (див. табл.1.4)	Набори із: специфічних геопозитивних ПСЕФ – специфічно-екомережних, імпаکتно-позитивних; довкілля-ресурсо-охоронних ПСЕФ – історико-культурно-заповідних, самоочишувальних; довкілля-ресурсо-відтворювальних ПСЕФ – ландшафтно-відтворювальних, ландшафтно-естетичних тощо
Група	Позиція та тип поверхні	Рівнинні (плакорні), схиліві, терасові, терасово-заплавні, яружно-балкові, руслові, літоральні тощо, а також комбіновані за групою
Підгрупа	Тип водно-міграційного режиму	Елювіальні, транселювіальні, елювіально-гідроморфні, транселювіально-гідроморфні, гідроморфні, гідроморфні критичні, трансгідроморфні, амфібіальні, аквальні
Тип	Діапазони едафічних умов за ознаками теплозабезпеченості, зволоженості, галоморфності і трофності	Те ж саме, що і для категорії екоядер (див. табл.6.1)
Категорія	Міра територіальності за умовною шириною як відношенням площі до довжини за віссю	Вельми вузькі смугові (до 1 км), вузькі смугові (1-2 км), широкі смугові (> 2 км)
Підкатегорія 1 рівня	За структурно-функціональною формою, зокрема меж	Те ж саме, що і для підвиду екоядер (див. табл.6.1)

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Підкатегорія 2 рівня	Міра територіальності за площею та довжина за віссю	Вельми малі (до 1 км ²), малі (1-2 км ²), середні (2-5 км ²), великі (5-10 км ²), вельми великі (> 10 км ²); короткі (до 2 км), протяжні (2-10 км), вельми протяжні (> 10 км)
Розряд	Тип форми	Прямі, помірно звивисті, дуже звивисті (за коефіцієнтом звивистості, див. [46])
Вид	Значущість для територіальної структури екомережі	Регіоносполучні, підсистемосполучні, суто системні, частково сполучні (незавершені), несполучні, а також види за синтетичним індексом міграційної значущості екокоридорів
Підвид	Міра належності до структури міжрегіональної екомережі чи поєднання з такою структурою або віддаленості від неї	Регіональні в складі міжрегіональної екомережі, поєднуювальні з міжрегіональною екомережею, близького оточення міжрегіональної екомережі, віддалені від зазначеної мережі тощо
Варіант	Фактичний рівень стану, зосібна. за його складниками	З вельми сильною, сильною, середньою, послабленою та ін. здатністю до саморегуляції (за табл.2.3); за мірою параметрично-процесної стійкості (див. (2.58)-(2.59)) тощо

Буферна зона (БУЗ) елемента регіональної екомережі (екоядра чи екокоридору, тобто $\{БУЗ\} \in \{БУЗ_{ЕМЯ}, БУЗ_{ЕМКР}\}$) (далі, скорочено, **буферна зона**) – змодельована навколо такого елемента захисна межова субструктура у вигляді вимірного (нормативного) буфера (див. наші праці [46, 48]) з відповідним спеціальним режимом природокористування. Вона моделюється для забезпечення виконання основної функції – обмеження та подальшого зниження, аж до повної ліквідації, несприятливого для стану та статусу екоядра чи екокоридору зовнішнього впливу прилеглих до них натурально-антропогенних і антропогенних структур, крім, зрозуміло, природоохоронних. Основними атрибутами буферної зони є:

- достатність ширини та/або площі для ефективної реалізації заданих буферно-захисних функцій;
- реальність чинного або перспективного виконання таких функцій з огляду на рівень стану та склад об'єктів тощо у власних межах;
- системна сполучність як із об'єктами захисту, тобто ядрами й коридорами екомережі, так і з зовнішніми субструктурами, вплив яких на екомережу має бути знижено чи ліквідовано;
- інші корисні межові властивості.

Таксономічний ланцюжок **типологічної класифікації буферних зон елементів екомережі**, яка значною мірою враховує здобутки із класифікації каркасних меж, наведені у р.7 і наших працях [49, 52], має такий вигляд: *гіперклас – клас – підклас – група – підгрупа першого рівня деталізації – підгрупа другого рівня деталізації – тип – підтип першого рівня деталізації – підтип другого рівня деталізації – категорія – розряд* (табл.6.3).

Таблиця 6.3 – Типологічна класифікація буферних зон елементів регіональної екомережі (за [57])

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Гіперклас	Зважаючи на фактичний об'єкт захисту	"Навколоядерні", "навокolorидорні", а також з додатковим поділом на буферні зони першочергових і перспективних елементів регіональної екомережі
Клас	Генезис	(Квазі)природні, натурально-антропогенні, антропогенні
Підклас	Позиція в розрахунковій системі координат	Суходільні, суходільно-акваторійні (акваторійно-суходільні)
Група	Структурно-функціональна форма та усереднена ширина	Квазілінійні, буферно-смугові, поліморфні (поздовжньо-поліморфні, поперечно-поліморфні, складних поєднань); вельми вузькі смугові, вузькі смугові, широкі смугові
Підгрупа 1 рівня	Деталізація ознак групи для буферно-смугових	Буферно-смугові: клінальні, геотонні, комбіновані
Підгрупа 2 рівня	Топологічна деталізація ознак групи за компоновкою та просторовою цілісністю	Суцільно-оконтурювальні, фрагментарні (дискретно-оконтурювальні); неперервні, дискретні, перфоровані тощо
Тип	Реальна функціональність як міра взаємодії та зв'язків сусідніх геосистем	Контактні, бар'єрно-переборні, бар'єрно-непереборні, мембранні (комплексні)
Підтип 1 рівня	Деталізація ознак типу за змістом взаємодії з певними речовинно-енергетичними потоками між екоядрами й екокоридорами та сусідніми геосистемами	<i>Квазілінійні та клінальні контактні і бар'єрно-переборні: градієнтно-додатні, градієнтно-від'ємні тощо; квазілінійні бар'єрно-непереборні: дивергентні, конвергентні, відхиляльні, відбивальні, перехоплювальні (затримувальні), стримувальні (утримувальні) тощо</i>
Підтип 2 рівня	Деталізація ознак підтипу першого рівня за різновидом (змістом) речовинно-енергетичних потоків та/або супутніх / наслідкових до них процесів, враховуючи і процеси у власне буферних зонах тощо	<i>Квазілінійні перехоплювальні (затримувальні): наносопотокові, полюціопотокові тощо; геотонні контактено-генераційні: термоаероциркуляційно-генераційні, гідроаероциркуляційно-генераційні тощо; геотонні бар'єрно-переборні трансформаційні: теплообмінні, полюціо-трансформаційні тощо; геотонні бар'єрно-переборні трансформаційно-градієнтні: геохімічно-міграційні тощо; геотонні бар'єрно-непереборно-накопичувальні: полюціо-накопичувальні, снігозатримувальні, рослинно-спорові, еолово-аккумулятивні, наносопотокові тощо; геотонні відхиляльні: аероциркуляційно-відхиляльні тощо; геотонні відбивальні: аероциркуляційно-відбивальні, зоогенно-міграційні тощо</i>

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Категорія	Набір домінуючих видів або підвидів з їхніми відповідними різновидами геопозитивних ПСЕФ (див. табл.1.4)	Аналогічно до класу екокоридорів (див. табл.6.2)
Розряд	Фактичний рівень стану, зосібна за його складниками	З вельми сильною, сильною, середньою, послабленою й ін. здатністю до саморегуляції (за табл.2.3); за мірою параметрично-процесної стійкості (див. (2.58)-(2.59)) тощо

У всіх випадках слід мати на увазі, що під час моделювання регіональної екомережі (див. (6.43)) її вищерозглянуті екоядра й екокоридори підлягають певному модельному обиранню й аналізу як можливі, а згодом остаточні основні структурні екомережні елементи з подальшим поділом їх на першочергові й перспективні з відповідними буферними зонами (див. детальніше далі п.6.3).

Зазначений останнім поділ концептуально відрізняється від наших більш ранніх розробок [44, 51] тощо, де вирізнялися т.зв. екомережні зони потенційної ренатуралізації – потенційні екоядра або екокоридори – як основні, а не другопорядкові за змістом і черговістю вибору, елементи екологічної мережі.

6.2 Критеріальний аспект моделювання екомереж

6.2.1 Критерії ідентифікації й рівня природно-каркасної значущості можливих елементів екомереж

Критеріями ідентифікації й рівня природно-каркасної значущості можливих елементів екомережі є сукупність біоекосистемних, геоекосистемних і комплексних критеріїв, які правлять за підставу для розгляду певних територій як можливих елементів екомережі, передусім її екоядер і екокоридорів. В основу класифікаційної схеми таких критеріїв покладено спадний ієрархічний ланцюжок класифікаційних таксонів, а саме: *клас – тип (підтип) – вид (підвид) критеріїв* (табл.6.4).

Розглянемо деякі складники класифікаційної схеми за табл.6.4, які потребують більш детальних коментарів, з огляду на те, що повномірний розгляд цієї схеми здійснено в наших працях [44, 51, 57]).

За таких умов до складу симплексних і інтегральних **показників ландшафтного різноманіття** входить комплекс з:

- безрозмірних п'яти часткових (симплексних), трьох усереднених і одного інтегрального (середньовиваженого) коефіцієнтів хорично-типової варіації геоекосистем генетико-морфологічної (ГМЛТС) (із загальним типом символу $C_{v,CH/TP}$);
- регіональних модульних коефіцієнтів геоекосистем ГМЛТС ($K_{Nm,reg}$);
- інтегральних індексів хорично-типової мінливості геоекосистем ГМЛТС ($I_{CH/TP}$).

Таблиця 6.4 – Класифікаційна схема критеріїв ідентифікації й рівня природно-каркасної значущості можливих елементів екомережі

Клас, тип (підтип) критеріїв	Вид (підвид) критеріїв		Основний результат вихідного застосування критеріїв
	Вербальні (змістові)	Параметричні (метричні та/або топологічні)	
1.1. Клас біоекосистемних критеріїв (критеріїв біорізноманіття):			
1.1.1. Біопопуляційні критерії	Наявність рідких, ендемічних і реліктових видів	Питомі щільності числа і місць розселення (мешкання) "червонокнижних" біовидів	Місцезнаходження й атрибути біопопуляційних ядер і інших ареалів
1.1.2. Біоценотичні критерії	Наявність особливо цінних рослинних асоціацій, які потребують збереження	Питомі щільності числа і місць розселення "зеленокнижних" асоціацій рослинності	Місцезнаходження й атрибути біоценотичних ядер і інших ареалів
1.1.3. Загальні біоекосистемні критерії	Регіональна типовість і/або унікальність біогруповань за складом домінантів і едифікаторів тощо	Задані параметри біотопів тощо	Місцезнаходження й атрибути біоекосистемних ядер і інших ареалів
1.2. Клас геосистемних критеріїв:			
1.2.1. Критерії ландшафтної унікальності геосистем ГМЛТС	Зональна та/або регіональна унікальність геосистем генетикоморфологічної ЛТС (ГМЛТС), які збереглися в близькому до референційних геосистем стані	Повторюваність типів ландшафтів і параметри обмежень на максимальну кількість і мінімальну площу геосистем	Місцезнаходження й атрибути ядер ландшафтної унікальності ("унікальних" геосистем)
1.2.2. Критерії ландшафтного різноманіття:			
1.2.2.1. хоричного різноманіття геосистем ГМЛТС	Територіальне поєднання значного числа довільних за типом геосистем ГМЛТС	Коефіцієнти хоричної варіації за (6.44)-(6.50)	Місцезнаходження й атрибути ядер і інших ареалів хоричного різноманіття геосистем генетикоморфологічної ЛТС
1.2.2.2. типового різноманіття геосистем ГМЛТС	Територіальне поєднання значного числа різнотипових геосистем ГМЛТС	Коефіцієнти типової варіації за (6.51)-(6.60)	Місцезнаходження й атрибути ядер і інших ареалів типового різноманіття геосистем ГМЛТС

Клас, тип (підтип) критеріїв	Вид (підвид) критеріїв		Основний ре- зультат вихід- ного застосу- вання критеріїв
	Вербальні (змістові)	Параметричні (метричні та/або топологічні)	
1.2.2.3. складності геосистем <i>ГМЛТС</i> (інте- гральні-1)	Значна "строкатість" кількості геосистем <i>ГМЛТС</i> і кількості їх- ніх типів	Середні та інтегра- льні (середньовива- жені) коефіцієнти хорично-типової варіації за (6.61)- (6.62) і регіональні модульні коефіцієн- ти хорично-типової мінливості за (6.63)	Місцезнахо- дження й атрибу- ти ядер і інших ареалів складнос- ті (хорично- типового різно- маніття) геосис- тем <i>ГМЛТС</i>
1.2.2.4. кон- трастності ге- осистем <i>ГМЛТС</i>	Значна несхожість генезису й стану сусідніх геосистем <i>ГМЛТС</i>	Питомі загальні довжини меж геосис- тем, коефіцієнти контрастності	Місцезнахо- дження й атрибу- ти ядер і інших ареалів контраст- ності геосистем <i>ГМЛТС</i>
1.2.2.5. ін- тегральні-2	Значна хорично-типова варіабе- льність геосистем <i>ГМЛТС</i> з ура- хуванням конкретно-територіаль- ного та регіонального аспектів	Інтегральні індекси хорично-типової мінливості геосис- тем <i>ГМЛТС</i> за (6.65)	Місцезнахо- дження й атрибу- ти інтегральних ядер і інших аре- алів хорично- типового різно- маніття <i>ГМЛТС</i>
1.2.3. Крите- рії ландшафт- ної репрезен- тативності	Найбільша регіональна типовість геосистем <i>ГМЛТС</i>	Індекси компози- ційної репрезента- тивності території за (6.66)	Місцезнахо- дження й атрибу- ти ядер і інших ареалів ландшафт- ної репрезента- тивності
1.2.4. Крите- рії історико- культурної значущості ландшафтів	Історико-культурна, наукова й естетична значущість геосистем, які досі не віднесені до тих, які охороняються за актами про ку- льтурну спадщину	Параметр обме- жень на мінімальну площу геосистем <i>ГМЛТС</i>	Місцезнахо- дження й атрибу- ти ареалів істо- рико-культурної значущості ландшафтів
1.3. Клас комплексних критеріїв:			
1.3.1. Крите- рії біоланд- шафтної нату- ральності	Наявність геосистем (ділянок геосис- тем) <i>ГМЛТС</i> , які збереглися у близькому до референційних геосис- тем стані, з екосистемами, які є репрезентативними для зони і/або регіону за типом біоугруповань	Площі й просторові розподіли ареалів натуральної рос- линності як індика- тора	Місцезнахо- дження й атрибу- ти ареалів біола- ндшафтної нату- ральності

Клас, тип (підтип) критеріїв	Вид (підвид) критеріїв		Основний ре- зультат вихід- ного застосу- вання критеріїв
	Вербальні (змістові)	Параметричні (метричні та/або топологічні)	
1.3.2. Природоохоронно-типові критерії:			
1.3.2.1. со- зологічно- типові	Належність до об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) певного типу й елементів міжрегіональних екомереж	Категорії, площі й просторові розподіли об'єктів ПЗФ	Місцезнаходження й атрибути "нормативно існуючих" елементів екомережі
1.3.2.2. ста- тусно-типові	Належність до інших територій певного типу, які спеціально охороняються (ICOC за (6.34)-(6.35))	Категорії, площі й просторові розподіли територій спеціального статусу	Місцезнаходження й атрибути статусно-типових ареалів
1.3.3. Територіально-типові критерії:			
1.3.3.1. дост- атньої розмі- рності	Достатність розмірів об'єктів для виконання ними ПСЕФ, властивих певним елементам екомереж і їхнім типам	Типово зумовлені для екоядер, екокоридорів і буферних зон спеціальні співвідношення, обмеження тощо	Ступінь відповідності вимогам до можливих елементів екомережі
1.3.3.2. су- цільності	Суцільність або допустимість для типу поєднуваних екоядер міри фрагментованості й видів "розривів" екокоридорів, які не обмежують чи ліквідовують їхні необхідні біоміграційно-розселювальні та/або генофондно-обмінні функції	Типово зумовлені, допустимі відстані між фрагментами екокоридорів	Ступінь відповідності вимогам до можливих екокоридорів
1.3.3.3. ти- пової відпові- дності	Подібність едафічних умов чи схожість біоугруповань екоядер і екокоридорів, які їх поєднують	Коефіцієнти контрастності геосистем ГМЛТС і/або БЛТС і коефіцієнти схожості угруповань ядер	Ступінь відповідності вимогам до можливих екокоридорів
1.3.4. Гідроінвайронментні критерії:			
1.3.4.1. гід- роекосистемні	Значущість типовості, унікальності й натуральності екоядер і інших ареалів і середовищ мешкання й міграції певних видів гідробіонтів	Морфометричні, видові та інші параметри	Місцезнаходження й атрибути гідроекосистемних екоядер і інших ареалів
1.3.4.2. гід- рогеосистемні	Природно-каркасна значущість геосистем басейнової ЛТС або таксонів водних об'єктів	Морфометричні, типові й топологічні параметри і просторові розподіли геосистем або таксонів	Місцезнаходження й атрибути гідроекосистемних екоядер і інших ареалів

Клас, тип (підтип) критеріїв	Вид (підвид) критеріїв		Основний результат вихідного застосування критеріїв
	Вербальні (змістові)	Параметричні (метричні та/або топологічні)	
1.3.5. Специфічні комплексні критерії	Доцільність віднесення певних можливих елементів екомереж лише до екоядер або екокоридорів як результат комплексної "індивідуалізації" цих можливих елементів	Морфометричні, типові, видові та інші параметри можливих елементів	"Індивідуалізовані" можливі елементи екомереж

Зазначений комплекс, по-перше, передбачає використання фактичних значень параметрів ландшафтного різноманіття, розрахованих за допомогою ГІС-інструментарію для центрів правильних шестикутних ковзних неперетнутих вікон ("стільників"). Останні будують на регулярній сітці, яку накладено на цифрову карту геосистем генетико-морфологічної ЛТС (див. детальніше наші праці [44, 46, 48 51] і наступний п.6.3) (приклад на рис.6.1). Оптимальні розміри зазначених "стільників" обираються за оптимізаційною методикою, викладеною далі в п.8.1.

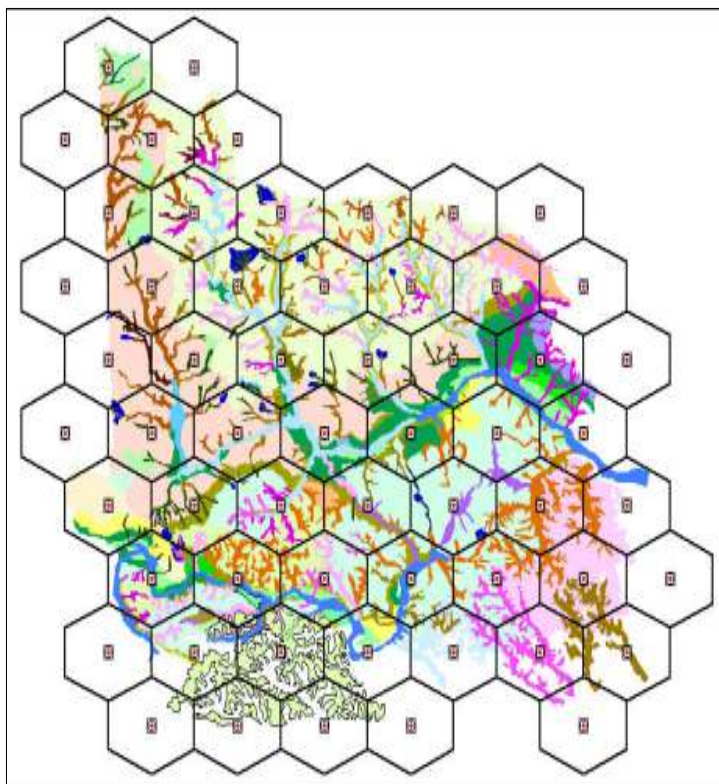


Рис.6.1 Приклад побудови правильних шестикутних ковзних неперетнутих вікон ("стільників") на регулярній сітці, яку накладено на цифрову карту геосистем ГМЛТС

По-друге, комплекс показників ландшафтного різноманіття поділяється на **три групи** зазначених вище параметрів.

Перша з таких **груп** є **набором коефіцієнтів хорично-типової варіації геосистем ГМЛТС**. Такі коефіцієнти враховують "внутрішній" аспект зазначеної варіації у кожному k -му "стілнику" певного розміру та містять:

1) **коефіцієнт хоричної варіації геосистем ГМЛТС 1** ($C_{v,CH,1,k}$) за формулою

$$\begin{aligned} C_{v,CH,1,k} &= \left\{ \left\{ \frac{1}{N-1} \right\} \sum_{i=1}^N (s_i - s_N^*)^2 \right\}^{0,5} / s_N^* = \\ &= \left\{ \left\{ \frac{1}{N-1} \right\} \sum_{i=1}^N (K_{s,i} - 1)^2 \right\}^{0,5} , \end{aligned} \quad (6.44)$$

де s_i – площа i -тої геосистеми в кожному "стілнику"; N – число всіх геосистем у кожному "стілнику"; s_N^* – середня площа геосистем у k -тому "стілнику", тобто

$$s_N^* = S / N ; \quad (6.45)$$

S – площа всіх геосистем у кожному "стілнику" певного розміру; $K_{s,i}$ – відповідний модульний коефіцієнт за власною формулою

$$K_{s,i} = s_i / s_N^* = (N \cdot s_i) / S . \quad (6.46)$$

Як видно із структури показника за формулами (6.44)-(6.46), він відтворює варіабельність "питомих" для кожного "стілника" площ геосистем, з додатковим урахуванням при цьому параметра їхньої кількості (формула (6.46));

2) **коефіцієнт хоричної варіації геосистем ГМЛТС 2** ($C_{v,CH,2,k}$) за формулою

$$\begin{aligned} C_{v,CH,2,k} &= \left\{ \left\{ \frac{1}{N-1} \right\} \sum_{i=1}^N (l_i - l_N^*)^2 \right\}^{0,5} / l_N^* = \\ &= \left\{ \left\{ \frac{1}{N-1} \right\} \sum_{i=1}^N (K_{l,i} - 1)^2 \right\}^{0,5} , \end{aligned} \quad (6.47)$$

де l_i – периметр i -тої геосистеми в кожному "стілнику"; l_N^* – середній периметр геосистем у k -тому "стілнику", тобто

$$l_N^* = L / N ; \quad (6.48)$$

де L – загальний периметр всіх геосистем у кожному "стілнику";

$K_{l,i}$ – відповідний модульний коефіцієнт, що визначається за його власною формулою

$$K_{l,i} = l_i / l_N^* = (N \cdot l_i) / L . \quad (6.49)$$

Структура показника за формулами (6.47)-(6.49) свідчить про те, що він відтворює варіабельність "питомих" периметрів геосистем. До того ж з одночасно враховується кількість геосистем (формула (6.49)) як обов'язковий для застосування параметр хоричного різноманіття;

3) усереднений за відповідною кількістю, площами й периметрами геосистем коефіцієнт хоричної варіації геосистем ГМЛТС ($C_{v,CH,k}^*$) за очевидною формулою

$$C_{v,CH,k}^* = (C_{v,CH,1,k} + C_{v,CH,2,k}) / 2 ; \quad (6.50)$$

4) коефіцієнт типової варіації геосистем ГМЛТС 1 ($C_{v,ТYP,1,k}$) за формулою

$$\begin{aligned} C_{v,ТYP,1,k} &= \{ \{1 / (m - 1)\} \sum_{j=1}^m (s_j - s_m^*)^2 \}^{0,5} / s_m^* = \\ &= \{ \{1 / (m - 1)\} \sum_{j=1}^m (K_{s,j} - 1)^2 \}^{0,5} , \end{aligned} \quad (6.51)$$

де s_j – площа геосистем j -го типу у кожному "стілнику"; m – число типів геосистем у кожному "стілнику"; s_m^* – середня площа типу геосистем у k -тому "стілнику", тобто

$$s_m^* = S / m ; \quad (6.52)$$

$K_{s,j}$ – відповідний модульний коефіцієнт, що визначається за його власною формулою

$$K_{s,j} = s_j / s_m^* = (m \cdot s_j) / S . \quad (6.53)$$

Згідно із структурою показника за формулами (6.52)-(6.53), він відтворює варіабельність "питомих" площ геосистем певного типу, додатково одночасно зважаючи при цьому на "визначальний" параметр кількості типів геосистем (формула (6.53));

5) коефіцієнт типової варіації геосистем ГМЛТС 2 ($C_{v,ТYP,2,k}$) за формулою

$$\begin{aligned} C_{v,ТYP,2,k} &= \{ \{1 / (m - 1)\} \sum_{j=1}^m (l_j - l_m^*)^2 \}^{0,5} / l_m^* = \\ &= \{ \{1 / (m - 1)\} \sum_{j=1}^m (K_{l,j} - 1)^2 \}^{0,5} , \end{aligned} \quad (6.54)$$

де l_j – периметр геосистем j -го типу в кожному "стілнику"; l_m^* – середній периметр типу геосистем у k -тому "стілнику", тобто

$$l_m^* = L / m ; \quad (6.55)$$

$K_{l,j}$ – відповідний модульний коефіцієнт за власною формулою

$$K_{l,j} = l_j / l_m^* = (m \cdot l_j) / L \quad (6.56)$$

Структура показника за формулами (6.54)-(6.56) засвідчує, що він віддзеркалює варіабельність "питомих" периметрів типів геосистем, з урахуванням кількості типів геосистем (формула (6.56)) як одного з основних параметрів типового ландшафтного різноманіття;

б) **усереднений** (за числом, площами й периметрами типів) **коефіцієнт типової варіації геосистем ГМЛТС** ($C_{v,ТYP,k}^*$) за формулою, що має очевидний вигляд

$$C_{v,ТYP,k}^* = (C_{v,ТYP,1,k} + C_{v,ТYP,2,k}) / 2 \quad (6.57)$$

7) **коефіцієнт типової варіації геосистем ГМЛТС 3** ($C_{v,ТYP,3,k}$) за формулою

$$\begin{aligned} C_{v,ТYP,3,k} &= \left\{ \left\{ 1 / (m - 1) \right\} \sum_{j=1}^m (n_j - n^*)^2 \right\}^{0,5} / n^* = \\ &= \left\{ \left\{ 1 / (m - 1) \right\} \sum_{j=1}^m (K_{n,j} - 1)^2 \right\}^{0,5} \quad (6.58) \end{aligned}$$

де n_j – кількість геосистем j -го типу в кожному "стілнику"; n^* – унормована за кількістю типів ("середня для типу") кількість геосистем у k -тому "стілнику", тобто

$$n^* = N / m \quad (6.59)$$

$K_{n,j}$ – відповідний модульний коефіцієнт за власною формулою

$$K_{n,j} = n_j / n^* = (m \cdot n_j) / N \quad (6.60)$$

Показник за формулами (6.58)-(6.60), поєднує в собі характеристику як типового, так і, частково, хоричного різноманіття. Утім, через перевагу внеску першого складника, він умовно кваліфікується як коефіцієнт саме типової варіації, хоча може бути застосований і як самостійний квазіінтегральний параметр ландшафтного різноманіття. Це зумовлює недоцільність його віднесення до складу усередненого $C_{v,ТYP,k}^*$;

8) **середній коефіцієнт хорично-типової варіації геосистем ГМЛТС** ($C_{v,CH/ТYP,k}^*$) за відповідною вищевикладеному формулою

$$\begin{aligned} C_{v,CH/ТYP,k}^* &= (C_{v,CH,1,k} + C_{v,CH,2,k} + C_{v,ТYP,1,k} + \\ &+ C_{v,ТYP,2,k} + C_{v,ТYP,3,k}) / 5 \quad (6.61) \end{aligned}$$

9) **інтегральний (середньовиважений) коефіцієнт хорично-типової варіації геосистем ГМЛТС** ($C_{v,CH/ТYP,k}^{**}$) за формулою

$$C_{v,CH/ТYP,k}^{**} = \{a N C_{v,CH,k}^* + (b - 0,75) m C_{v,ТYP,k}^* +$$

$$+ (b - 0,25) m C_{v, \text{ТYP}, 3k} \} / (a N + b m) , \quad (6.62)$$

де a і b – балансові коефіцієнти, $a = 0,25$, $b = 1,00$.

Другу групу показників представлено **регіональними модульними коефіцієнтами хорично-типової мінливості геосистем ГМЛТС ($K_{Nm, \text{PEГ}, k}$)**. Вони враховують вже варіабельність добутку основних найбільш репрезентативних вихідних параметрів ландшафтного різноманіття, а саме складності геосистем генетико-морфологічної ЛТС кожного k -го "стільника" певного розміру в масштабі всього регіону моделювання екомережі ($(N \cdot m)_k$). А отже такі коефіцієнти визначаються за формулою

$$K_{Nm, \text{PEГ}, k} = (N \cdot m)_k / (N \cdot m)_{\text{PEГ}}^* , \quad (6.63)$$

де $(N \cdot m)_{\text{PEГ}}^*$ – середнє для всього регіону значення добутку $(N m)$ для "стільників" певного розміру, на який поділено регіон, загальною їхньою кількістю N_{cell} , тобто

$$(N \cdot m)_{\text{PEГ}}^* = \sum_{k=1}^{N_{\text{cell}}} (N \cdot m)_k / N_{\text{cell}} . \quad (6.64)$$

І, нарешті, *третя група* показників є набором власне **інтегральних індексів хорично-типової мінливості геосистем ГМЛТС ($I_{\text{CH/ТYP}, k}$)**. Вони поєднують міру "внутрішньої" варіабельності хорично-типової ландшафтної структури та регіональний аспект такої варіабельності для k -го "стільника" певного розміру. За таких умов ці індекси визначаються за формулою

$$I_{\text{CH/ТYP}, k} = C_{v, \text{CH/ТYP}, k}^{**} \cdot K_{Nm, \text{PEГ}, k} . \quad (6.65)$$

Показники хоричного й типового ландшафтного різноманіття за формулами (6.44)-(6.65) є застосовними в залежності від задач моделювання як кожний окремо, так і у вигляді усереднених або інтегральних характеристик.

Натомість вид і перелік розрахункових **показників біорізноманіття**, які входять до складу біопопуляційних і біоценотичних біоекосистемних критеріїв за табл.6.4, враховують структуру Червоної та Зеленої книг України в їхньому електронному варіанті [18, 19]. Розрахунок таких показників ґрунтується на фіксації вихідних параметрів у центрах "стільників" заданого розміру за допомогою ГІС-інструментарію аналогічно до параметрів ландшафтного різноманіття (див. попередній текст і рис.6.1).

Загальний набір показників біорізноманіття в розрахунковому вигляді містить такі модельні параметри, як:

- 1) $m_{a, k}$ – щільність кількості "червонокнижних" видів тварин у кожному k -тому "стільнику" або питома щільність "червонокнижних" видів тварин ($1/\text{км}^2$);
- 2) $m_{p, k}$ – щільність кількості "червонокнижних" видів рослин у кожному "стільнику" або питома щільність "червонокнижних" видів рослин ($1/\text{км}^2$);
- 3) $m_{a+p, k}$ – щільність кількості всіх "червонокнижних" біовидів у кожному "стільнику" або питома щільність "червонокнижних" біовидів ($1/\text{км}^2$);

4) $m_{g,p,k}$ – щільність кількості всіх "зеленокнижних" рослинних асоціацій у кожному "стілнику" або питома щільність "зеленокнижних" асоціацій ($1/\text{км}^2$);

5) $N_{a,k}$ – щільність місць розселення (мешкання) "червонокнижних" видів тварин у кожному "стілнику" або питома щільність ареалів "червонокнижних" видів тварин ($1/\text{км}^2$ за точкового подавання всіх просторових об'єктів і безрозмірна за площинного, що стосується й усіх наступних показників);

6) $N_{p,k}$ – щільність місць розселення (мешкання) "червонокнижних" видів рослин у кожному "стілнику" або питома щільність ареалів "червонокнижних" видів рослин;

7) $N_{a+p,k}$ – щільність місць розселення (мешкання) всіх "червонокнижних" біовидів у кожному "стілнику" або питома щільність ареалів "червонокнижних" біовидів;

8) $N_{g,p,k}$ – щільність місць розселення всіх "зеленокнижних" рослинних асоціацій у кожному "стілнику" або питома щільність ареалів "зеленокнижних" асоціацій рослинності.

Наразі, з огляду на доступність і коректність вихідних просторових даних, доцільно застосовувати **вибірковий набір показників біорізноманіття**. До нього належать величини питомої щільності "червонокнижних" видів тварин і рослин і "зеленокнижних" асоціацій останніх, тобто $m_{a,k}$, $m_{p,k}$, $m_{a+p,k}$ і $m_{g,p,k}$. При цьому характеристики $m_{a+p,k}$ і $m_{g,p,k}$ за їхнім змістом можна вважати найбільш репрезентативними для специфіки моделювання регіональної екомережі, позаяк вони є найбільш характерними як "квазіінтегральні".

Загалом, у випадку обмеженості та/або складності отримання вихідних для моделювання даних за табл.6.4, як **найбільш репрезентативно-інформативні варіаційні показники** слід використовувати такі типи/підтипи критеріїв ідентифікації й рівня природно-каркасної значущості можливих елементів екомережі, як:

а) інтегральний-2 підтип типу критеріїв ландшафтного різноманіття з його параметричним видом у вигляді інтегрального індексу хорично-типової мінливості геосистем $ГМЛТС I_{CHTYP,k}$, за (6.65);

б) тип біопопуляційних критеріїв з його параметричним видом у вигляді індексу питомої щільності "червонокнижних" біовидів $m_{a+p,k}$;

в) тип біоценотичних критеріїв з його параметричним видом у вигляді індексу питомої щільності "зеленокнижних" асоціацій рослинності $m_{g,p,k}$;

г) тип критеріїв ландшафтно-репрезентативності з його параметричним видом у вигляді **індексу композиційної репрезентативності території RC_k** , за (6.66), який згідно з [61, 62] визначає ареали ("стілники") з найбільш типовою структурою ландшафту й відповідає запису

$$RC_k = 1 / \{1 + \left\{ \sum_{j=1}^m (s_{ГМj} / S_{ГМ} - S_{ГМj} / S_{ГМ,PEГ}) \right\}^{0,5} \} , \quad (6.66)$$

де $s_{ГМj}$ – площа геосистем $ГМЛТС$ j -го типу в кожному k -тому "стілнику" певного розміру; $S_{ГМ}$ – площа всіх геосистем $ГМЛТС$ у кожному "стілнику"; $S_{ГМj}$ – загальна площа геосистем $ГМЛТС$ j -го типу в регіоні; $S_{ГМ,PEГ}$ – площа всіх геосистем генетико-морфологічної $ЛТС$ у регіоні.

6.2.2 Критерії рівня стану об'єктів моделювання екомереж

Крім розглянутих критеріїв ідентифікації й рівня природно-каркасної значущості, елементи екомереж, які моделюються, мають відповідати й певним критеріям рівня стану об'єктів моделювання екомереж з огляду на потребу в тривалому й стабільному функціонуванні цих мереж. Відповідну *класифікаційну схему критеріїв рівня стану об'єктів моделювання екомереж*, яка враховує стійкість, надійність і ефективність функціонування цих об'єктів з огляду на загальні методичні підходи п.2.3, наведено в табл.6.5.

Таблиця 6.5 – Класифікаційна схема критеріїв рівня стану об'єктів моделювання регіональної екомережі за їхньою стійкістю, надійністю й ефективністю функціонування

Клас, тип (підтип) критеріїв	Вид (підвид) критеріїв		Основний результат вихідного застосування критеріїв
	Вербальні (змістові)	Параметричні (метричні та/або топологічні)	
1.1. Клас критеріїв стійкості*:			
1.1.1. Критерії фазової стійкості:			
1.1.1.1. фазово-антропоізаційної стійкості	Міра антропоізації об'єктів моделювання, яка визначає міру їхньої "залишкової" здатності до саморегуляції	Індекси фазово-антропоізаційної стійкості об'єктів моделювання за моделлю (2.55) і категорії такої стійкості за табл.2.3	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану об'єктів моделювання за ознаками її фазово-антропоізаційної стійкості
1.1.1.2. екомережної фазово-етологічної стійкості	Міра сформованості (зв'язності) територіальної структури екомережі	Топологічні "екокоридори" за (6.67) і "циклови" за (6.68) індекси сформованості екомережі й категорії її <i>ФЕС</i> за табл.6.6	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану екомережі за ознаками її фазово-етологічної стійкості
1.1.2. Критерії параметричної стійкості:			
1.1.2.1. параметрично-процесної стійкості	Міра інтенсивності заданих геонегативних для біоландшафтного різноманіття структуротвірних процесів у (квазі)геосистемах <i>БІЛТС</i>	Загальнофункціональний індекс параметрично-процесної стійкості за (2.59) з його деталізацією за її видами (підвидами) і категоріями у табл.2.2	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану (квазі)геосистем <i>БІЛТС</i> за ознаками їхньої параметрично-процесної стійкості
1.1.2.2. екомережної структурно-функціональної параметрично-інтегральної стійкості	Міра розвиненості екомережі за її основними елементами становно території її моделювання й визначеність функціональної ролі окремих елементів екомережі в її структурі	Метричні показники екомережі за (6.69)-(6.82); топологічні індекси за матрицею допустимості вершин графа екомережі, а також синтетичні індекси значущості екоядер і екокоридорів ([44, 51])	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану екомережі за ознаками її структурно-функціональної стійкості

Клас, тип (підтип) критеріїв	Вид (підвид) критеріїв		Основний результат вихідного застосу- вання критеріїв
	Вербальні (змістові)	Параметричні (метри- чні та/або топологічні)	
1.1.2.3. буферно- параметричної стійкості	Достатність розміру буферних зон для під- тримання потрібного рівня стану елементів екомережі	Усереднені ширини буферних зон певних ядер чи екокоридорів ([44])	Необхідні розміри буферних зон екоме- режі
1.2. Клас критеріїв надійності:			
1.2.1."повноміри льної" надійнос- ті	Оптимальність міри здатності екомережі чи її елементів виконувати (посилювати) вимогові геопозитивні чи обме- жувати (ліквідувати) геонегативні ПСЕФ	Критеріальні залежно- сті за (1.11), (1.17), (1.18) і (2.77)	Ступінь відповідності вимогам до рівня ста- ну екомережі чи її елементів за ознаками їхньої надійності
1.2.2. умовної надійності	Міра надійності еко- мережі	Інтегральний індекс умовної надійності екомережі за (6.88)	Ступінь відповідності вимогам до рівня ста- ну екомережі за озна- ками її надійності
1.3. Клас критеріїв ефективності функціонування екомережі:			
1.3.1. Критерії актуальної ефе- ктивності	Міра ефективності функціонування акту- альної екомережі, орі- єнтуючись на бажані чи еталонні показни- ки, зокрема можливі показники перспекти- вної екомережі	Індекси ефективності за (6.83)-(6.87)	Ступінь ефективності функціонування акту- альної екомережі
1.3.2. Критерії ефективності оптимізаційних рішень	Ефективність оптимі- заційних рішень з по- ліпшення рівня стану екомережі	Індекси, обернені до індексів ефективності за (6.83)-(6.87)	Ступінь ефективності оптимізаційних рі- шень з поліпшення рівня стану екомережі
* параметричні види критеріїв стійкості можна розділяти на підвиди за їхньою належністю до біоекосистемних (зокрема й гідроекосистемних), геосистемних і/або комплексних критеріїв з відповідним частковим коригуванням дефініцій вербальних видів			

Зупинимось на властивих саме екомережам параметрах табл.6.5.

Екомережна фазово-етологічна стійкість (ЕМФЕС(МЕМ)) за табл.2.2 п.2.3) відображає стійкість змодельованої за основними елементами екомережі в цілому за сформованістю (зв'язністю) такої її територіальної структури. Розглянуті далі індекси цієї стійкості загалом характеризують екомережу, подану як граф, в якому за вершини правлять екоядра, а за ребра – екокоридори. Слід завважити, що такий граф у поєднанні з цифровою картою, тобто як комбінована графічно-знакова модель (див. введення в дисципліну), може одночасно інтерпретуватися в геоінфор-

маційних технологіях ([46, 48]) як комбінований просторовий об'єкт високого рівня – мережа. У цьому об'єкті, знову-таки, за вузли мережі (вершини графа) правлять екоядра, а за дуги чи зв'язки між вузлами (ребра графа) – екокоридори. При цьому міра загальної сформованості екомережі має в прямій залежності ідентифікуватися за певними мірами зв'язності її графа, тобто вузлів мережі як просторових об'єктів, які моделюють за допомогою ГІС-інструментарію.

Під час моделювання екомережної фазово-етологічної стійкості оперують такими двома територіальними структурами екомережі, як:

1) максимально поєднаною в біоландшафтному аспекті базовою структурою екомережі. Це структура, яку отримують за умови поєднання всіх заданих екоядер усіма можливими екокоридорами, зважаючи лише на (квазі)природну й натурально-антропогенну підсистеми БІЛТС і всі відповідні цьому критеріальні вимоги до вибору екокоридорів (див. п.б.1);

2) максимально можливою в біоландшафтно-геоекологічному аспекті реальною структурою екомережі. Її отримують у разі спільного розгляду не тільки (квазі)природної й натурально-антропогенної, а і антропогенної підсистем БІЛТС регіону. За таких умов з базової структури екомережі виключають ті екокоридори, які на момент оцінювання за будь-яких умов не задовольняють вищезгаданим критеріальним вимогам до їхнього вибору через негативний або обмежувальний вплив антропогенної підсистеми БІЛТС, відповідно залишаючи в структурі лише "реальні" (фактичні) екокоридори.

Саме певні співвідношення елементів щойно охарактеризованих реальної та базової структур екомережі й будуть змістово відбивати її фактичну сформованість (зв'язність) з метою оцінювання екомережної фазово-етологічної стійкості. Безпосередньо для цього застосовують два топологічні індекси сформованості (зв'язності) реальної територіальної структури екомережі.

Перший з таких показників – "екокоридорний" індекс сформованості екомережі ($I_{СФОР,РЕГ,1}$, у %) – власне й відбиває відсоткове співвідношення числа фактичних екокоридорів реальної структури ($E_{РЕАЛ}$) до числа можливих екокоридорів базової ($E_{МОЖ}$), тобто

$$I_{СФОР,РЕГ,1} = 100 (E_{РЕАЛ} / E_{МОЖ}) . \quad (6.67)$$

Другий із зазначених показників – "цикловий" індекс сформованості екомережі ($I_{СФОР,РЕГ,2}$, у %) – є відсотковим співвідношенням числа фактичних циклів, тобто контурів альтернативних маршрутів ([46, 49]), реальної структури екомережі ($n_{ЦИКЛ,РЕАЛ}$) до числа таких циклів у базовій структурі ($n_{ЦИКЛ,МОЖ}$), а отже

$$I_{СФОР,РЕГ,2} = 100 (n_{ЦИКЛ,РЕАЛ} / n_{ЦИКЛ,МОЖ}) . \quad (6.68)$$

За максимуми обох запропонованих індексів, зрозуміло, правлять 100% за умови повної ідентичності реальної й базової структур регіональної екомережі. При цьому величина "відсотка доповнення" таких індексів до 100% свідчитиме про міру "втраати" зв'язності реальною структурою екомережі внаслідок антропоізації території її місцезнаходження.

Крім того, за діапазонами усереднених значень обох індексів (6.67)-(6.68) $((I_{coh,reg(loc),1} + I_{coh,reg(loc),2}) / 2)$ застосовуються й відповідні **категорії фазово-етологічної стійкості екомережі в цілому** як категорії міри сформованості (зв'язності) актуальної територіальної структури екомережі. Їх наведено в схемі табл.6.6. Згідно з такою схемою рівень стану регіональної екомережі кваліфікується, наприклад, як "екомережа із поганою, доброю тощо сформованістю (зв'язністю) територіальної структури".

Таблиця 6.6 – Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану змодельованої регіональної екомережі за ознаками її фазово-етологічної стійкості (сформованості (зв'язності) територіальної структури)

Середнє значення "екокоридорного" за (6.67) й "циклового" за (6.68) індексів сформованості екомережі $((I_{coh,reg(loc),1} + I_{coh,reg(loc),2}) / 2)$ (%)	Сформованість (зв'язність) територіальної структури екомережі
< 20,0	дуже погана
[20,0 – 30,0)	погана
[30,0 – 50,0)	незадовільна
[50,0 – 70,0)	задовільна
[70,0 – 80,0)	вельми задовільна
[80,0 – 90,0)	добра
≥ 90,0	дуже добра

З метою моделювання *екомережної структурно-функціональної параметрично-інтегральної стійкості (ЕСФПІС(МЕМ))* за табл.2.2 п.2.3) як для екомережі в цілому, так і за її основними елементами, застосовуються, по-перше, **метричні показники регіональної екомережі**, а саме:

1) **регіональний індекс відносної площі екоядер ($I_{S,EMЯ}$)**, **індекс відносної площі екокоридорів ($I_{S,EMKP}$)** і **індекс відносної площі буферних зон ($I_{БУЗ}$)** за сукупністю відповідних формул

$$I_{S,EMЯ} = \left(\sum_{i=1}^{n_{EMЯ}} s_{EMЯ,i} \right) / S_{РЕГ} , \quad (6.69)$$

$$I_{S,EMKP} = \left(\sum_{j=1}^{n_{EMKP}} s_{EMKP,j} \right) / S_{РЕГ} , \quad (6.70)$$

$$I_{БУЗ} = \left(\sum_{k=1}^{n_{БУЗ}} s_{БУЗ,k} \right) / S_{РЕГ} , \quad (6.71)$$

де $s_{EMЯ,i}$ – площа i -того екоядра; $s_{EMKP,j}$ – площа j -того екокоридору; $s_{БУЗ,k}$ – площа k -тої буферної зони; $S_{РЕГ}$ – площа регіону моделювання екомережі; $n_{EMЯ}$ – кількість екоядер; n_{EMKP} – кількість екокоридорів; $n_{БУЗ}$ – кількість буферних зон екомережі;

2) регіональні індекси щільності екоядер ($I_{n,EMЯ}$, $1/\text{км}^2$) і екокоридорів ($I_{n,EMKP}$, $\text{км}/\text{км}^2$) за виразами

$$I_{n,EMЯ} = n_{EMЯ} / S_{PEГ} , \quad (6.72)$$

$$I_{n,EMKP} = L_{EMKP} / S_{PEГ} , \quad (6.73)$$

де L_{EMKP} – загальна довжина (за осями) екокоридорів у регіоні, км;

3) відносний індекс середнього розміру екоядра в регіоні ($I_{S^*,EMЯ,ВДН}$), відносний індекс середнього розміру екокоридору ($I_{S^*,EMKP,ВДН}$) та два абсолютні індекси середнього розміру екоядра ($I_{S^*,EMЯ,АБС}$, км^2) і екокоридору ($I_{S^*,EMKP,АБС}$, км^2) за формулами

$$I_{S^*,EMЯ,ВДН} = \left(\sum_{i=1}^{n_{EMЯ}} S_{EMЯ,i} \right) / (n_{EMЯ} \cdot S_{PEГ}) = I_{S,EMЯ} / n_{EMЯ} , \quad (6.74)$$

$$I_{S^*,EMKP,ВДН} = \left(\sum_{j=1}^{n_{EMKP}} S_{EMKP,j} \right) / (n_{EMKP} \cdot S_{PEГ}) = I_{S,EMKP} / n_{EMKP} , \quad (6.75)$$

$$I_{S^*,EMЯ,АБС} = \left(\sum_{i=1}^{n_{EMЯ}} S_{EMЯ,i} \right) / n_{EMЯ} = I_{S^*,EMЯ,ВДН} \cdot S_{PEГ} = (I_{S,EMЯ} \cdot S_{PEГ}) / n_{EMЯ} , \quad (6.76)$$

$$I_{S^*,EMKP,АБС} = \left(\sum_{j=1}^{n_{EMKP}} S_{EMKP,j} \right) / n_{EMKP} = I_{S^*,EMKP,ВДН} \cdot S_{PEГ} = (I_{S,EMKP} \cdot S_{PEГ}) / n_{EMKP} . \quad (6.77)$$

Індекси (6.76)-(6.77) застосовні й при віднесенні їх до підсистем регіональної екомережі шляхом простої зміни сум площ екоядер і екокоридорів і їхньої кількості в регіоні на те ж саме для певної підсистеми екомережі;

4) індекс перфорованості регіону екомережею ($I_{ПЕРФ}$) за записом

$$I_{ПЕРФ} = (n_{EMЯ} + n_{EMKP}) \left(\sum_{i=1}^{n_{EMЯ}} S_{EMЯ,i} + \sum_{j=1}^{n_{EMKP}} S_{EMKP,j} \right) / S_{PEГ} =$$

$$= (n_{EMЯ} + n_{EMKP}) (I_{S,EMЯ} + I_{S,EMKP}) ; \quad (6.78)$$

5) регіональний індекс умовної густоти екомережі ($I_{P/S,УГУС}$, $\text{км}/\text{км}^2$) за формулою

$$I_{P/S,УГУС} = \left(\sum_{i=1}^{n_{core}} P_{EMЯ,i} + \sum_{j=1}^{n_{ecor}} P_{EMKP,j} \right) / S_{reg} , \quad (6.79)$$

де $P_{EMЯ,i}$ – периметр i -того екоядра; $P_{EMKP,j}$ – периметр j -того екокоридору;

6) регіональний середній індекс складності форми екоядер ($I_{(P/S)^*}$, $\text{км}/\text{км}^2$), який може мати й відповідний аналог для підсистем регіональної екомережі, за формулою

$$I_{(P/S)*} = \left\{ \sum_{i=1}^{n_{EMЯ}} (p_{EMЯ} / s_{EMЯ})_i \right\} / n_{EMЯ} ; \quad (6.80)$$

7) регіональні індекси актуальної ($I_{ПР,А}$) та перспективної ($I_{ПР,ПЕРС}$) просторовості екомережі за формулами

$$I_{ПР,А} = I_{S,EMЯ} + I_{S,EMКР} + I_{БУЗ} , \quad (6.81)$$

$$I_{ПР,ПЕРС} = I_{ПР,А} + \left(\sum_{l=1}^{n_{ПЕРС,ЕЛ}} s_{ПЕРС,ЕЛ,l} \right) / S_{РЕГ} = I_{ПР,А} + I_{ПЕРС,ЕЛ} , \quad (6.82)$$

де $s_{ПЕРС,ЕЛ,l}$ – площа l -того перспективного елемента екомережі; $n_{ПЕРС,ЕЛ}$ і $I_{ПЕРС,ЕЛ}$ – кількість і індекс відносної площі цих елементів.

По-друге, структурно-функціональну параметрично-інтегральну стійкість екомережі вже стосовно саме певних "ключових" елементів її структури можна оцінювати за матрицею доступності вершин екомережного графа. Така матриця характеризує роль екоядер через набір відповідних топологічних індексів – Кеніга, Бавелаша, Ріда тощо, а також за синтетичними індексами значущості природних ядер і екокоридорів тощо. Зазначену матрицю й індекси вичерпно описано в наших працях [44, 51] і вони є достатньо ефективними для сфери їхнього застосування.

Ефективність функціонування регіональної екомережі слушно розглядати з двох взаємопов'язаних позицій:

– як ефективність функціонування актуальної екомережі, тобто за критеріями актуальної ефективності;

– як ефективність оптимізаційних рішень з поліпшення рівня стану екомережі, тобто за критеріями ефективності оптимізаційних рішень.

За першою позицією **міру ефективності функціонування актуальної екомережі**, зокрема і за її складниками, можна оцінювати шляхом зіставлення певних параметрів такої мережі, які характеризують змодельовані елементи її основного каркаса – екоядра, екокоридори й буферні зони, з відповідними бажаними чи еталонними параметрами. Серед останніх можуть бути й можливі параметри перспективної екомережі з метою врахування показників її змодельованих перспективних елементів. Зазначене зіставлення здійснюється за **набором критеріальних безрозмірних індексів**. До них відносяться:

1) **індекс фазово-саморегуляційної ефективності актуальної екомережі або її підсистем ($I_{ЕФ,ФСР,РЕГ(ПДС)}$)**, який визначається за формулою

$$I_{ЕФ,ФСР,РЕГ(ПДС)} = I_{ФАС,РЕГ(ПДС),А}^{**} / I_{ФАС,РЕГ(ПДС),Б}^{**} , \quad (6.83)$$

де $I_{ФАС,РЕГ(ПДС),А}^{**}$ – регіональний або підсистемний індекс фазово-антропізаційної стійкості актуальної екомережі за (2.55), середньовиважений для всього регіону або підсистеми регіональної екомережі за площами її елементів – екоядер, екокоридорів і буферних зон; $I_{ФАС,РЕГ(ПДС),Б}^{**}$ – аналогічний, але вже бажаний регіональний або підсистемний індекс фазово-антропізаційної стійкості тих же елементів екомережі, заданий, орієнтуючись, передусім, на табл.2.3;

2) **індекс ефективності сформованості (зв'язності) актуальної екомережі чи її підсистем** ($I_{EФ,СФОРМ,РЕГ(ПДС)}$), який визначається за виразом

$$I_{EФ,СФОРМ,РЕГ(ПДС)} = \{(E_A / E_{ПЕРС}) + (n_{ЦИКЛ,А} / n_{ЦИКЛ,ПЕРС})\} / 2 , \quad (6.84)$$

де E_A – число першочергових екокоридорів актуальної екомережі, $E_A \equiv E_{РЕАЛ}$ за (6.67); $n_{ЦИКЛ,А}$ – число відповідних цим коридорам циклів актуальної екомережі, $n_{ЦИКЛ,А} \equiv n_{ЦИКЛ,РЕАЛ}$ за (6.68); $E_{ПЕРС}$ – число перспективних екокоридорів ; $n_{ЦИКЛ,ПЕРС}$ – число відповідних таким екокоридорам циклів;

3) **індекс процесно-саморегуляційної ефективності актуальної екомережі чи її підсистем** ($I_{EФ,ПСР,РЕГ(ПДС)}$), який визначається за формулою

$$I_{EФ,ПСР,РЕГ(ПДС)} = I_{ППСі,РЕГ(ПДС),А}^{**} / I_{ППСі,РЕГ(ПДС),Б}^{**} , \quad (6.85)$$

де $I_{ППСі,РЕГ(ПДС),А}^{**}$ – регіональний або підсистемний індекс параметрично-процесної стійкості актуальної екомережі за i -тим структуротвірним процесом (див. (2.59)), середньовиважений для всього регіону або підсистеми регіональної екомережі за площами елементів екомережі – екоядер, екокоридорів і буферних зон; $I_{ППСі,РЕГ(ПДС),Б}^{**}$ – аналогічний, але бажаний регіональний або підсистемний індекс параметрично-процесної стійкості тих же елементів екомережі, заданий, орієнтовуючись на специфіку обраних для оцінювання структуротвірних процесів;

4) **індекс лінійно-метричної ефективності актуальної екомережі** ($I_{ЕФ,LM,reg(l)}$), який визначається за записом

$$I_{ЕФ,LM,РЕГ} = ((I_{n,ЕМЯ,А} / I_{n,ЕМЯ,ПЕРС}) + (I_{n,ЕМКР,А} / I_{n,ЕМКР,ПЕРС}) + (I_{P,S,УГУС,А} / I_{P,S,УГУС,ПЕРС})) / 3 , \quad (6.86)$$

де $I_{n,ЕМЯ,А}$ – регіональний індекс щільності екоядер актуальної екомережі за (6.72); $I_{n,ЕМКР,А}$ – регіональний індекс щільності екокоридорів актуальної екомережі за (6.73); $I_{P,S,УГУС,А}$ – регіональний індекс умовної густоти актуальної екомережі за (6.79); $I_{n,ЕМЯ,ПЕРС}$, $I_{n,ЕМКР,ПЕРС}$, $I_{P,S,УГУС,ПЕРС}$ – аналогічні за змістом трьом щойно наведеним, регіональні індекси перспективної екомережі;

5) **індекс просторової ефективності актуальної екомережі** ($I_{ЕФ,ПР,РЕГ}$), який визначається за формулою

$$I_{ЕФ,ПР,РЕГ} = I_{ПР,А} / I_{ПР,ПЕРС} , \quad (6.87)$$

де $I_{ПР,А}$ – регіональний індекс актуальної просторовості екомережі за формулою (6.81); $I_{ПР,ПЕРС}$ – регіональний індекс перспективної просторовості екомережі за формулою (6.82).

За другою позицією **ефективність оптимізаційних рішень з поліпшення рівня стану регіональної екомережі** оцінюється за індексами, оберненими до поданих вище індексів (6.83)-(6.87).

За **оцінку умовної надійності** актуальної екомережі може правити **регіональний інтегральний індекс умовної надійності екомережі** ($I_{УН(МЕМ),РЕГ}^*$), який розраховується як середній з п'яти регіональних індексів за формулами (6.83)-(6.87), тобто як

$$I_{УН(МЕМ),РЕГ}^* = (I_{ЕФ,ФСР,РЕГ} + I_{ЕФ,СФОРМ,РЕГ} + I_{ЕФ,ПСР,РЕГ} + I_{ЕФ,ЛМ,РЕГ} + I_{ЕФ,ПР,РЕГ}) / 5 . \quad (6.88)$$

6.3 Алгоритм і приклади моделювання екомереж

Алгоритм моделювання регіональної екомережі містить низку критеріально обумовлених операцій. Реалізацію цих операцій спрямовано на послідовне поетапне створення, узгодження й трансформацію визначених *модельних структур регіону моделювання екомережі*. Одночасно створюються й насичуються інформацією відповідні зазначеним структурам блоки електронних баз даних (ЕБД) "Регіональна екомережа", підходи до створення яких детально висвітлено в наших працях [44, 51, 57]). До зазначених модельних структур, з використанням вже заданих у п.6.1 абревіатур, належать:

1) *модельна структура МС-1*, яка є наслідком задавання меж досліджуваного регіону (*РМЕ*) як окремої змістової задачі. Ця структура в цілому відповідає запису

$$\{МС-1\} \equiv \{R\} \in \{R_{КПРМ} \cap (R_{НАРМ} \cup R_{АРМ})\} , \quad (6.89)$$

де $R_{КПРМ}$, $R_{НАРМ}$ і $R_{АРМ}$ – просторові області полів (квазі)природної, натурально-антропогенної та антропогенної підсистем регіону;

2) *модельна структура МС-2*, яка містить набір певних упорядкованих (квазі)природних сингулярних субструктур згідно з моделлю, що має вигляд

$$\{МС-2\} \in \{КПРМ(\omega_{КПРМ}, R_{КПРМ}, t) - (БЛТС_{КП}(\omega_{БЛТС_{КП}}, R_{БЛТС_{КП}}, t))\} , \quad (6.90)$$

де $КПРМ(\omega_{КПРМ}, R_{КПРМ}, t)$ – випадкові поля регіональної (квазі)природної підсистеми; $БЛТС_{КП}(\omega_{БЛТС_{КП}}, R_{БЛТС_{КП}}, t)$ – поля мережно поєднаних елементів (квазі)природної біоландшафтно-територіальної структури регіону;

3) *модельна структура МС-3* як модельна структура "каркасної" реконструкції біоландшафтного різноманіття та початкового обирання можливих елементів регіональної екологічної мережі, яка моделюється, що адекватно запису

$$\begin{aligned} \{МС-3\} \in \{БЛТС_{КП}(\omega_{БЛТС_{КП}}, R_{БЛТС_{КП}}, t)\} &= \{РКБР_{РМЕ}(\omega_{РКБР_{РМЕ}}, R_{РКБР_{РМЕ}}, t)\} = \\ &= \{КПЯ(\omega_{КПЯ}, R_{КПЯ}, t) \cap КПКР(\omega_{КПКР}, R_{КПКР}, t)\} \equiv \\ &\equiv \{ЕМЯ_{МКП}(\omega_{ЕМЯ_{МКП}}, R_{ЕМЯ_{МКП}}, t) \cup ЕМКР_{МКП}(\omega_{ЕМКР_{МКП}}, R_{ЕМКР_{МКП}}, t)\} , \quad (6.91) \end{aligned}$$

де $РКБР_{РМЕ}(\omega_{РКБР_{РМЕ}}, R_{РКБР_{РМЕ}}, t)$ – поля (квазі)природного, тобто реконструйованого каркаса біоландшафтного різноманіття з його регіональними (квазі)природними ядрами ($КПЯ$) і коридорами ($КПКР$) біоландшафтного різноманіття (ядрами та коридорами $БЛТС_{КП}$); $ЕМЯ_{МКП}(\omega_{ЕМЯ_{МКП}}, R_{ЕМЯ_{МКП}}, t)$ і $ЕМКР_{МКП}(\omega_{ЕМКР_{МКП}}, R_{ЕМКР_{МКП}}, t)$ – поля першої сукупності можливих екоядер і екокоридорів регіональної екомережі, що моделюється, за які правлять модельно реконструйовані ядра та коридори (квазі)природної біоландшафтно-територіальної структури.

Під час моделювання структури МС-3 (елементів $БЛТС_{КП}$), застосовуються моделі індексів біоландшафтного різноманіття (див. п.6.2.1 і табл.6.4) з обчисленням останніх для центрів правильних шестикутних ковзних неперетнутих вікон ("стілників") та аналізом отриманих значень згідно з п.6.1-6.2;

4) **модельна структура МС-4** як модельна структура антропоізації регіону, подає на як

$$\{МС-4\} \in \{(НАРМ \cup АРМ)((\omega_{(НАРМ \cup АРМ)}), R_{(НАРМ \cup АРМ)}, t) - БЛТС_{АНА}(\omega_{БЛТСАНА}, R_{БЛТСАНА}, t) - МЕМ(\omega_{МЕМ}, R_{МЕМ}, t)\}, \quad (6.92)$$

де $(НАРМ \cup АРМ)((\omega_{(НАРМ \cup АРМ)}), R_{(НАРМ \cup АРМ)}, t)$ – поля регіональних натурально-антропогенних і антропогенних структур; $БЛТС_{АНА}(\omega_{БЛТСАНА}, R_{БЛТСАНА}, t)$ – поля актуальної натурально-антропогенної біоландшафтно-територіальної структури; $МЕМ(\omega_{МЕМ}, R_{МЕМ}, t)$ – власне регіональна екомережа, що моделюється;

5) **модельна структура МС-5** як модельна структура актуалізації каркасних (квазі)геосистем біоландшафтного різноманіття та подальшого вибору можливих елементів екомережі, що адекватно запису

$$\begin{aligned} \{МС-5\} &\in \{БЛТС_{АНА}(\omega_{БЛТСАНА}, R_{БЛТСАНА}, t)\} = \{АКБР_{РМЕ}(\omega_{АКБРРМЕ}, R_{АКБРРМЕ}, t)\} = \\ &= \{АНАЯ(\omega_{АНАЯ}, R_{АНАЯ}, t) \cap АНАКР(\omega_{АНАКР}, R_{АНАКР}, t)\} \equiv \\ &\equiv \{ЕМЯ_{МАНА}(\omega_{ЕМЯМАНА}, R_{ЕМЯМАНА}, t) \cup ЕМКР_{МАНА}(\omega_{ЕМКРМАНА}, R_{ЕМКРМАНА}, t)\} \forall \\ &\forall \{МС-3\}, \end{aligned} \quad (6.93)$$

де $АКБР_{РМЕ}(\omega_{АКБРРМЕ}, R_{АКБРРМЕ}, t)$ – поля актуального каркаса біоландшафтного різноманіття з його регіональними актуальними натурально-антропогенними ядрами ($АПАЯ$) та коридорами ($АПАКР$) біоландшафтного різноманіття (ядрами та коридорами $БЛТС_{АНА}$); $ЕМЯ_{МАНА}(\omega_{ЕМЯ}, R_{ЕМЯ}, t)$ і $ЕМКР_{МАНА}(\omega_{ЕМКР}, R_{ЕМКР}, t)$ – друга сукупність можливих екоядер і екокоридорів регіональної екомережі, що моделюється. За них правлять модельно вирізнені ядра та коридори актуальної натурально-антропогенної біоландшафтно-територіальної структури $БЛТС_{АНА}$;

б) **модельна структура МС-6** як модельна структура аналізу рівня природно-каркасної значущості та рівня стану обох сукупностей можливих екоядер і екокоридорів за (6.91) та (6.93) (за п.6.2.1-6.2.2) і обирає першої сукупності остаточних (основних) екоядер ($ЕМЯ_{ОСТ,0,1}$) і екокоридорів ($ЕМКР_{ОСТ,0,1}$) цієї екомережі відповідно до запису

$$\begin{aligned} \{МС-6\} &\in \{(ЕМЯ_{МКП}(\omega_{ЕМЯМКП}, R_{ЕМЯМКП}, t) \cup ЕМКР_{МКП}(\omega_{ЕМКРМКП}, R_{ЕМКРМКП}, t)) \cap (\cup \\ &\cap (\cup (ЕМЯ_{МАНА}(\omega_{ЕМЯМАНА}, R_{ЕМЯМАНА}, t) \cup ЕМКР_{МАНА}(\omega_{ЕМКРМАНА}, R_{ЕМКРМАНА}, t)) \cap \\ &\cap (НАРМ \cup АРМ)((\omega_{(НАРМ \cup АРМ)}), R_{(НАРМ \cup АРМ)}, t) - ПОС(\omega_{ПОС}, R_{ПОС}, t))\} = \\ &= \{(МС-3) \cap (\cup (МС-5) \cap (МС-4)) \equiv \\ &\equiv \{ЕМЯ_{ОСТ,0,1}(\omega_{ЕМЯОСТ,0,1}, R_{ЕМЯОСТ,0,1}, t) \cup \end{aligned}$$

$$\cup EMKP_{OCT,O,I}(\omega_{EMKPOCT,O,b}, R_{EMKPOCT,O,b}, t) \} . \quad (6.94)$$

7) модельна структура *МС-7* як модельна структура створення випадкових полів першого варіанта оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону ($\{OSKBP_{PME}(\omega_{OSKBP_{PME}}, R_{OSKBP_{PME}}, t)\}_{VAR1}$). Це здійснюється шляхом додавання й узгодження з *МС-6* необхідних оптимізаційно-формульованих природоохоронних елементів (*ПОС_{дод}*) і розрахунку, хоча б орієнтовного, відповідних буферних зон (*БУЗ*), що може теж далі вплинути на рішення за (6.95)). За таких умов використовується запис

$$\begin{aligned} \{MS-7\} &\in \{(MS-6) \cup ПОС_{дод}(\omega_{ПОС_{дод}}, R_{ПОС_{дод}}, t) \cup БУЗ(\omega_{БУЗ}, R_{БУЗ}, t)\} \equiv \\ &\equiv \{OSKBP_{PME}(\omega_{OSKBP_{PME}}, R_{OSKBP_{PME}}, t)\}_{VAR1} , \end{aligned} \quad (6.95)$$

де *ПОС_{дод}*($\omega_{ПОС}, R_{ПОС}, t$) – випадкові поля додатково залучених оптимізаційно-формульованих природоохоронних елементів (ядер і коридорів). Їх обирають, зважаючи на місцезнаходження складників національної й міжнародної екомереж в регіоні, а також позицію ще не відтворених у *МС-6* складників регіонального природно-заповідного фонду тощо.

Додатково слід зазначити, що для задавання ефективної ширини буферних зон екоядер і екокоридорів можна використовувати **модель усередненої ширини** цих буферних зон за нашими працями [44, 51]). Така модель базується на визначенні ймовірної інтенсивності антропогенного впливу сусідніх до екоядер і екокоридорів геосистем натурально-антропогенної та антропогенної субструктур. Зазначена інтенсивність подається за індексом антропізації цих субструктур $I_{АНТ,Т}^{**}$ (див. (1.7) у р.1) та оцінкою розмірів "активної" зони джерела впливу в залежності від площі певного екоядра або екокоридору. При цьому враховуються також підходи до визначення атрибутів вимірних буферів за нашими розробками [46, 48]);

8) модельна структура *МС-8* як модельна структура створення другого варіанта оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону ($\{OSKBP_{PME}(\omega_{OSKBP_{PME}}, R_{OSKBP_{PME}}, t)\}_{VAR2}$). Це виконується шляхом поділу екоядер і екокоридорів із їхніми буферними зонами (*ЕМЯ*, *ЕМКР* і *БУЗ*) на першочергові з індексом "III" й перспективні з індексом "III". При цьому враховується і загальне планування та реалізація природоохоронних заходів у регіоні, зокрема щодо елементів національної (міжрегіональної) та локальних екомереж (*НЛЕМ*). За таких заставок застосовується запис

$$\begin{aligned} \{MS-8\} &\equiv \{OSKBP_{PME}(\omega_{OSKBP_{PME}}, R_{OSKBP_{PME}}, t)\}_{VAR2} \in \\ &\in \{(EMЯ_{III}(\omega_{EMЯ_{III}}, R_{EMЯ_{III}}, t) \cup \\ &\cup EMKP_{III}(\omega_{EMKP_{III}}, R_{EMKP_{III}}, t) \cup БУЗ_{III}(\omega_{БУЗ_{III}}, R_{БУЗ_{III}}, t) \cup \\ &\cup (EMЯ_{III}(\omega_{EMЯ_{III}}, R_{EMЯ_{III}}, t) \cup \\ &\cup EMKP_{III}(\omega_{EMKP_{III}}, R_{EMKP_{III}}, t) \cup БУЗ_{III}(\omega_{БУЗ_{III}}, R_{БУЗ_{III}}, t)) \} . \end{aligned} \quad (6.96)$$

Подальші операції з моделювання регіональної екомережі може бути зумовлено необхідністю вирізнення підсистем змодельованої екомережі, регіональних і підсистемних "ключових" екоядер, підсистемосполучних і ймовірних регіоносполучних екокоридорів тощо (див. наші праці [44, 51] і наступні приклади).

У наших розвідках [4, 51, 57] також розглянуто ті, що тут не наводяться, основні вихідні принципи та особливості геоінформаційного моделювання регіональної екомережі. Зокрема, в цих розробках:

- визначено основні типи графічного подавання просторових об'єктів і прийнятний масштаб моделювання;
- запропоновано робочу систему координат і проєкцій;
- окреслено необхідний набір програмного інструментарію;
- охарактеризовано ієрархію блоків і субблоків електронних баз даних "Регіональна екомережа";
- окреслено особливості етапності геоінформаційного моделювання екомережі, зважаючи на запропонований склад модельних структур;
- запропоновано основні геоінформаційно-технологічні операції, оптимальні в процесі моделювання екомережі.

Характерні приклади реалізації наведеного вище алгоритму моделювання екомереж наводяться далі для тестового регіону Північного Приазов'я за нашою працею [57] з частковим доповненням прикладами щодо змодельованої за нашими розробками [44, 51] екомережі басейну Росі.

Так, створений у [57] сучасний геоінформаційний базис моделювання дозволив визначитись з межами регіону моделювання екомережі в Північному Приазов'ї як окремої задачі під час формування модельної структури *МС-1*. За основу виокремлення зазначеного регіону було обрано, насамперед, фізико-географічний принцип. Зокрема, Приазовська височинна область розглядалася як своєрідний "макроцентроїд", за "квазібуфери" якого правлять відповідні сусідні фізико-географічні райони (рис.6.2).

Загалом вже в процесі формування зазначеного геоінформаційного базису було модельно створено елементи не тільки структури *МС-1*, а й складники структури *МС-2* (частково, див. (6.90) і, як приклад, рис.6.3) та структури *МС-4* (див. (6.92) і певні атрибути цієї структури на рис.6.4-6.5). За таких умов надалі було здійснено повномірільну реалізацію методики моделювання шляхом послідовного насичення інформацією і створення електронних баз даних "Регіональна екомережа" та поетапного остаточного формування складу модельних субструктур за (6.89)-(6.96). Для цього було виконано низку геоінформаційно-технологічних операцій, спрямованих на безпосередню ідентифікацію елементів регіональної екомережі з наступною параметризацією цих елементів і супутнім аналізом модельних побудов, які отримувалися.

Зокрема, на **третьому-п'ятому етапі** геоінформаційного моделювання було здійснено оцінку показників біоландшафтного різноманіття на основі вже створених ландшафтних (див. рис.6.3) і біогічно-охоронних субструктур та обираючи першої і другої сукупності можливих екоядер і екокоридорів. За них правила, з одного боку, модельно реконструйовані ядра та коридори (квазі)природної біоландшафтної територіальної структури (*БІЛТС_{КП}*, за (6.91)), а з іншого боку – елементи актуальної натурально-антропогенної біоландшафтної територіальної структури (*БІЛТС_{АНА}* за (6.93), приклад на рис.6.6). При цьому застосовувалися параметричні види критеріїв біоландшафтного різноманіття (див. табл.6.4), передусім інтегральний індекс хорично-типової мінливості *ЛТС*, індекс композиційної репрезентативності території та величини питомої щільності "червонокнижних" біовидів і "зеленокнижних" рослинних асоціацій.

Здійснивши аналіз розрахунку таких показників для центрів шестикутних ковзних неперетнутих вікон на регулярній сітці ("стілників") із зовнішнім радіусом 3, 5, 7, 10 і 15 км, на які було квантовано регіон, було встановлено, що найбільш прийнятними для аналізу є "стілники" з радіусом 10 км (рис.6.7). Це зумовлено, по-перше, площею регіону, по-друге, реальними параметрами елементів регіональних ландшафтних субструктур, і, по-третє, найбільш ефективним відтворенням результатів розрахунку саме для 10-кілометрових "стілників". При цьому, як вже зазначалось, суто модельно-параметричний спосіб вибору оптимального розміру "стілників" наведено в п.8.1.

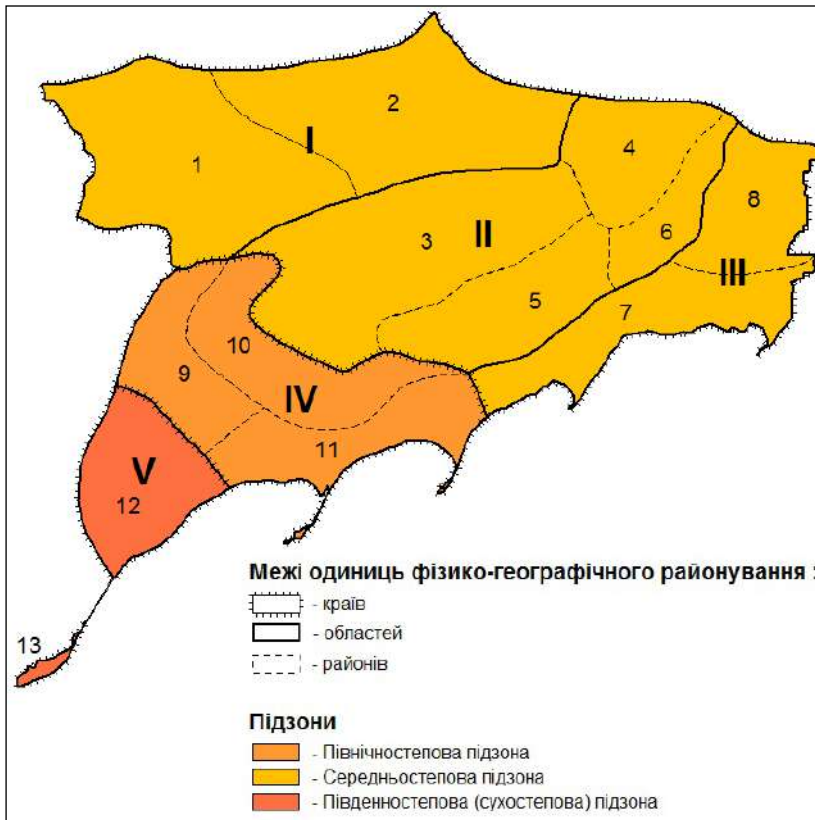


Рис.6.2 Регіон Північного Призов'я та його фізико-географічні субструктури як елементи моделі структури *МС-1* (за [26, 57])

Умовні позначення щодо фізико-географічних таксонів степової зони:

- **північностепова підзона, Лівобережнодніпровсько-Призовський край:** I – Кінсько-Ялинська низовинна область: 1 – Дніпровсько-Кінський район; 2 – Середньогайчурсько-Кашлагацький район; II – Призовська височинна область: 3 – Чернігівсько-Розівський район; 4 – Волновасько-Анадольський район; 5 – Андріївсько-Володарський район; 6 – Кальчицько-Мирненський район; III – Призовська низовинна область: 7 – Маріупольсько-Новоазовський район; 8 – Тельманівсько-Коньківський район;

- **середньостепова підзона, Причорноморський середньостеповий край:** IV – Західно-Призовська схилово-височинна область: 9 – Молочансько-Нововасилівський район; 10 – Токмацько-Корсацький район; 11 – Приморсько-Бердянський район;

- **південностепова (сухостепова) підзона, Причорноморсько-Призовський край:** V – Присивасько-Призовська низовинна область: 12 – Нижньомолочанський район; 13 – Бірючоострівський район.

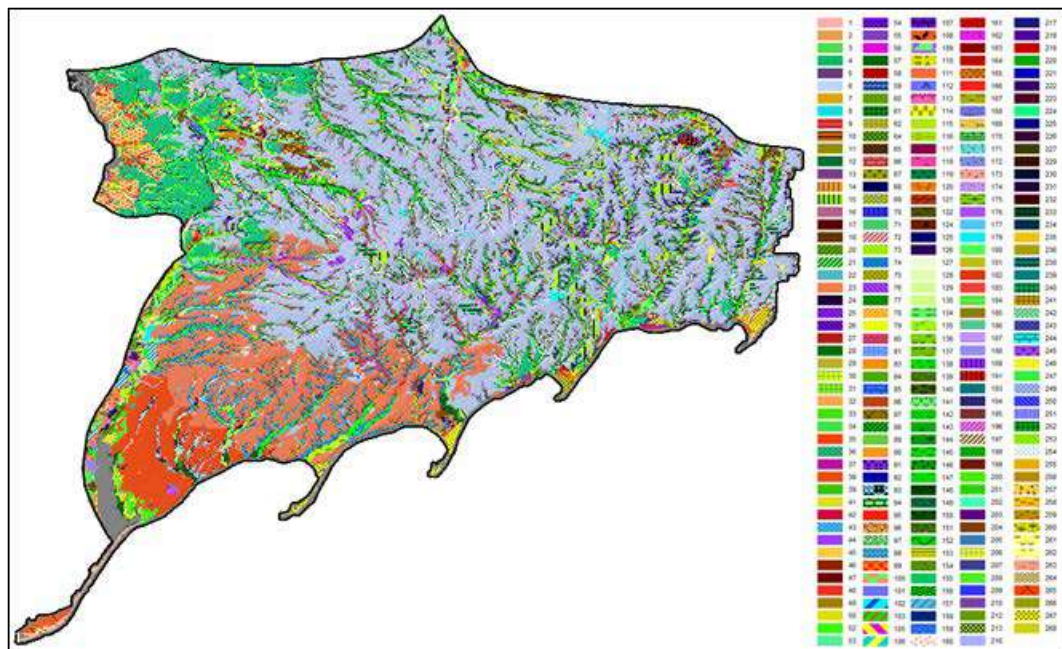


Рис.6.3 Цифрова карта ландшафтів Північного Приазов'я як приклад складника модельної структури МС-2 (за [57])

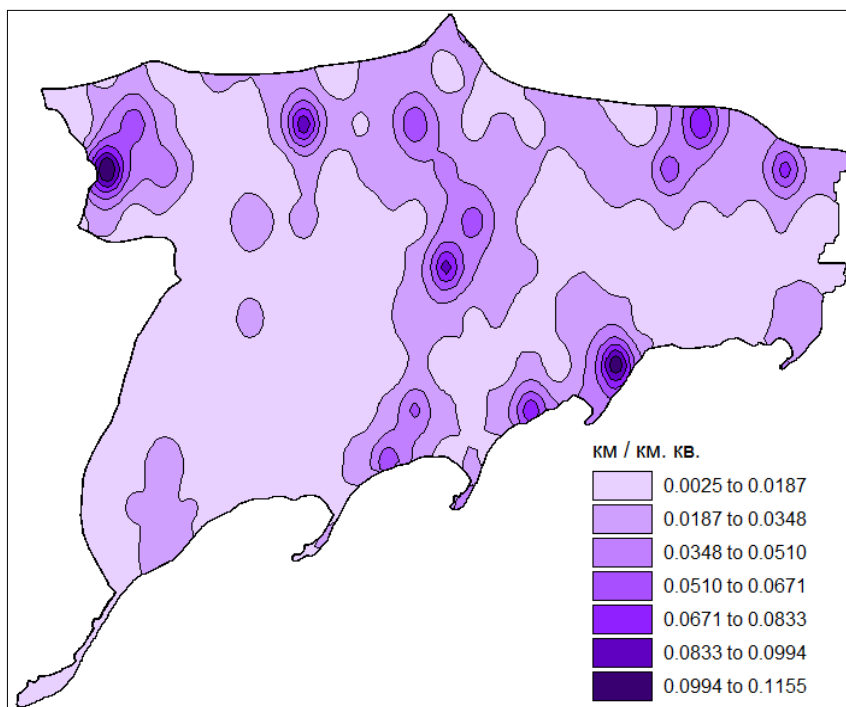


Рис.6.4 Цифрова карта інтерпольованої поверхні щільності транспортних субструктур Північного Приазов'я як приклад атрибутів модельної структури МС-4 (за [57])

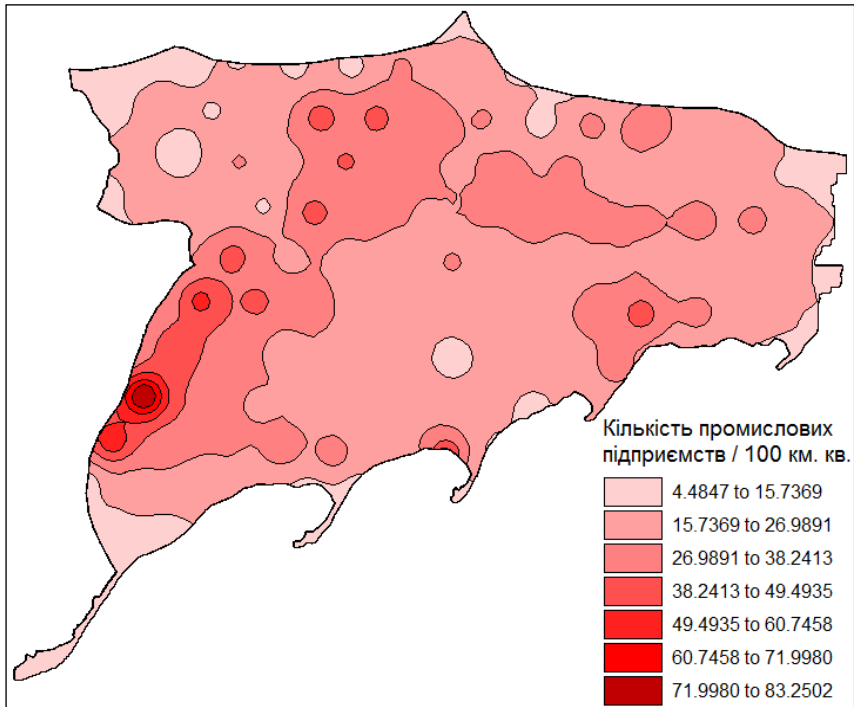


Рис.6.5 Цифрова карта інтерпольованої поверхні територіальної концентрації промислових підприємств Північного Приазов'я як приклад атрибутів модельної структури *МС-4* (за [57])

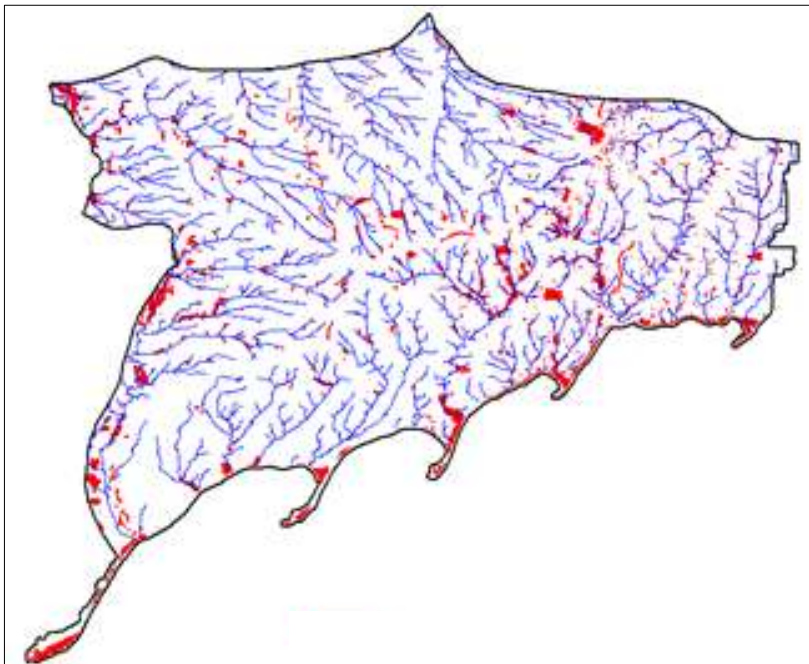


Рис.6.6 Цифрова карта вирізнених червоним субполів регіональної природно-натуральної рослинності Північного Приазов'я як приклад елемента структури *БІЛТС_{АНА}* за (6.93)

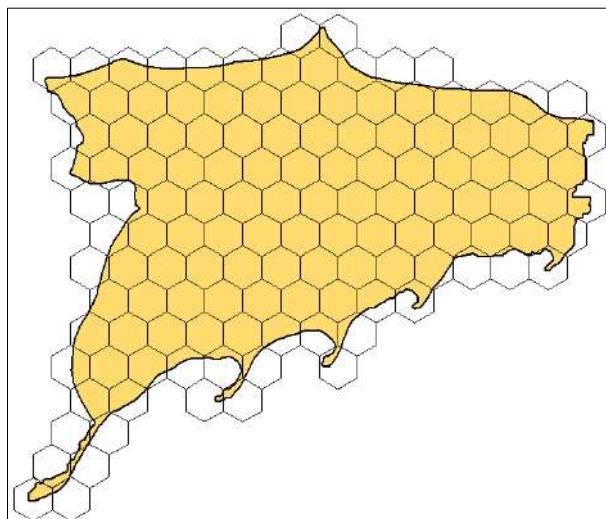


Рис.6.7 Приклад квантування регіону моделювання екомережі на 10-кілометрові "стілки"

Отримані за таких умов значення згаданих вище індексів було візуалізовано та просторово диференційовано, по-перше, шляхом створення для кожного з них інтерпольованих поверхонь з використанням методу обернено виважених відстаней. По-друге, за допомогою ГІС-пакета *Vertical Mapper* було здійснено побудову рівноінтервальних ізоліній (контурів) з подальшою ідентифікацією мінімальних, фонових і максимальних модельних значень показників біоландшафтного різноманіття (рис.6.8-6.11).

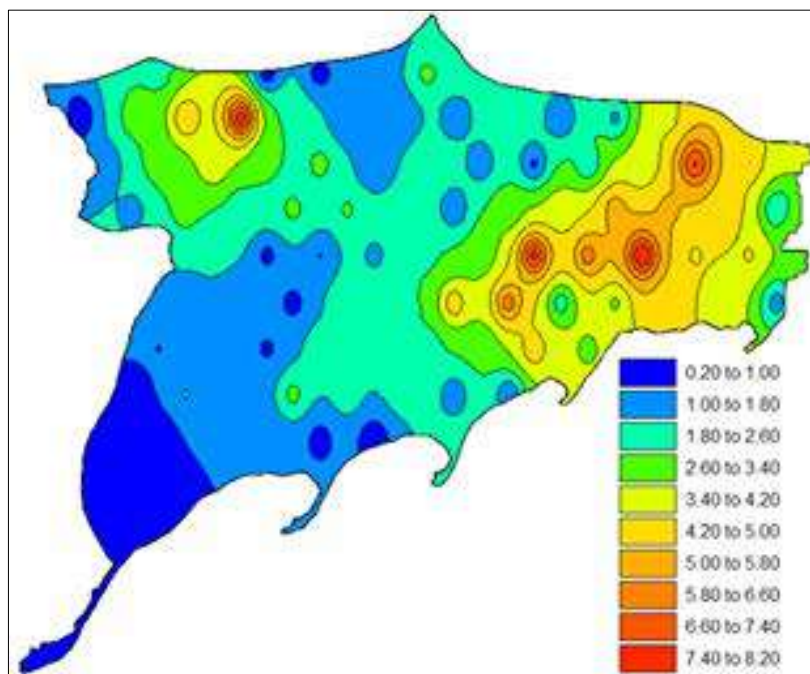


Рис.6.8 Приклад рівноінтервальних значень інтерпольованої поверхні інтегрального індексу хорично-типової мінливості геосистем $ГМЛТС I_{СИТУР,k}$ за (6.65) у РМЕ Північного Приазов'я

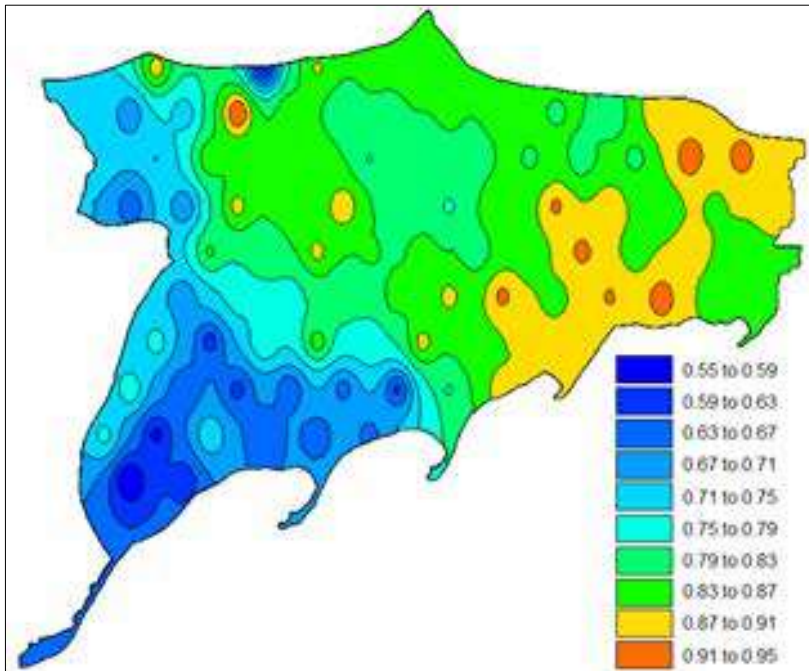


Рис.6.9 Приклад рівноінтервальних значень інтерпольованої поверхні індексу композиційної репрезентативності території RC_k за (6.66) у *РМЕ* Північного Приазов'я

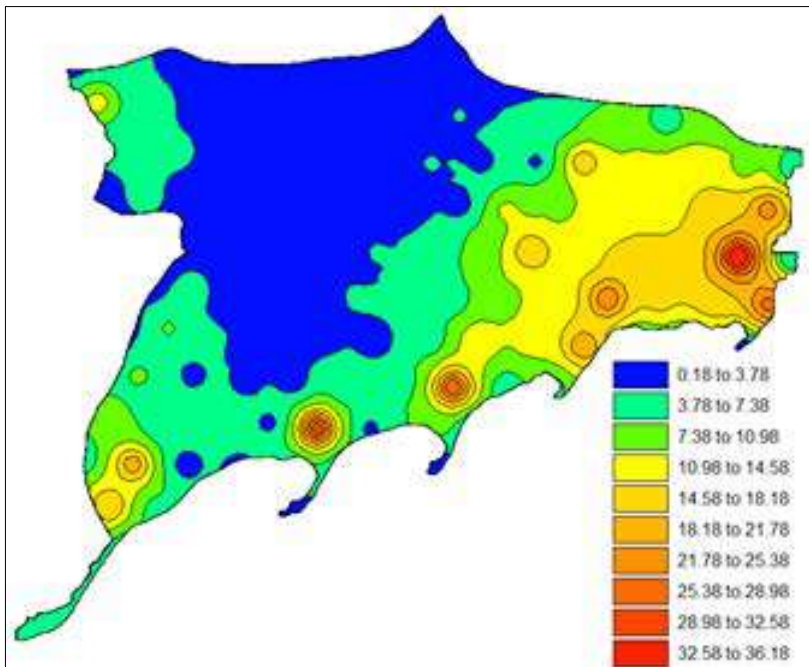


Рис.6.10 Приклад рівноінтервальних значень інтерпольованої поверхні питомої щільності "червонокнижних" біовидів $m_{a-p,k}$ (див. п.6.2.1) у *РМЕ* Північного Приазов'я

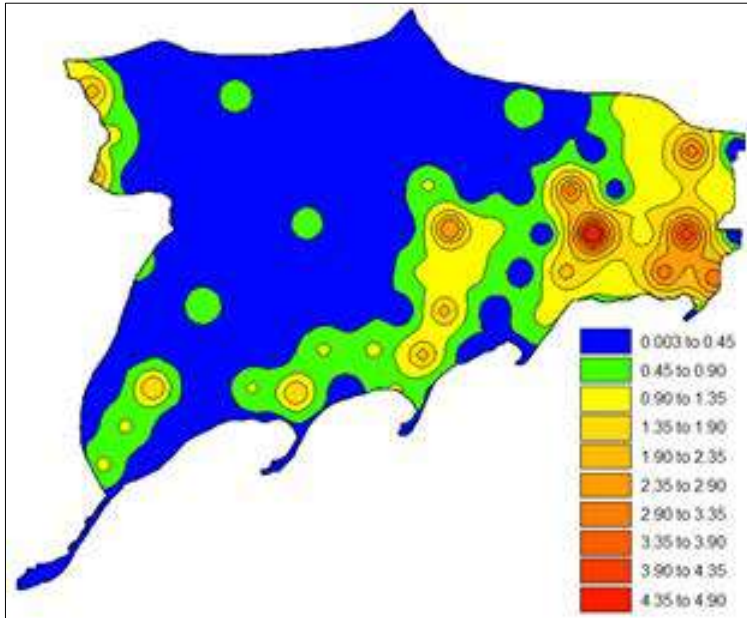


Рис.6.11 Приклад рівноінтервальних значень інтерпольованої поверхні питомої щільності "зеленокнижних" рослинних асоціацій $m_{g,p,k}$ (див. п.6.2.1) у РМЕ Північного Приазов'я

Надалі, здійснивши побудову буферних зон шириною 10 кілометрів навколо моно- та полікритеріальних максимумів наведених на рис.6.8-6.11 показників біоландшафтного різноманіття, було отримано ареали ймовірного місцезнаходження геосистем (квазі)природної та актуальної натурально-антропогенної біоландшафтних територіальних структур ($БІЛТС_{КП}$ і $БІЛТС_{АНА}$) (рис.6.12, аналогічні рішення на прикладі басейнової геосистеми Росії за нашими працями [44, 51] – на рис.6.13).

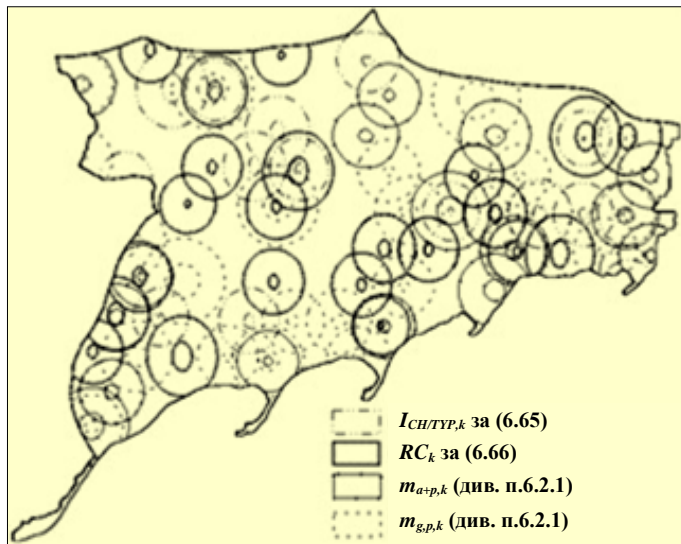


Рис.6.12 Приклад ідентифікації шляхом буферизації ареалів місцезнаходження елементів структур $БІЛТС_{КП}$ і $БІЛТС_{АНА}$ (див. (6.91) і (6.93)) у РМЕ Північного Приазов'я

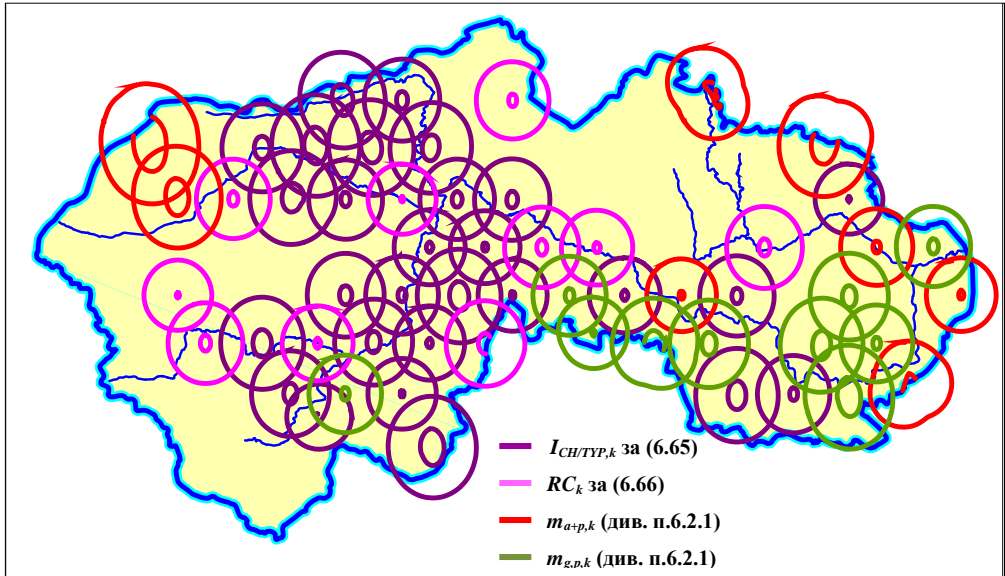


Рис.6.13 Приклад ідентифікації шляхом буферизації ареалів місцезнаходження елементів структур $БІЛТС_{КП}$ і $БІЛТС_{АНА}$ (див. (6.91) і (6.93)) у РМЕ басейну Росі

Після вибіркового ландшафтного аналізу геосистем $БІЛТС_{КП}$ і $БІЛТС_{АНА}$ (див. рис.6.12), зокрема, зважаючи на ландшафтні субструктури (див. рис.6.3) і додатково орієнтуючись на субполя рослинності (див. рис.6.6), було позиційно ідентифіковано можливі елементи модельної екомережі. Унаслідок такої операції, тотожній створенню структур $МС-3$ і $МС-5$ (див. (6.91) і (6.93)), було обрано склад модельно реконструйованих і актуальних 149 екоядер і 232 екокоридорів структур $БІЛТС_{КП}$ і $БІЛТС_{АНА}$ (рис.6.14, аналогічні результати для можливих екоядер в басейні Росі – на рис.6.15).

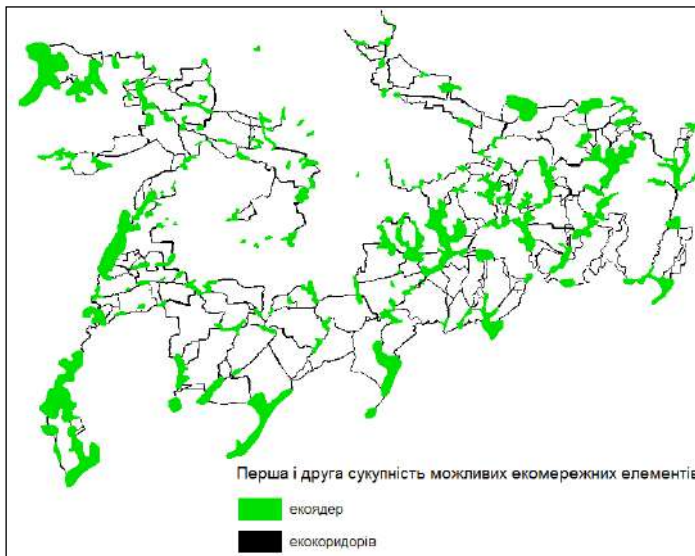


Рис.6.14 Приклад першої і другої сукупності можливих екомережних елементів як результат створення модельних структур $МС-3$ і $МС-5$ у РМЕ Північного Приазов'я

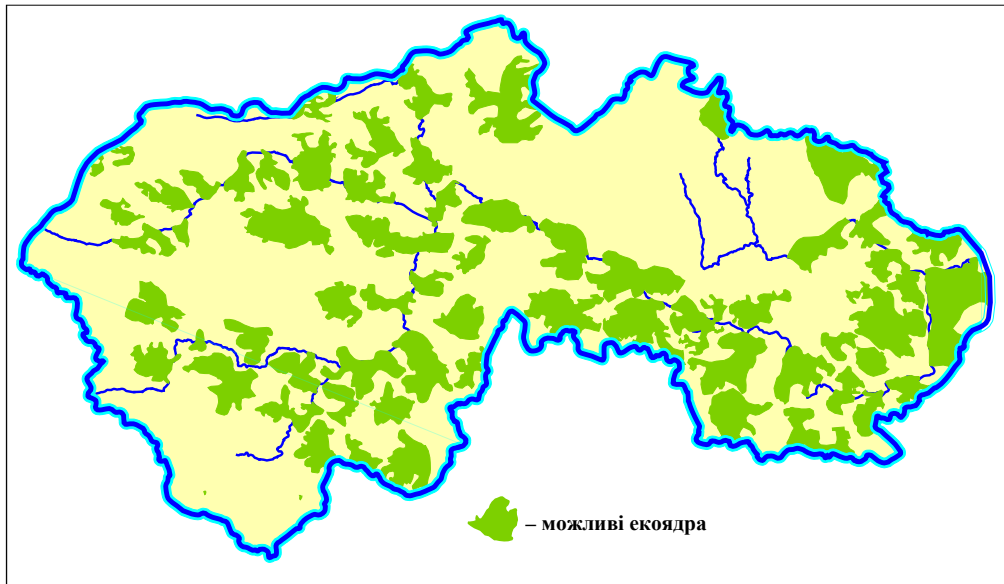


Рис.6.15 Приклад першої і другої сукупності можливих екоядер як результат створення модельних структур *МС-3* і *МС-5* у *РМЕ* басейну Росі

Шостий етап моделювання було реалізовано шляхом аналізу щойно отриманих елементів структур *МС-3* і *МС-5* (див. рис.6.14) на тлі вже сформованого основного складника *МС-4* – полів регіональних натурально-антропогенних і антропогенних структур (див. (6.92) і рис.6.4-6.5). При цьому оцінювалася фазово-антропізаційна стійкість зазначених елементів як їхня здатність до саморегуляції за табл.2.3, що спиралося на розраховані поля індексу антропізації регіону (див. (1.7) і табл.1.2). Висока міра цієї здатності до саморегуляції була одним із головних критеріїв доцільності збереження екоядер і екокоридорів у складі екомережі. За інші ж такі критерії правили ті, які стосуються біоландшафтної натуральності, достатньої розмірності, територіальної типовості екомережних елементів, а також гідрогеосистемні та деякі інші критерії (див. табл.6.4).

Зважаючи на таке, виявилось, по-перше, що 2 % обраних раніше для структур *МС-3* і *МС-5* екоядер *РМЕ* Північного Приазов'я мають вельми сильну, 64 % – сильну, 33 % – середню і 1 % – послаблену здатність до саморегуляції за табл.2.3 (рис.6.16). Така відносно велика кількість ядер із сильним і середнім саморегуляційним рівнем пояснюється їхнім модельним позиціонуванням, яке тяжіло переважно до субполів із наявною рослинністю. Утім, залишати всі такі ядра в складі екомережі не мало сенсу, оскільки загалом досить значне їхнє число не відповідало, насамперед, критерію достатньої розмірності екоядер. Тому із першого й другого набору можливих екомережних елементів (див. рис.6.14) було вилучено 36 екоядер (рис.6.17). По-друге, здійснивши аналогічні розрахунки для екокоридорів, було з'ясовано, що 40 % із них мають сильну, 14 % – середню, 25 % – послаблену та 21 % – слабку здатність до саморегуляції. З огляду на це і додатково враховуючи накладання на екокоридори непереборних для міграції біовидів бар'єрів – доріг високого класу, населених пунктів тощо, із набору за рис.6.14 було вилучено 85 коридорів (див. рис.6.17). Таким чином надалі здійснювалося оперування вже першою сукупністю остаточних (основних) 113 екоядер і 147 екокоридорів як елементами вже модельної структури *МС-6* за (6.94) (рис.6.18). Результати такого відбору із зменшенням кількості елементів екомережі для структур *МС-3* і *МС-5* є цілком закономірними, зважаючи на несприятливу геоекологічну ситуацію в Північному Приазов'ї.

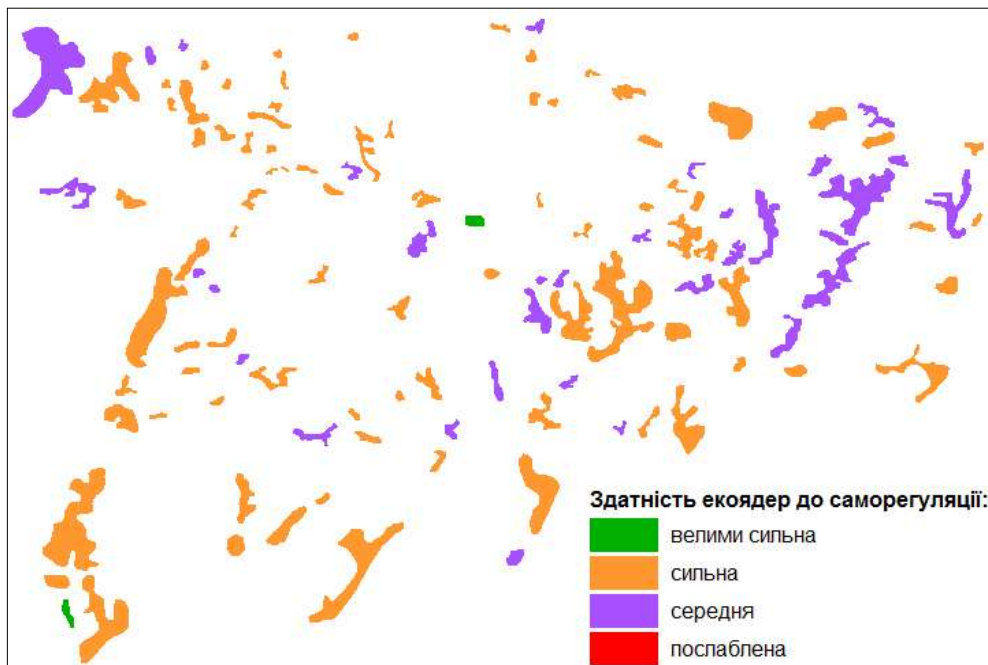


Рис.6.16 Здатність можливих екомережних ядер до саморегуляції за табл.2.3 як проміжний результат під час створення модельної структури МС-6 у РМЕ Північного Приазов'я

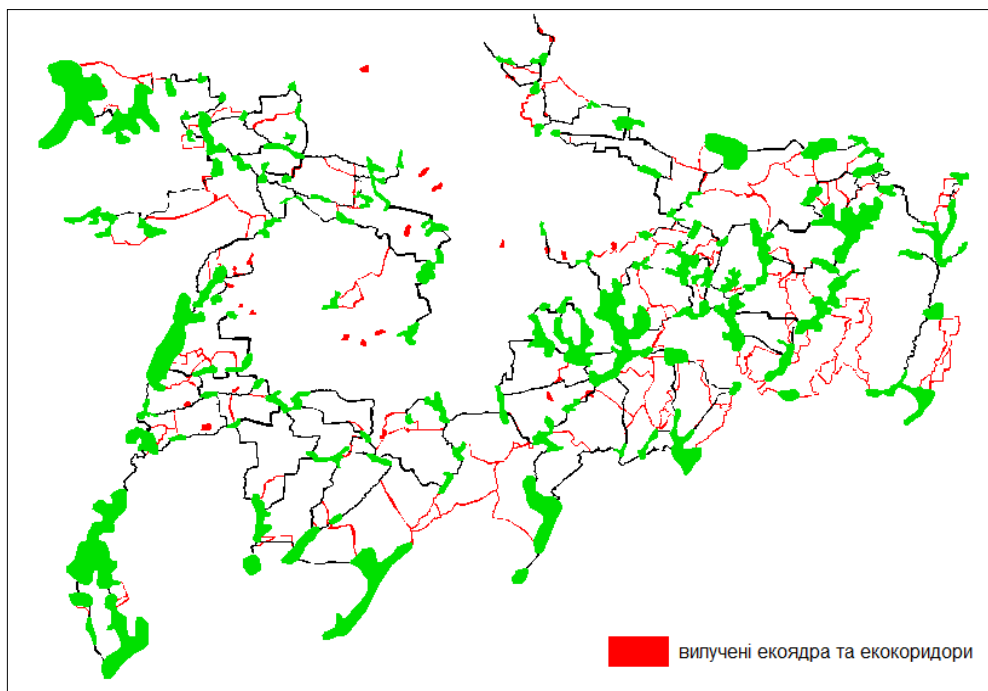


Рис.6.17 Приклад вибраних після відбору екоядер і екокоридорів структур МС-3 і МС-5 у РМЕ Північного Приазов'я

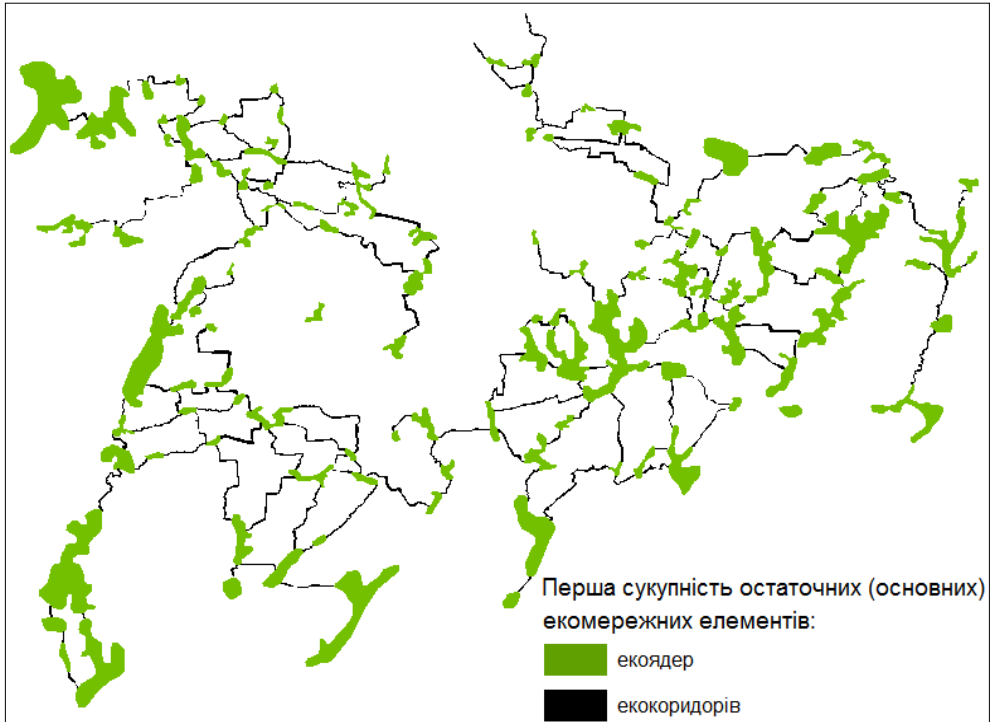


Рис.6.18 Приклад першої сукупності остаточних (основних) екомережних елементів як результат створення структури *МС-6* у *РМЕ* Північного Приазов'я

На **сьомому етапі** моделювання, по-перше, до елементів структури *МС-6* (див. рис.6.18) було додано та узгоджено з нею у вигляді відповідних екоядер і екокоридорів необхідні додаткові оптимізаційно-формувальні природоохоронні елементи *ПОС_{Дод}* (за (6.95)). Їх було обрано, зокрема, орієнтуючись на місцезнаходження складників національної і міжнародної екомереж в регіоні та ще не відтворених у складі *МС-6* прийнятних за площею об'єктів регіонального природно-заповідного фонду (рис.6.19). По-друге, було виконано розрахунок орієнтовного розміру буферних зон усіх елементів рис.6.19. Це дало змогу створити перший варіант оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону Північного Приазов'я як структури *МС-7* за (6.95) (рис.6.20). Поданим на рис.6.20 123 екоядрам екомережі було присвоєно власні географічні назви, зважаючи на назви найближчих населених пунктів і гідрологічних об'єктів. Натомість 161 же екокоридор структури *МС-7* було означено згідно з порядковими номерами поєднуваних ними екоядер.

На **восьмому етапі** моделювання екоядра й екокоридори з їхніми буферними зонами структури *МС-7* за рис.6.20 було поділено на першочергові й перспективні для створення. До складу першочергових елементів при цьому було обрано ті, які мають сильну здатність до саморегуляції й істотну площу, тяжіють до місцезнаходження екомереж вищих рівнів і містять у своєму складі значний відсоток площ об'єктів природно-заповідного фонду. Усе це разом відкидає необхідність проведення надто довгострокових і великоартсінних природоохоронних заходів для реалізації статусу цих елементів. Таким чином було отримано другий варіант оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону Північного Приазов'я як модельну структуру *МС-8* за (6.96) (рис.6.21). Вона містить 123 екоядра, з яких 62 є першочерговими, та 161 екокоридор, серед них 51 першочерговий. Приклади аналогічних рішень щодо екомережі басейну Росі наведено на рис.6.22-6.23.

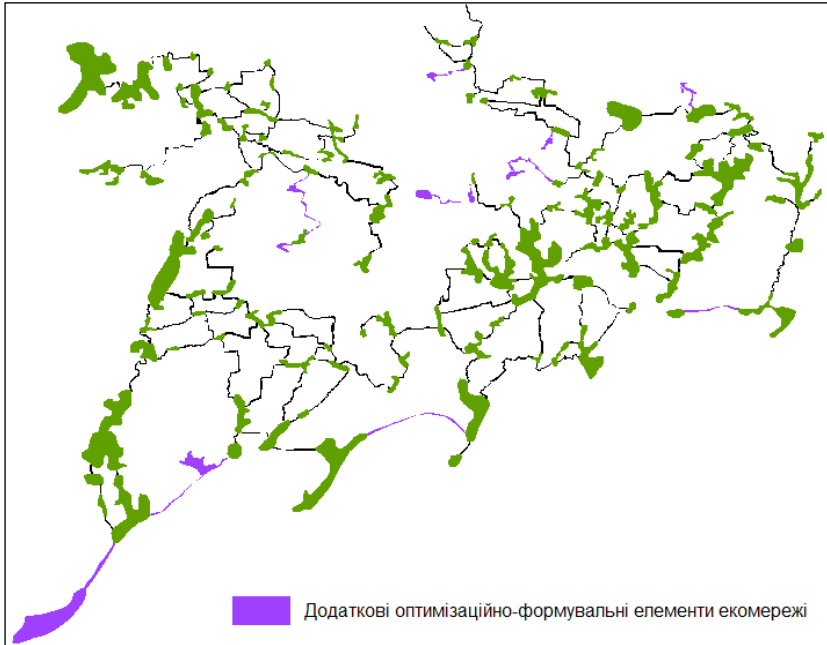


Рис.6.19 Приклад додаткових оптимізаційно-формувальних природоохоронних елементів ПОС_{Дод} як результат створення структури МС-7 у РМЕ Північного Приазов'я

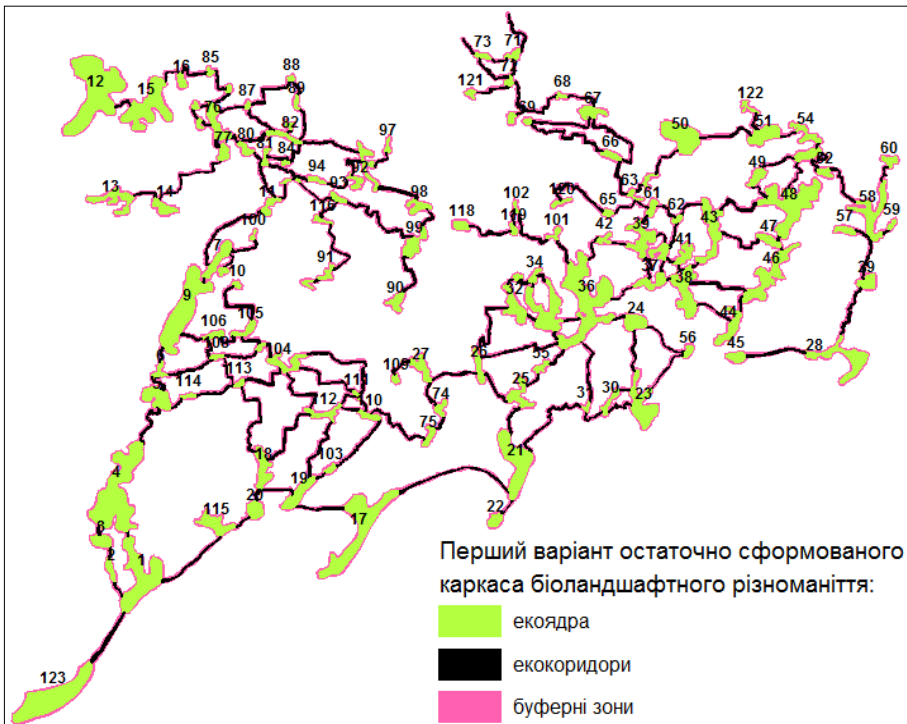


Рис.6.20 Приклад першого варіанта оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону як результат створення структури МС-7 у РМЕ Північного Приазов'я

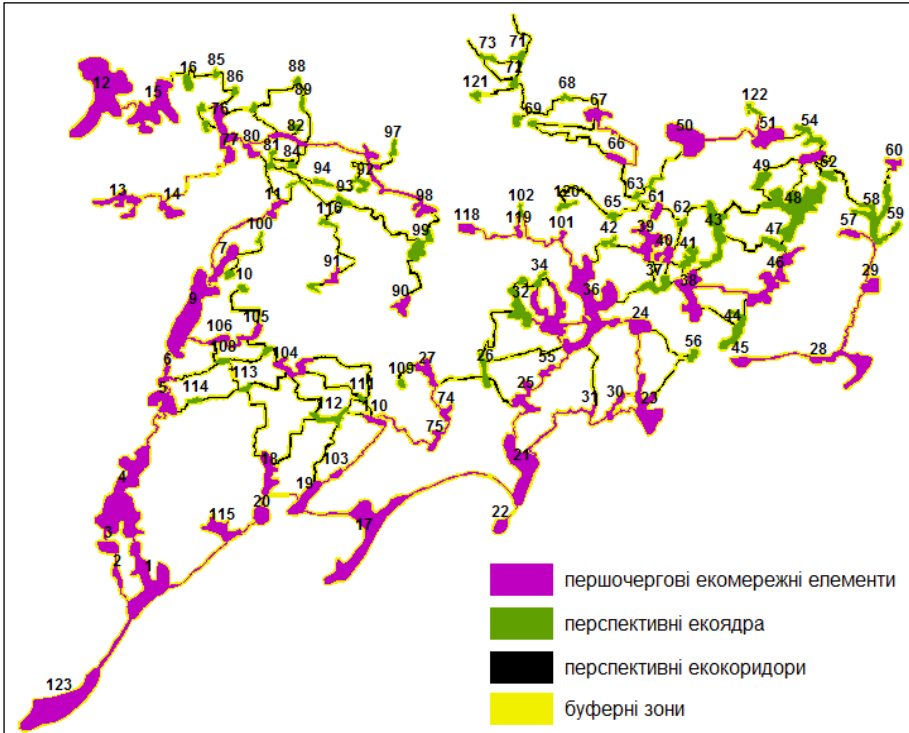


Рис.6.21 Приклад другого варіанта оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону як результат створення структури МС-8 у РМЕ Північного Приазов'я

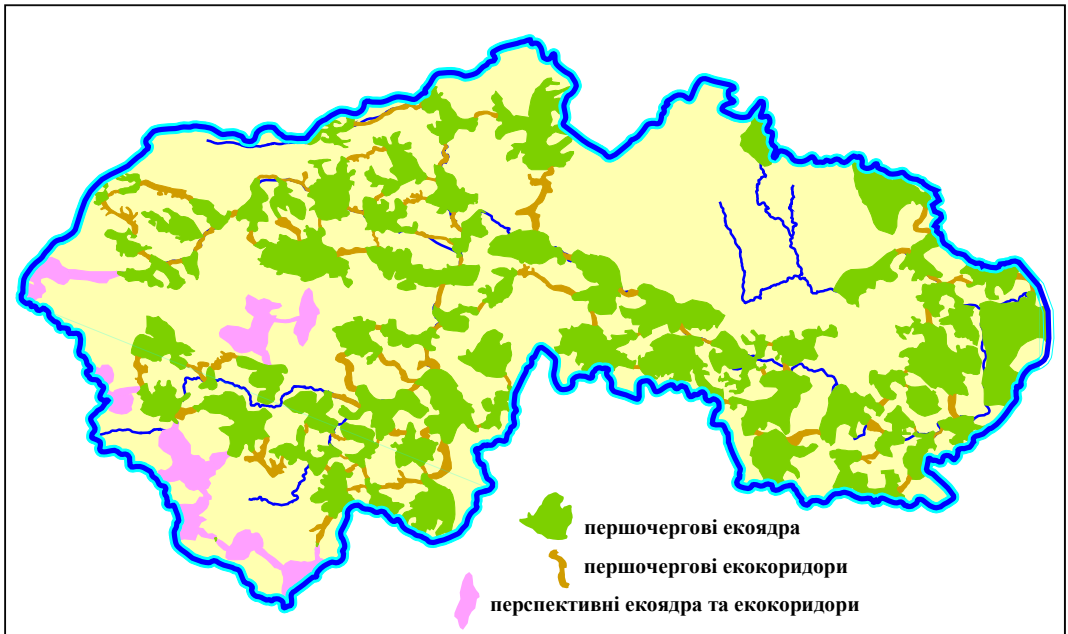


Рис.6.22 Приклад другого варіанта оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону як результат створення структури МС-8 у РМЕ басейну Росі

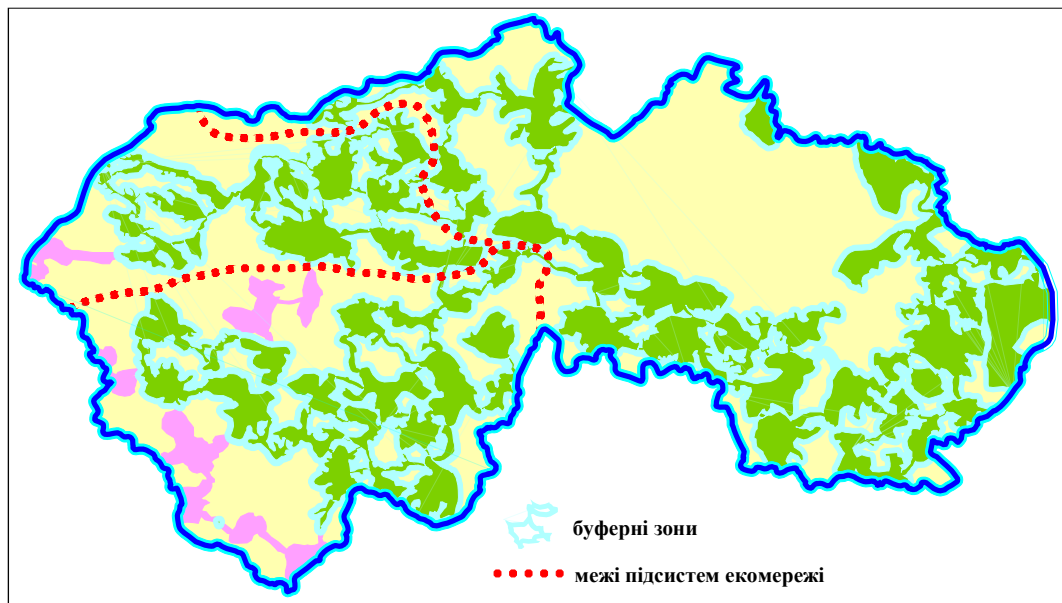


Рис.6.23 Приклад буферних зон першочергових елементів другого варіанта оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону як результат створення структури МС-8 у РМЕ басейну Росі

Структуру МС-8 доцільно подавати з метою подальшого її удосконалення також у вигляді різних варіантів графа на цифровій карті (рис.6.24-6.25), коли екоядра візуалізуються як круги або еліпси з центроїдів ядер з радіусами чи осями, пропорційними площі цих ядер. Зазначене удосконалення можливе шляхом моделювання міри значущості екоядер з визначенням "ключових", вирізнення підсистем регіональної мережі (див. рис.6.23) та типізації її елементів тощо. Приклад таких побудов для змодельованої нами у [44, 51] екомережі басейну Росі наведено на рис.6.25. На ньому, зокрема, модельно відтворено 65 першочергових екоядер, з яких 14 є регіональними ключовими, а 9 – підсистемними "ключовими" та 86 першочергових екокоридорів, зосібна 6 підсистемосполучних. Крім того, в табл.6.7 для порівняння наведено основні метричні показники змодельованих регіональних екомереж Північного Приазов'я та басейну Росі.

Таблиця 6.7 – Основні метричні параметри змодельованих регіональних екомереж

№	Параметр	Значення для екомережі:	
		Півн. Приазов'я	басейну Росі
1	індекс відносної площі екоядер за (6.69)	0,13	0,28
2	індекс відносної площі екокоридорів за (6.70)	0,04	0,03
3	індекс відносної площі буферних зон за (6.71)	0,30	0,23
4	індекс щільності екоядер, 1/км ² , за (6.72)	0,005	0,010
5	індекс щільності екокоридорів, км/км ² , за (6.73)	0,06	0,03
6	відносний індекс середнього розміру екоядра за (6.74)	0,0010	0,0043
7	відносний індекс середнього розміру екокоридору за (6.75)	0,0003	0,0003
8	абс. індекс середнього розміру екоядра, км ² , за (6.76)	26,74	55,42
9	індекс перфорованості регіону екомережею за (6.78)	48,62	46,05
10	індекс умовної густоти екомережі, км/км ² , за (6.79)	0,26	0,30
11	середній індекс складності форми екоядер, км/км ² , за (6.80)	1,46	1,22
12	індекс актуальної просторовості екомережі за (6.81)	0,47	0,54

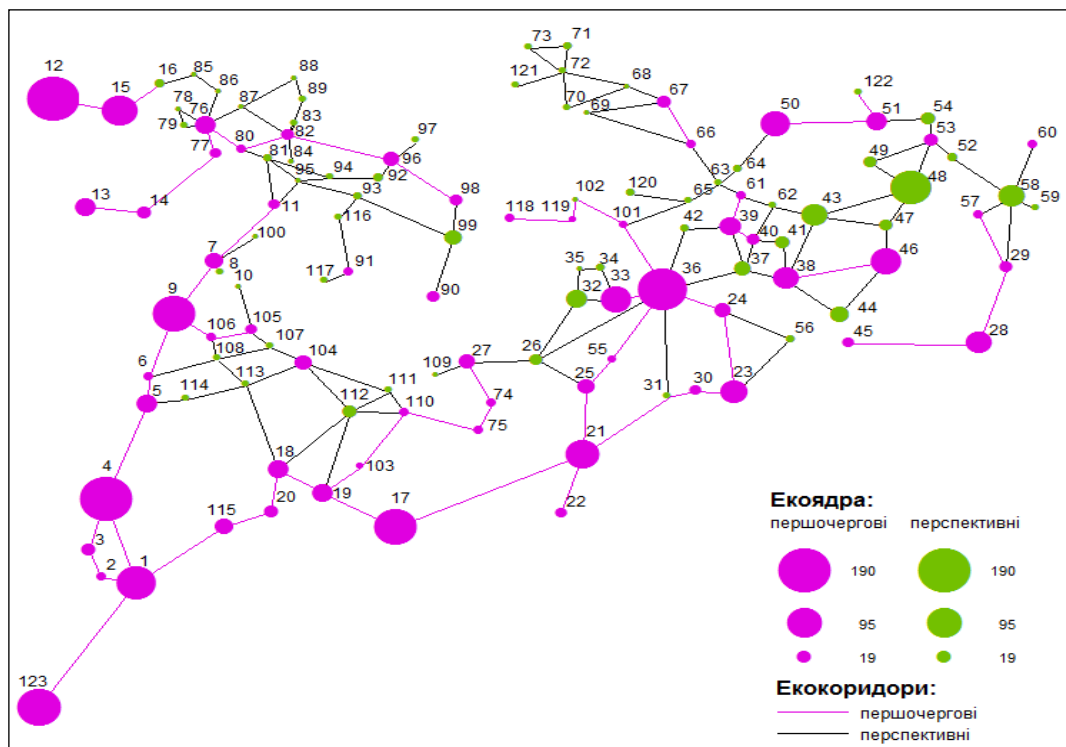


Рис.6.24 Приклад графа на цифровій карті екомережі, побудованого на основі структури МС-8 у РМЕ Північного Приазов'я (див. рис.6.21)

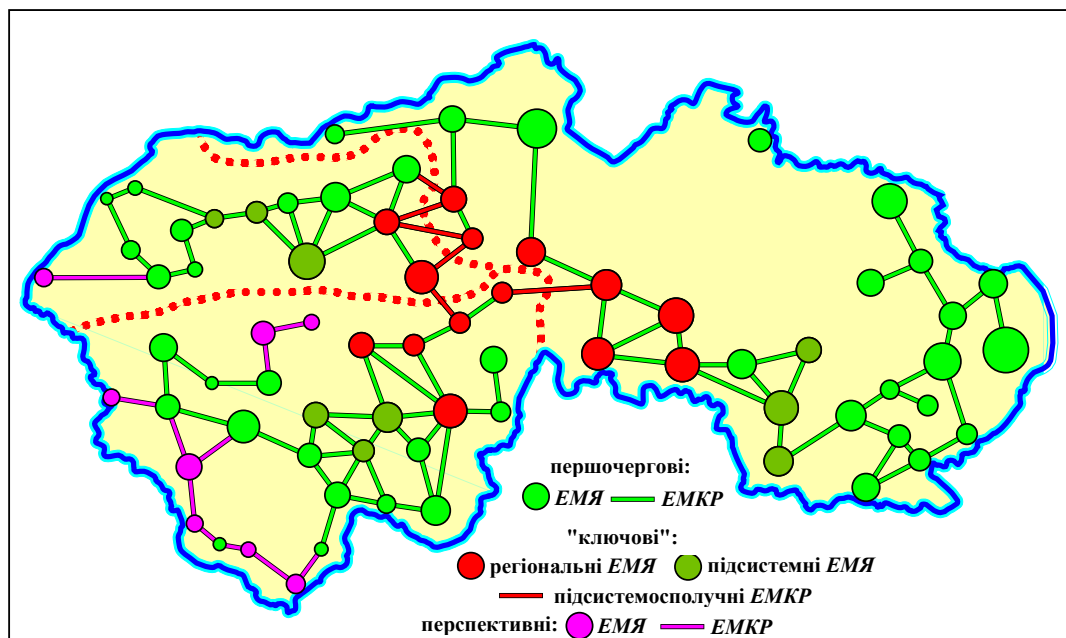


Рис.6.25 Приклад графа на цифровій карті екомережі, побудованого на основі структури МС-8 у РМЕ басейну Росії (див. рис.6.22-6.23) (ЕМЯ – екоядра, ЕМКР – екокоридори)

Контрольні запитання й завдання до розділу 6:

1. У чому полягає сенс запровадження поняття біоландшафтного різноманіття?
2. Що таке біоландшафтна територіальна структура?
3. Наведіть загальне визначення регіональної екомережі.
4. Яким чином задається регіон моделювання екомережі?
5. Що таке інтегрована мережна біоландшафтна субструктура?
6. Покажіть на прикладах, як формуються площинні та мережні просторові субструктури.
7. Яким є склад геоботанічних і зоогеографічних субструктур регіону моделювання екомережі?
8. Навіщо вирізняють регіональну (квазі)природну біоландшафтну територіальну структуру?
9. Що править за реконструйований каркас біоландшафтного різноманіття обраного для моделювання екомережі регіону?
10. Проілюструйте на прикладах можливий склад біотично-охоронних субструктур.
11. Якими є складники екомережних субструктур?
12. Що править за елементи регіональної екомережі?
13. Наведіть визначення регіонального екомережного ядра.
14. Прокоментуйте типологічну класифікацію регіональних екоядер.
15. Чим відрізняється категорія екоядра від його розряду?
16. Що править за основні атрибути екокоридору?
17. Які таксони містить типологічна класифікація регіональних екомережних коридорів?
18. Якою є відмінність між розрядом і видом екокоридору?
19. Що таке буферна зона елемента регіональної екомережі та якими є основні атрибути цієї зони?
20. Які елементи екомережі підлягають поділу на першочергові та перспективні?
21. Які Ви знаєте критерії ідентифікації й рівня природно-каркасної значущості можливих елементів екомережі?
22. Поясніть зміст застосування критеріїв ландшафтної унікальності геосистем генетико-морфологічної ЛТС.
23. За якими критеріями оцінюється регіональна типовість геосистем генетико-морфологічної ЛТС?
24. Що таке гідроінвайронментні критерії?
25. Яким чином будуються правильні шестикутні ковзні неперетнуті вікна ("стілники") під час аналізу біоландшафтного різноманіття?
26. Напишіть модель коефіцієнтів хоричної варіації геосистем генетико-морфологічної ЛТС і поясніть зміст її складників.
27. Що таке коефіцієнт типової варіації геосистем генетико-морфологічної ЛТС і які його різновиди Ви знаєте?
28. Навіщо запроваджено розрахунок регіональних модульних коефіцієнтів хорично-типової мінливості геосистем?

29. Що входить до вибіркового набору показників біорізноманіття і чим це зумовлено?
30. Якими є найбільш репрезентативно-інформативні варіаційні показники, які слід критеріально застосовувати для ідентифікації можливих елементів екомережі?
31. Що характеризує індекс композиційної репрезентативності території моделювання екомережі?
32. Прокоментуйте структуру класифікаційної схеми критеріїв рівня стану об'єктів моделювання екомережі.
33. Дайте визначення екомережної фазово-етологічної стійкості.
34. Що таке "екокоридорний" індекс сформованості екомережі і чим він відрізняється від такого ж, але "циклового" індексу?
35. Які Ви знаєте категорії сформованості (зв'язності) територіальної структури екомережі?
36. Якими метричними показниками користуються для моделювання екомережної структурно-функціональної параметрично-інтегральної стійкості?
37. Для чого визначають регіональний середній індекс складності форми екоядер?
38. З яких позицій слушно розглядати ефективність функціонування регіональної екомережі?
39. Що таке індекс ефективності сформованості (зв'язності) актуальної екомережі або її підсистем?
40. Якими є особливості визначення індексу просторової ефективності актуальної екомережі?
41. Що править за оцінку умовної надійності актуальної екомережі?
42. Поясніть зміст структури МС-3 в алгоритмі моделювання регіональної екомережі.
43. Для чого відтворюють структуру МС-6 під час моделювання екомережі?
44. На чому базується модель усередненої ширини буферних зон екоядер і екокоридорів?
45. Чим відрізняється другий варіант оптимально сформованого каркаса біоландшафтного різноманіття регіону від першого такого варіанта?
46. Наведіть приклади підсистемосполучних і ймовірних регіоносполучних екокоридорів.

7 МОДЕЛЮВАННЯ БЕРЕГОВИХ ГЕОТОНІВ

7.1 Геотонне структурування

Цей розділ присвячено викладу підходів до обраних часткових але вельми характерних задач моделювання меж і елементів стану геосистем берегової зони великих рівнинних водосховищ. Засновки моделювання таких геосистем (див. нашу працю [49] тощо) базуються, передусім, на **геотонному структуруванні**. Під ним розуміється систематизація та типізація геотонної (ландшафтно-межової) структури берегової зони за умови відображення відповідних структуротвірних відношень, зважаючи на їхній процесний і етологічний аспект.

При цьому початково, згідно з положеннями р.1 басейнова геосистема найвищого порядку, наприклад усього Дніпра, задається як макрогеосистема, а певне велике водосховище в цьому басейні, а саме кожне дніпровське водосховище, – як мезогеосистема. Берегова зона останньої, як перехідна смуга між двома контрастними геосистемами – щойно згаданою мезогеосистемою власне ложа та водних мас водосховища та "ініціальною", що залишилась суходільною після створення водосховища, мезогеосистемою річкової долини, – і є ландшафтним екотоном або **геотонном**. У ньому формуються риси, не властиві жодній із зазначених суміжних геосистем. Звідси, зважаючи на відповідні структурні ранги, **берегова зона** під час ідентифікації кваліфікується як певний тип ландшафтної макромежі у вигляді буферної геосистеми, який буде надалі називатися **макрогеотонном** (рис.7.1а).

Важливими для моделювання **загальними рисами своєрідності макрогеотону "берегова зона"** або **берегового макрогеотону** як специфічної природничої геосистеми є:

- 1) контактна і, меншою мірою, бар'єрна функції;
- 2) вельми суттєва зумовленість вихідними морфологічними особливостями чаші майбутнього водосховища умов формування та коливання параметрів процесів, які домінують у новоствореній геосистемі водосховища з його береговою зоною;
- 3) вагомість таксономії водних мас і ложа водосховища, а саме поділу їх на головне й крайові плеса з ділянками та річкову й озерну області з районами (рис.7.1б), як контрагента ідентифікації співвіднесених з відповідними таксонами елементів берегової зони;
- 4) стадіальність еволюції із збільшенням у часі морфологічного прояву елементів і поступовим перетворенням у "типову" геосистему, але не клінального типу;
- 5) наявність провідного структуротвірного процесу – *берегового процесу*, що містить як складники абразійно-берегові, наносо-динамічні забережні, гідрогалодинамічні і ін. процеси (див. табл.2.1 і (2.23)-(2.25)).

Своєрідність берегового макрогеотону зумовлює певні **особливості модельної ідентифікації його геосистем**, а саме:

- 1) необхідність використовувати спеціальну розрахункову систему координат зі змінним їхнім початком. При цьому вісь X орієнтовано вздовж берегової лінії, вісь Y перпендикулярна осі X за умови паралельності площини XU перетинам макрогеотону "берегова зона" за позначками рівнів води або поверхні, а "висотно-глибинна" вісь Z перпендикулярна площині XU у точці початку координат (0). Робочі осі (від-

різки осей) та площини при цьому зумовлюються обраними для ідентифікації структурними підсистемами макрогеотону та розміщенням початку координат (див. далі приклад рис.7.2);

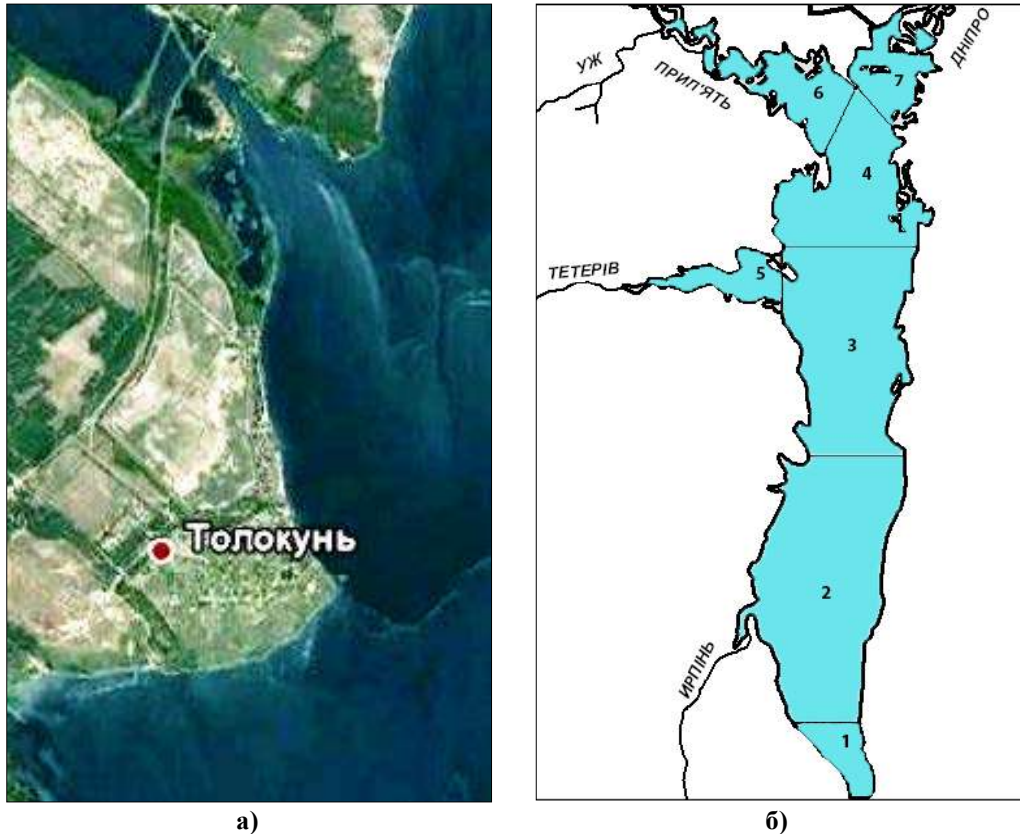


Рис.7.1 Фрагмент берегової зони великого рівнинного водосховища (а – на прикладі Київського водосховища, за [127]) та структурування цього водосховища за морфологічними та гідроморфологічними особливостями (б – згідно з р.1, див. рис.1.5) (1-7 – номери таксонів Київського водосховища: 1-4 – головного плеса; 5-7 – крайових плес, відповідно, Тетерівського, Прип'ятського, Дніпровського; 1-3 – озерної області з районами, відповідно, глибоководним, обмеженого хвилювання, відмілим, 4 – річкової області)

2) варіантність положення меж макрогеотону та його субструктур для різних рівнів антропогенного та/або натурального впливу;

3) необхідність врахування часової структури через стадіальність берегового процесу, яка виявляється у багаторічних динамічних змінах. Вони відображаються різноперіодними просторово-часовими флуктуаціями та, зазвичай, прогресивною сукцесією, спрямованою на досягнення рівноважного стану;

4) доцільність врахування позиційно-динамічних структуротвірних відношень, як найбільш адекватних змісту процесів у береговій зоні з вирізненням берегових ландшафтних районів, ярусів і смуг як геосистем (див. [49]), а також типологічної класифікації берегових каркасних меж динаміки геосистем цієї зони (табл.7.1);

5) можливість обирання за аналог під час оцінювань певних структур узбережжя морів;

6) вагомість впливу антропогенної та натурально-антропогенної підсистем на сучасні чинники і умови структуроутворення.

Таблиця 7.1 – Типологічна класифікація каркасних меж берегової зони

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Гіперклас	Гіпергенезис формування	(Квазі)природні, натурально-антропогенні, антропогенні
Гіперпідклас	Актуальна позиція	Суходільні, суходільно-акваторійні (акваторійно-суходільні), акваторійні
Клас	Належність до складника ідентифікації	Геотонної структури, позиційно-динамічної структури, поліфункціональні
Підклас	Деталізація ознак класу за відношенням до субструктур і рангом	<i>Структуро-розподільні</i> : зовнішньо- та внутрішньоструктурні; міжсмугові, між'ярусні, міжмезогеотонні, міжструктурні комплексні; гіпер-, мезо-, мікротранзитні; <i>структуро-нерозподільні</i> ; <i>комбіновані</i> тощо
Група	Процесно-модульний генезис	<i>Гомогенні</i> : морфогенні, гідрогенні, педогенні, субаквально-седиментогенні, фітогенні, галогенні, псамогенні, полюціогенні тощо; <i>гетерогенні</i> : гідроморфогенні, морфолітогенні, фітопедогенні, гідрогалогенні тощо
Підгрупа	Деталізація генетичних ознак групи	<i>Морфогенні</i> : вододільні, бровочні, підошовві, тальвегові тощо; <i>гідрогенні</i> : потамо-флювіальні (русліві), лімногенні (озерні, ставкові), гелогенні (болотні) тощо; <i>педогенні</i> : фільтраційні (фільтраційно-геохімічні латеральні) тощо
Тип	Структурно-функціональна форма	Квазілінійні, буферно-смугові, поліморфні (поздовжньо- чи поперечно-поліморфні, складних поєднань тощо)
Підтип	Деталізація ознак типу	<i>Квазілінійні</i> : автономні, неавтономні (кордонні буферно-смугових чи у їхньому складі); <i>буферно-смугові</i> : клінальні, геотонні (мікрогеотонні); <i>комбіновані</i>
Категорія	Зв'язки сусідніх геосистем	Контактні, бар'єрно-переборні, бар'єрно-непереборні, мембранні (комплексні)
Підкатегорія (перший рівень)	Деталізація ознак за змістом взаємодії з певними речовинно-енергетичними потоками між сусідніми геосистемами	<i>Квазілінійні та клінальні контактні і бар'єрно-переборні</i> : градієнтно-додатні чи від'ємні тощо; <i>квазілінійні бар'єрно-непереборні</i> : дивергентні, конвергентні, відхиляльні, відбивальні, перехоплювальні чи стримувальні тощо; <i>мікрогеотонні контактні</i> : контактно-генераційні чи продуційні тощо; <i>мікрогеотонні бар'єрно-переборні</i> : трансформаційні; трансформаційно-градієнтні тощо; <i>мікрогеотонні бар'єрно-непереборні</i> : мікрогеотонні бар'єрно-непереборно-накопичувальні, відхиляльні чи відбивальні тощо

Таксон	Критерії вирізнення	Типові приклади
Підкатегорія (другий рівень)	Деталізація ознак підкатегорії за різноманітним речовинно-енергетичних потоків і/або супутніх / наслідкових до них процесів, зокрема у власне каркасних межах тощо	<i>Градiєнтно-додатні</i> : стоково-грунтові, водообмінно-забережні тощо.; <i>градiєнтно-від'ємні</i> : площинно-ерозійні, абразійно-берегові тощо; <i>дивергентні</i> : стоково-поверхневі тощо; <i>конвергентні</i> : седименто-транзитні, дренажно-водовідвідні тощо; <i>квазілінійні відхиляльні</i> : струменерегульовальні тощо; <i>квазілінійні відбивальні</i> : хвилевідбійні тощо; <i>квазілінійні перехоплювальні</i> : наносопотокові, полюціопотокові тощо; <i>квазілінійні стримувальні</i> : експлуатаційно-рівневого затоплення тощо; <i>контактно-генераційні</i> : термоаероциркуляційно-генераційні, гігроаероциркуляційно-генераційні тощо; <i>контактно-продукційні</i> : шлейфово-делювіальні, гідрогаломорфізаційні тощо; <i>трансформаційні</i> : теплообмінні, полюціо-трансформаційні тощо; <i>трансформаційно-градієнтні</i> : хвиле-енергодисипаційні, геохімічно-міграційні тощо; <i>мікрогеотонні бар'єрно-непереборно-накопичувальні</i> : снігозатримувальні, рослинно-спорові, еоло-акумулятивні, наносопотокові тощо; <i>мікрогеотонні відхиляльні</i> : аероциркуляційно-відхиляльні тощо; <i>мікрогеотонні відбивальні</i> : аероциркуляційно-відбивальні, експлуатаційно-рівневого підтоплення тощо
Розряд	Міра реальності та зміст позиції в природі (а) та топологія, зосібна переважна орієнтація (б)	а) фактографічні, уявно-розрахункові (розрахункові, розрахунково-модельні, модельні, прогнозні тощо), аналого-розрахункові; б) суцільно-оконтурювальні, фрагментарні (дискретно-оконтурювальні); поперечні, поздовжні тощо; спільно- або різномодульного сусідства тощо
Підрозряд	Морфологічний прояв або морфологічна відповідність (збіг)	(<i>Квазі</i>)природні та натурально-антропогенні квазілінійні та буферно-смугові або поліморфні – морфологічно: невиражені, слабковиражені тощо; натурально-антропогенні та антропогенні – морфологічно: консеквентні, асеквентні тощо
Вид	Територіально-часова варіабельність місцезнаходження (хорологічно-динамічний аспект)	Квазінезмінні; квазінезмінно-флуктивні; змінно-флуктивні: а) односпрямовані (згасливі, незгасливі, а також для буферно-смугових – зростаючі, спадні, еквідистантні тощо); б) різноспрямовані (коливальні: квазіперіодичні, циклічні, квазіперіодично-циклічні, ритмічні, невизначені)
Підвид	Деталізація ознак виду (етологічно-динамічний аспект)	(<i>Квазі</i>)природні та натурально-антропогенні: посереддобової, добової, посередсезонної, сезонної, внутрішньорічної, багаторічно-порівняльної, сукцесійної, еволюційно-сукцесійної мінливості тощо; антропогенні та натурально-антропогенні: періодично відновлювані або підтримувані тощо
Варіант	Часова неперервність	Неперервно-часові, перервно-часові

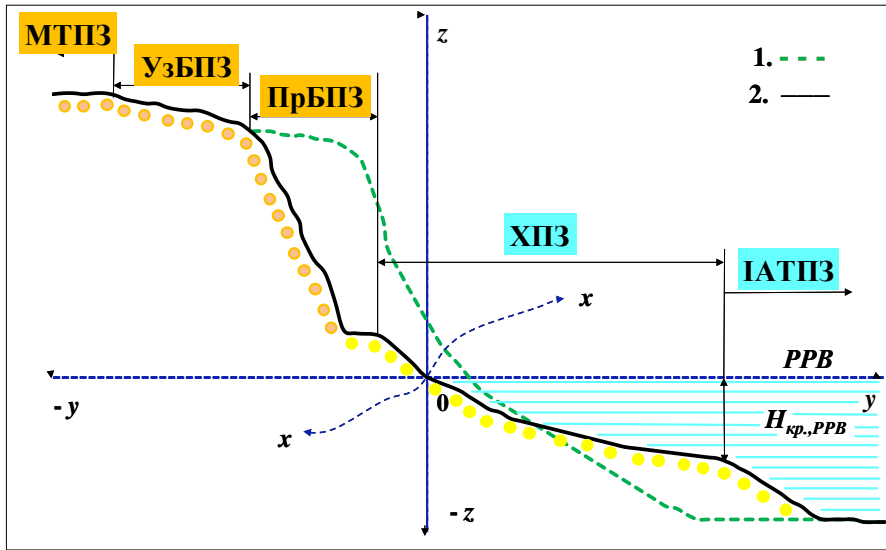


Рис.7.2 Геотонне структурування берегового макрогеотону (на типовому прикладі профілю формування абразійного незсувного берега озерної області водосховища із заданим усередненим положенням меж мезогеотонів) (1 – початковий профіль; 2 – профіль на стадії, близькій до стадії динамічної рівноваги; PPB – розрахунковий рівень води та відповідна йому розрахункова критична глибина $H_{кр.,PPB}$)



Фото 7.1 Узбережна, прибережна та хвилеприбійна підзони берегової зони (на прикладі Київського водосховища)

Згідно з поданим визначенням, власне зміст і критерії геотонного структурування берегового макрогеотону можна в загальних рисах звести до такого.

Отже, початково в береговому макрогеотоні в цілому доцільно вирізняти такі **мезогеотони**, як: **узбережжя (узбережна підзона) (УзБПЗ), прибережна підзона (ПрБПЗ), хвилеприбійна підзона (ХПЗ)**, а також **заузбережна або мета-теральна (МТПЗ) та інфра-аква-теральна (ІАТПЗ) підзони** (див. характерні приклади на рис.7.2 і фото 7.1).

Внутрішня, тобто акваторійна межа **хвилеприбійної підзони** чисельно визначається за розрахунковими елементами трансформування хвиль біля берега, а саме за розрахунковою критичною глибиною $H_{кр.,PPB}$ (див. далі п.7.2-7.3). Натомість зовнішня, тобто суходільна межа хвилеприбійного мезогеотону маркується за зовнішньою межею забережних укосів. Мезогеотон містить два постійних модулі – гідрогенний та морфогенний або морфоседиментогенний – та відзначається типово активно-контактною функцією акумуляції, трансформації, перерозподілу і перенесення речовинного потоку. За останній править потік літогенного матеріалу з прибережної підзони на тлі дотримання принципу суперпозиції гідродинамічних і морфолітодинамічних чинників.

Через можливість вторинного седиментогенного чи фітогенного контакту допускається вирізнення за акваторійної межею ХПЗ або ПрБПЗ **інфра-аква-теральної підзони** в ранзі поздовжньо-дискретного мезогеотону. Найбільш характерним типом останнього є *мілководний мезогеотон* як аква-теральна геосистема. Така система відрізняється відносно однорідним гідрофізикохімічним і термічним режимом, ступенем вітро-хвильової дії або видом руслового процесу тощо та становленням характерних біогідроценозів, які формуються в умовах осушування, підтоплення й затоплення. Мілководний мезогеотон відзначається генетично-контактною функцією та еволюційно-"набутою" бар'єрною функцією як біологічний бар'єр. Інколи можлива "інверсія" ХПЗ і мілководного мезогеотону, а також "дублювання" елементів ХПЗ з боку глибоководдя. Межі між хвилеприбійним і прибережним мезогеотонами, а також між ХПЗ або ІАТПЗ і ложем водосховища тощо доцільно встановлювати за певними *характерними рівнями води у водосховищі* як своєрідними "базисами структуроутворення". До них відносяться, зокрема, нормальний підпірний рівень (НПР), розрахунковий рівень води (PPB) стосовно озерної області тощо з урахуванням існування специфічної гіперпідзони *осушування*.

Методично важливим для структурування є поняття про **три мезополя загального структуроутворення** берегового макрогеотону, а саме:

1) *мезополе еволюційного структуроутворення*, тобто нових структуротвірних відношень. Вони є вперше виниклими для "вихідної" суходільної мезогеосистеми й охоплюють інфра-аква-теральну, хвилеприбійну та прибережну підзони;

2) *мезополе сукцесійного структуроутворення*, тобто частково трансформованих, утім істотно процесно інтенсифікованих структуротвірних відношень. Вони відчутно відрізняються за схемами прояву, наслідками тощо від "вихідних" відношень або процесів на суходолі й приурочені до узбережної підзони;

3) *мезополе невизначеностей*, тобто частково трансформованих і/або слабо процесно змінених геосистемних відношень. Їхня відповідність зміні "вихідного" механізму структуроутворення є остаточно невизначеною або малоймовірною. Це зумовлює необхідність відповідного вирізнення мета-теральної підзони як мезогеотону.

Звідси за зовнішню межу **узбережної підзони як мезогеотону** можуть правити варіантні розрахунково-модельні положення максимально віддаленої в бік суходолу умовної межі поширення поліфункціонально небажаних у геоecологічному аспекті наслідків прояву структуротвірних процесів другого мезополя. До них належать гідрогалодинамічні, передусім гідроморфізаційні, гравігенно-теральні, суфозійно-карстові, флювіо-ерозійно-алювіальні, полюціо-динамічні та фітоценотично-динамічні узбережно-прибережні процеси (див. табл.2.1). Зважаючи ж на зміст третього мезополя, маркується межа найчастіше фрагментарного **мета-теральної підзони як мезогеотону**. При цьому для "цілісності" завдань управління додатково враховуються й межі прилеглих складників натурально-антропогенної та антропогенної підсистем, які зумовлено винятково тими, які склалися, особливостями ресурсокористування. Серед них – відповідні межі природоохоронних об'єктів або захищених від затоплення/підтоплення масивів тощо.

За суходільну межу **прибережної підзони як мезогеотону** править теж розрахункова межа. Вона, наприклад для вельми розповсюджених берегів абразійної групи, маркує змодельоване на певний час положення бровки *берегового уступу* або *власне берега* (див. рис.7.2) чи визначається іншим способом згідно із специфікою берегів. Прибережний мезогеотон розподіляють на субструктури за інженерно-геологічними критеріями з позиціонування найбільш характерних "процесних" типів берегів. Серед останніх вирізняють, зокрема, абразійно-осипні, абразійно-обвальні, абразійно-обвальні-осипні, абразійно-зсувні та інші береги, зважаючи на зв'язність чи незв'язність порід в зоні активного формування берегів тощо. Інші властивості та функціональні особливості головних елементів геотонної структури берегового макрогеотону детально розглянуто в нашій праці [49].

Викладені вище загальні підходи до геотонного структурування берегової зони правлять за основу способів чисельного вирішення певних теоретично-прикладних модельних задач. Вони є вельми специфічними, але дуже важливими за змістом для берегового макрогеотону як основного об'єкта моделювання. Це зумовлено поєднанням зазначених задач з відтворенням особливостей і компонентів найбільш складного для моделювання мезополя макрогеотону берегової зони – мезополя еволюційного структуроутворення, яке реалізується, насамперед, у хвилеприбійному та прибережному мезогеотонах. До складу щойно згаданих модельних задач, способи вирішення яких послідовно розглядаються далі, входять:

- задача з моделювання акваторійної межі хвилеприбійного мезогеотону;
- комплекс задач з моделювання геоелементів стану й суходільних меж хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів.

7.2 Моделювання акваторійної межі хвилеприбійного мезогеотону

Значущість визначення способів моделювання акваторійної берегової каркасної межі хвилеприбійного мезогеотону пояснюється тим, що досить часто за "неускладнених" умов (див. п.7.1) вона править загалом за межу між буферною геосистемою берегової зони та мезогеосистемою ложа та водних мас водосховища. Власне ж вирішення такої модельної задачі має початково базуватися на типізації зазначеної акваторійної межі за класифікаційними ознаками, викладеними у табл.7.1. Це вирі-

шення також має передбачати дослідження особливостей головних речовинно-енергетичних потоків, передусім хвиле-енергетичних, які трансформуються в межі, що і визначає своєрідність її структурно-функціональної організації та місцезнаходження в береговій зоні в цілому. Саме таким аспектам і присвячено цей підрозділ, основні логіко-аналітичні побудови та модельні здобутки якого викладаються далі.

Таким чином, передусім слід визначитись з конкретним **об'єктом моделювання** підрозділу, враховуючи положення попереднього підрозділу. Отже, по-перше, акваторійну межу хвилеприбійного мезогеотону можна ототожнити з третьопорядковою т.зв. *підзоною першого обрешування хвиль* (див. п.7.1, нашу працю [49] і фото 7.2). По-друге, така межа, як вже зазначалося, чисельно моделюється за розрахунковими елементами трансформування хвиль біля берегу, насамперед за певними коливаннями позиції розрахункової критичної для обрешування хвиль глибини у хвилеприбійному мезогеотоні. Це, в цілому, і є відображенням специфіки формування тут відповідних хвиле-енергетичних, течієвих і інших, поєднаних з ними потоків, зокрема седименто-міграційних тощо. По-третє, слід зважати й на те, що хвилеприбійний мезогеотон, передусім в умовах домінування абразійно-берегових типів процесів, а отже для озерної області водосховища, диференціюється на гідрогенний модуль водної маси та морфогенний або морфоседиментогенний модуль забережного укусу. Останній, у свою чергу, можна розглядати як елемент хоричної структури берегової зони – берегову ландшафтну смугу або їхній набір. З огляду на всі ці засновки правомірно зазначити таке.



Фото 7.2 Підзона першого обрешування хвиль (крайня до акваторії, див. текст і схему рис.7.3)

По-перше, варіації місцезнаходження акваторійної межі хвилеприбійного мезогеотону будуть остаточно маркуватися саме стосовно забережного укусу як основного "позиційного субстрату" цього мезогеотону в цілому. Але таке маркування

буде зумовлено модельними рішеннями щодо "межотвірних" параметрів гідрогенного модуля – певних модельних висот хвиль і відповідних глибин їхнього обрушування.

По-друге, основний об'єкт моделювання підрозділу, з огляду на всі щойно викладені положення, буде надалі змістово називатися *укісна межа першообрушування хвиль* або *першообрушувальна укісна межа* чи просто *першообрушувальна межа* з додаванням ад'єктиву "мікрогеотонна" або інших визначальних атрибутів такої межі (див. розвідки наступного тексту).

Доцільно також виконати **типізацію об'єкта моделювання** підрозділу як берегової каркасної межі за класифікаційними критеріями табл.7.1.

Отже, укісна межа першообрушування хвиль за гіперкласом є натурально-антропогенною. Це зумовлено як особливостями створення та експлуатації водосховища загалом, так і на приуроченістю цієї межі до забережного укусу, який, до того ж, може мати "суто" штучне походження.

За гіперпідкласом зазначена межа є акваторійною, внутрішньою для того ж укусу тощо, зважаючи на її критеріальне положення в розрахунковій системі координат (див. рис.7.2). А проте, при цьому не слід забувати про різну за тривалістю та повторюваністю, в залежності від режиму регулювання стоку, належність укісної межі до специфічної гіперпідзони осушування. Через таке межа, що розглядається, на певний час може ставати фактично "суто суходільною" геосистемою.

Першообрушувальна укісна межа за класом є поліфункціональною. Це спричинено тим, що ця межа за головним своїм змістом досить часто править, з одного боку, загалом за межу берегового макрогеотону або, у інших випадках, за межу хвилеприбійної та інфра-аква-теральної підзон тощо. З іншого боку, першообрушувальна межа розділяє і позиційно-динамічні структури, наприклад ті ж відповідні сусідні смуги укусу та ложа водосховища тощо. При цьому для відмілих берегів визначення місцезнаходження першообрушувальної межі як геотонної є вихідним для визначення відповідної їй позиційно-динамічної межі. Для глибоких же берегів, з чітко вираженим зовнішнім краєм забережного укусу, саме позиційно-динамічне морфологічне визначення місцезнаходження зазначеної межі може передувати її маркуванню як геотонної. Через щойно викладене, першообрушувальна межа за підкласом є, вочевидь, структуро-розподільною та, до того ж, мезотранзитною, бо оконтурює лише забережні укуси озерної області водосховища.

Комплексність присутня і в процесно-модульному генезисі межі, що розглядається, як ознаці групи меж за класифікацією. Таким чином, першообрушувальна межа є гетерогенною, причім може бути кваліфікована як гідроморфоседиментогенна і вже за підгрупою – забережного укусу. У окремих випадках, для глибоких берегів, досліджувану межу можна ідентифікувати і як морфогенну за групою та бровочну за підгрупою.

Укісна межа першообрушування хвиль є поперечно-поліморфною за типом, позаяк уособлює, передусім, буферно-смугову межу, а проте з ідентифікованими у її складі квазілінійними межами. Такі межі можуть бути як *кордонними*, які загалом оточують досліджувану межу, так і *усередненими*, а також вельми специфічними розрахунково-модельними (див. наступний текст і рис.7.3). При цьому зазначені квазілінійні межі за підтипом є неавтономними. Натомість першообрушувальна

межа загалом як домінантно буферно-смугова є типовою мікрогеотонною, бо має власні унікальні атрибути, відмінні від атрибутів геосистем, які вона розділяє.

Належність першообрушувальної межі до мембранної, тобто комплексної за категорією зумовлено тим, що вона зазвичай є комбінацією трьох симплексних категорій меж, а саме контактних, бар'єрно-переборних і бар'єрно-непереборних. Це стосується різних типів речовинно-енергетичних потоків і деталізується вже в ознаках підкатегорії першого та другого рівня (див. табл.7.1). Так, мікрогеотонна першообрушувальна межа є, по-перше, контактено-генераційною, позаяк "з неї" індукуються в бік берега певні вздовжберегові течії, нові за змістом для сусідніх геосистем. По-друге, вона є бар'єрно-переборною трансформаційно-градієнтною за рахунок перетворення, з істотним зменшенням потенціалу, вітро-хвильової енергії, що "прямує" з глибоководь до берегової лінії. По-третє, ця межа є бар'єрно-непереборно-накопичувальною наносопотоковою, оскільки обмежує у бік акваторії поперечне до берега або вздовжберегове переміщення укосотвірних (відмілиновтвірних) наносів.

При цьому, як трансформаційно-градієнтна, досліджувана укїсна межа є, до того ж, хвиле-енерго-дисипаційною згідно з критеріями другорівневої підкатегорії класифікації за табл.7.1. Це дозволяє сформулювати *субзадачу* відшукування параметрів не тільки усередненої, а й модельно-розрахункової квазілінійної межі в складі мікрогеотонної першообрушувальної. Така межа є специфічною *енергетично-еквівалентною* за певними параметрами, енергетично еквівалентними усьому спектру розподілу хвиль і їхніх систем у розрахунковому штормі (див. далі).

Укїсну межу першообрушування хвиль, як в цілому, так і, особливо, за її компонентами, на рівні розряду класифікації меж може бути типізовано наступним чином. Так загалом цю межу з її складниками можна кваліфікувати як аналого-розрахункову, позаяк місцезнаходження її або її певних елементів може відстежуватися фактографічно – візуально, на хвилевимірювальних станціях, шляхом промірів глибин тощо. Це, втім, зазвичай не дає змогу безпосередньо визначити змістове навантаження цих елементів для процесу диференціації берегової зони (див. п.7.1). При цьому квазілінійна усереднена та енергетично-еквівалентна межі досліджуваної укїсної межі є розрахунково-модельними за розрядом. Це зумовлено відповідним отриманням їхньої позиції за певними модельними глибинами, що стосується в більшості випадків і кордонних меж (див. наступний текст). За іншими ознаками розряду першообрушувальна укїсна межа є суцільно-оконтурювальною поздовжньою до берега та неперервною в межах забережного укусу, до якого вона тяжіє. Крім того, ця межа відзначається спільномодульним сусідством геосистем, які вона відокремлює, не забуваючи при цьому, що таких модулів є декілька (див. попередній текст).

Застосовуючи критерії вирізнення підрозряду каркасних меж, слід зазначити, що такий складник досліджуваної межі, як її внутрішня, в бік акваторії, кордонна межа, може бути морфологічно невираженим, що стосується відмілих берегів, або морфологічно середньовираженим – для глибоких берегів у вигляді "аква-теральної бровки" забережного укусу (відмілини).

Типізуючи хорологічно-динамічний аспект ознак виду каркасних меж стосовно компонентів першообрушувальної межі як аналого-розрахункової за розрядом, до-

цільно віднести ці компоненти до квазінезмінних меж за умов відсутності односпрямованих деформацій забережного укусу. Цьому сприяє відносна незмінність для заданого рівня води відстаней від берегової лінії до розрахунково-модельних позицій квазілінійних усередненої, енергетично-еквівалентної та кордонних меж досліджуваної мікрогеотонної межі. В умовах же односпрямованих деформацій укусу, під час його формування загалом як морфоседиментогенного модуля хвилеприбійного мезогеотону, аналого-розрахункові компоненти останньої межі слід вже кваліфікувати як змінно-флуктивні, односпрямовані та згасливі за зміною їхньої позиції. Це зумовлено тим, що ці компоненти спадно за інтенсивністю поступово "пересувають" своє місцезнаходження в бік акваторії, збільшуючи, до того ж і також спадно, загальну ширину першообрушувальної межі. Крім цього, зважаючи на коливання експлуатаційних рівнів водосховища, особливо за умов змінного за багатоліття експлуатаційно-рівневого режиму, кордонні та інші зазначені межі першообрушувальної межі, але вже у фактографічному їхньому вираженні, досить часто можна віднести до різноспрямованих ритмічних меж. Такі межі повторюють свою близьку за координатами, але неоднакову позицію за різний період часу.

Стадія або етап розвитку берегового укусу, як відображення стадіальності розвитку берегової зони загалом, а також вид регулювання стоку водосховищем визначають і підвид першообрушувальної межі. У такому випадку, за умов відсутності односпрямованих деформацій, ця межа може відзначатись сезонною, внутрішньорічною та іншою зміною/мінливістю місцезнаходження. За умов же односпрямованих деформацій домінуватиме еволюційно-сукцесійна зміна/мінливість позиції межі. Щойно перелічені чинники, зважаючи і на розряд та підрозряд межі, що досліджується, зумовлюють і міру її часової неперервності існування, тобто її класифікаційний варіант. На його рівні ця межа як аналого-розрахункова є неперервно-часовою, зосібна за наявності морфологічно вираженої акваторійної кордонної межі, а як набір фактографічних меж і за умов відсутності морфологічного прояву – перервно-часовою.

З методичних позицій подальшого моделювання слід окремо зазначити (див. нашу працю [49]), що існуючі способи визначення ймовірності перевищення висот хвиль гідрогенного модуля хвилеприбійного мезогеотону в двох часових аспектах – у системі (групі) та в режимі (за ймовірністю перевищення розрахункового шторму) потребують удосконалення. Це зумовлено тим, що ці способи недостатньо повно відображають варіабельність хвилювання в першообрушувальній межі та ймовірність сполучень числових параметрів висот хвиль і динамічної поверхні морфогенного або морфоседиментогенного модуля забережного укусу, з якою взаємодіє хвильовий потік.

Таким чином, викладені вище положення та результати типізації мікрогеотонної першообрушувальної укисної межі дозволяють безпосередньо перейти до **вирішення поставленої задачі** її моделювання з проведенням необхідних аналітичних досліджень, із залученням фактографічних даних, закономірностей розподілу висот хвиль і відповідних їм глибин стосовно головного об'єкта моделювання. Це власне і дозволяє маркувати всі необхідні межі-компоненти цього об'єкта згідно з вищенаведеними засновками. А отже, для аналізу та подальших висновків було використано наступні показники та міркування (рис.7.3).

1. Розподіл відносних висот хвиль у хвилеприбійній підзоні, зокрема на "акваторійному початку" першообрушувальної межі, достатньо добре описується функцією розподілу (ймовірностей перевищення) Б. Глуховського ([49]), а саме

$$P_{ex}(K_h) = \exp \left[- \left\{ (\pi / 4) \cdot (1 + H^* / (2\pi)^{0,5}) \cdot (K_h)^2 \right\} \right], \quad (7.1)$$

де K_h – модульні коефіцієнти висот хвиль; $z = 2 / (1 - H^*)$, $H^* = h^* / H$, де h^* – середня висота хвиль, H – відповідна глибина.

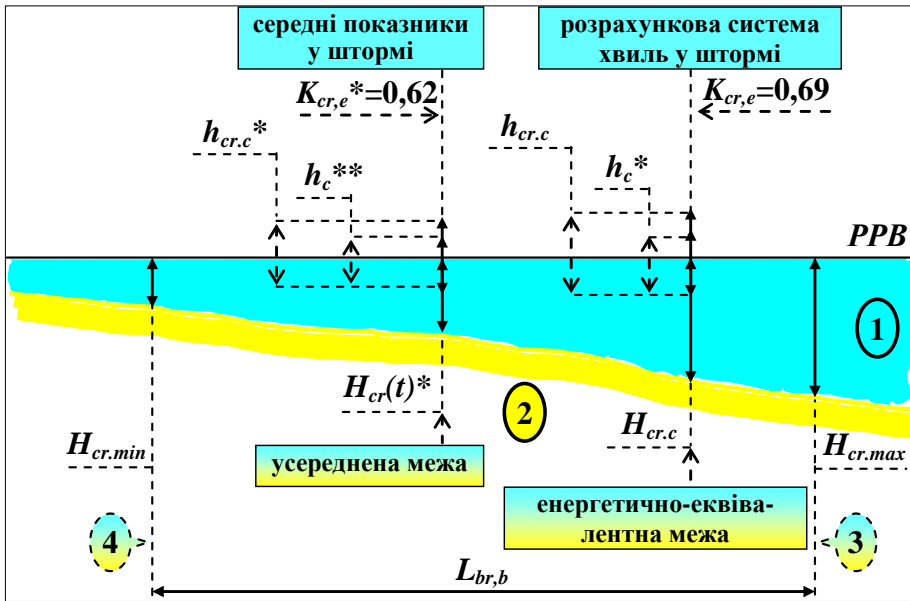


Рис.7.3 Схема-модель першообрушувальної укісної межі відмілого берега (1 – гідрогенний модуль; 2 – морфоседиментогенний модуль; 3 – внутрішня (акваторійна) кордонна межа; 4 – зовнішня кордонна межа; PPB – розрахунковий рівень води; інші позначення – за текстом)

Перепишемо (7.1) у вигляді

$$K_h = \left\{ - 2,93 \cdot (1 + 0,4 \cdot H^*) \cdot \lg P_{ex}(K_h) \right\}^{1/2}. \quad (7.2)$$

Для першообрушувальної межі, а точніше її акваторійної кордонної межі або лінії першого обрушування розрахункової хвилі на межі між другою та третьою хвильовими зонами (див. [49]),

$$K_{hcr} = h_{cr,c} / h_c^* = 1,38 \cdot \left\{ \lg P_{ex}(K_{hcr}) \right\}^{0,25}, \quad (7.3)$$

де K_{hcr} – модульний коефіцієнт $h_{cr,c}$ як критичної висоти розрахункової хвилі за лінією її першого обрушування в розрахунковому штормі. Така висота може задаватися за [49] або іншим способом (див. далі); h_c^* – середня висота хвилі в розрахунковій системі з $h_{cr,c}$.

При цьому виконуються наступні співвідношення

$$h_c^* = 0,5 \cdot H_{cr,c} , \quad (7.4)$$

$$h^{**} = 0,5 \cdot H_{cr}(t)^* , \quad (7.5)$$

де $H_{cr,c}$ – критична глибина води за лінією першого обрушування розрахункової хвилі з $h_{cr,c}$; h^{**} – середня h^* у розрахунковому штормі, тобто середня з середніх у наборі систем шторму; $H_{cr}(t)^*$ – середня H_{cr} у розрахунковому штормі, яка власне і маркує позицію квазілінійної усередненої межі (див. рис.7.3).

2. Застосування показників h^{**} , $H_{cr}(t)^*$ і супутніх до них, які наводяться далі, зумовлено спробою розгляду усього набору систем хвиль розрахункового шторму за всією шириною берегової каркасної першообрушувальної укісної межі ($L_{br,b}$) (див. рис.7.3). Відповідно, крім K_{hcr} цієї окремої розрахункової системи хвиль, необхідно використовувати ще й відношення певних висот хвиль кожної системи до усереднених їхніх показників за увесь шторм, а саме модульні коефіцієнти $K_{K_{hcr}}$. Тобто треба оцінити розподіл у штормі першообрушувальних у кожній системі хвиль. Для цього використовуємо такі показники та співвідношення, як

$$K_{K_{hcr}} = K_{hcr} / K_{hcr}^* = h_{cr,c} / (h_c^* \cdot K_{hcr}^*) , \quad (7.6)$$

де K_{hcr}^* – середній із $K_{K_{hcr}}$ у штормі.

Для відшукування функції розподілу $K_{K_{hcr}}$ було залучено хвильограмні записи набору довільно обраних штормів ([95]) і проведено відповідну апроксимацію фактографічних даних згідно з принципами, викладеними в наших працях [39, 40, 47]. У результаті розподіл (ймовірностей перевищення, у %) $K_{K_{hcr}}$ у штормі має вигляд ($z = 8$ за структурою (7.1))

$$P_{ex}(K_{K_{hcr}}) = 100 \cdot \exp [- 0,60 (K_{K_{hcr}})^8] , \quad (7.7)$$

або

$$K_{K_{hcr}} = 1,18 \cdot \{ - \lg P_{ex}(K_{K_{hcr}}) \}^{0,125} . \quad (7.8)$$

Згідно із загальностохастичними закономірностями (див. нашу працю [39] і р.1-2) виведемо ще кілька допоміжних співвідношень, а саме

$$h^{**} \cdot K_{hcr}^* = h_{cr}^* , \quad K_{hcr}^* = h_{cr}^* / h^{**} , \quad (7.9)$$

де h_{cr}^* – середня h_{cr} у розрахунковому штормі;

$$K_{h^*} = h_c^* / h^{**} , \quad (7.10)$$

$$K_{hcr}^* = h_{cr}^* \cdot K_{h^*} / h_c^* , \quad (7.11)$$

$$K_{K_{hcr}} = h_{cr,c} \cdot h_c^* / (h_c^* \cdot h_{cr}^* \cdot K_{h^*}) = h_{cr,c} / (h_{cr}^* \cdot K_{h^*}) , \quad h_{cr,c} = h_{cr}^* \cdot K_{K_{hcr}} \cdot K_{h^*} , \quad (7.12)$$

$$K_{H_{cr}} = H_{cr,c} / H_{cr}(t)^* = 2h_c^* / 2h^{**} = K_{h^*} , \quad (7.13)$$

де $H_{cr}(t)^*$ – середня H_{cr} у штормі;

$$H_{cr}(t)^* = H_{cr,c} / K_{h^*} = H_{cr} \cdot h_{cr}^* / (h_c^* \cdot K_{hcr}^*) , h_{cr}^* / H_{cr}(t)^* = 0,5 \cdot K_{hcr}^* , \quad (7.14)$$

$$h_{cr}^* / H_{cr,c} = 0,5 \cdot K_{hcr}^* / K_{h^*} = 0,5 \cdot K_{hcr}^* / K_{Hcr} , \quad (7.15)$$

$$K_{hcr}' = h_{cr,c} / h_{cr}^* = K_{K_{hcr}} \cdot K_{h^*} , \quad (7.16)$$

$$K_{cr} = h_{cr,c} / H_{cr,c} = H_{cr}(t)^* / H_{cr,c} , \quad (7.17)$$

де K_{cr} – т.зв. індекс (першого) обрушування;

$$K_{K_{cr}} = K_{cr} / K_{cr}^* = K_{hcr}' / K_{h^*} = K_{K_{hcr}} \cdot K_{h^*} / K_{h^*} = K_{K_{hcr}} , \quad (7.18)$$

де K_{cr}^* – середній K_{cr} у штормі;

$$\begin{aligned} H_{cr,c} &= 2 \cdot h_{cr}^* \cdot K_{h^*} / K_{hcr}^* = 2 \cdot h_{cr,c} \cdot h_{cr}^* / (h_c^* \cdot K_{K_{hcr}} \cdot K_{hcr}^*) = \\ &= 2 \cdot h_{cr,c} / (K_{hcr}^* \cdot K_{K_{hcr}}) . \end{aligned} \quad (7.19)$$

3. На основі допоміжних співвідношень (7.9)-(7.19) перейдемо безпосередньо до визначення принципів складників *схеми-моделі першообрушувальної укїсної межі* за співвідношеннями розрахункових висот хвиль та глибин у її гідрогенному модулі (див. рис.7.3). Для цього надамо надалі абсолютним параметрам залежностей (7.1)-(7.19) підрядковий символ "с", тобто розрахункові, із збереженням його за наявності. Визначені ж відносні параметри буде позначено підрядковим символом "е", тобто "еквівалентні".

За таких умов завдання полягає у відшуканні числових значень певних, щойно згаданих параметрів, які дозволяють визначати розрахункові критерії руйнування хвиль і значення "характерних" висот і глибин, найбільшою мірою еквівалентних взаємодії всього спектра хвиль з рухомим дном – поверхнею морфоседиментогенного модуля заберезного укусу. Тобто треба створити можливість моделювати насамперед т.зв. профілетвірні показники хвилювання та відповідних глибин у розрахунковому штормі. А отже, наслідково, буде забезпечено визначення місцезнаходження головних квазілінійних розрахунково-модельних складників мікрогеотонної першообрушувальної межі – її усередненої та енергетично-еквівалентної межі, а далі і її кордонних меж.

4. Перепишемо формулу (7.19) у вигляді

$$H_{cr,c} = 2 \cdot h_{cr,c} / (K_{hcr,e}^* \cdot K_{K_{hcr},e}) . \quad (7.20)$$

Еквівалентне значення $K_{hcr,e}^*$ знайдемо, скориставшись отриманими у наших працях ([36, 40, 49] тощо) закономірностями стохастичної структури геопараметрів стану берегової зони. Це стосується, насамперед, подавання автокореляційної функції критичної глибини $H_{cr} - r_{Hcr}(\tau)$ – у спектральній формі, тобто у вигляді функції внормованої спектральної щільності $s_{Hcr}(\omega\tau)$. Після відповідних розрахунків (див.

[95]) максимум останньої функції відповідає "еквівалентній" імовірності перевищення $P_{ex,e,Hcr} = 0,039$ (або 3,9%). Згідно з (7.6), (7.3) і (7.8) функція розподілу K_{hcr}^* визначиться як

$$\begin{aligned} K_{hcr}^* &= K_{hcr} / K_{K_{hcr}} = \\ &= 1,38 \cdot \{ -\lg P_{ex}(K_{hcr}) \}^{0,25} / \{ \{ 1,18 \cdot \{ -\lg P_{ex}(K_{K_{hcr}}) \}^{0,125} \} \} \approx \\ &\approx 1,18 \cdot \{ -\lg P_{ex}(K_{hcr}^*) \}^{0,125} , \end{aligned} \quad (7.21)$$

тобто схеми розподілу K_{hcr}^* та $K_{K_{hcr}}$ є практично єдиними. Підставивши значення $P_{ex}(K_{hcr}^*) = P_{ex,e,Hcr}$ у (7.21), отримуємо значення $K_{hcr,e}^* = 1,23$.

За такими ж принципами було використано функцію спектральної щільності ширини надводної частини забережного укусу $s_b(\omega_l)$ (див. наші праці [36, 49] тощо). Цей укісний елемент є "кінцевим приймачем" дисипованої в першообрушувальній межі хвильової енергії, зважаючи на механізм т.зв. просторового трансформувального ефекту забережної відмілини (укусу), характеристики якого досліджено нами у [49]. З огляду на такі засновки було відповідно параметризовано і $K_{K_{hcr,e}}$ з (7.20). А саме, позаяк максимум спектра $s_b(\omega_l)$ відповідає "еквівалентній" імовірності перевищення $P_{ex,e,b} = 0,228$ (або 22,8%), то, застосувавши значення $P(K_{K_{hcr}}) = P_{ex,e,b}$ у (7.7), отримуємо $K_{K_{hcr,e}} = 1,12$.

Підставивши параметризовані вищезазначеним чином значення $K_{hcr,e}^*$ і $K_{K_{hcr,e}}$ в (7.20), можна записати, що

$$H_{cr,c} = 2 \cdot h_{cr,c} / (1,23 \cdot 1,12) = 1,45 \cdot h_{cr,c} , \quad (7.22)$$

або (див. рис.7.3)

$$h_{cr,c} = 0,69 H_{cr,c} , \quad K_{cr,e} = 0,69 . \quad (7.23)$$

5. Використавши отримані значення, визначаємо всю розрахункову схему розподілу висот хвиль у штормі

$$K_{cr,e}^* = K_{cr,e} / K_{K_{cr,e}} = K_{cr,e} / K_{K_{hcr,e}} = 0,69 / 1,12 = 0,62 , \quad (7.24)$$

$$K_{hcr,e} = K_{hcr,e}^* \cdot K_{K_{hcr,e}} = 1,23 \cdot 1,12 = 1,38 . \quad (7.25)$$

Зважаючи на єдині параметри розподілу та відповідні ймовірності перевищення,

$$K_{cr,e} = h_{cr,c} / H_{cr,c} = h_c^{**} / h_c^* = 1 / K_{h^*,e} = 0,5 \cdot K_{hcr,e} , \quad (7.26)$$

$$K_{h^*,e} = K_{Hcr,e} = 1,45 , \quad (7.27)$$

$$K_{hcr,e}' = K_{K_{hcr,e}} \cdot K_{h^*,e} = 1,12 \cdot 1,45 = 1,62 , \quad (7.28)$$

а розподіл K_{hcr}'

$$\begin{aligned} K_{hcr}' &= K_{K_{hcr}} \cdot K_{h^*} = \\ &= 1,38 \cdot 1,18 \cdot \{ -\lg P_{ex}(K_{K_{hcr}}) \}^{0,25} \cdot \{ -\lg P_{ex}(K_{h^*}) \}^{0,125} = \end{aligned}$$

$$= 1,62 \cdot \{-\lg P_{ex}(K_{hcr}')\}^{0,375}, \{z = 2,(6)\}, \quad (7.29)$$

$$H_{cr}(t)^* = 1,45 \cdot H_{cr,c} = h_{cr,c} . \quad (7.30)$$

Синтезуючи всі вищенаведені залежності, в підсумку отримуємо **генералізований (першорівневий) варіант схеми-моделі першообрушувальної укїсної межї**. Він відтворює співвідношення розрахункових висот хвиль і глибин у гїдрогенному модулі першообрушувальної межї, а отже і квазілінійне розрахунково-модельне місцезнаходження її *усередненої межї* за позицією $H_{cr}(t)^*$ та *енергетично-еквівалентної межї* за позицією $H_{cr,c}$ (див. рис.7.3), тобто

$$H_{cr}(t)^* = h_{cr,c} = 1,38 \cdot h_c^* = 1,62 \cdot h_{cr,c}^* = 2 \cdot h_c^{**}, \quad (7.31)$$

$$H_{cr,c} = 1,45 \cdot H_{cr}(t)^* = 1,45 \cdot h_{cr,c} = 2 \cdot h_c^* = 2,35 \cdot h_{cr,c}^* = 2,9 \cdot h_c^{**}, \quad (7.32)$$

$$K_{cr,e} = h_{cr,c} / H_{cr,c} = H_{cr}(t)^* / H_{cr,c} = 0,69 . \quad (7.33)$$

Зведені показники розподїлу та розрахункових значень схеми-моделї (7.31)-(7.33), зважаючи на формули (7.1)-(7.30) та рис.7.3, наведено у табл.7.2.

Таблиця 7.2 – Зведені показники розподїлу висот хвиль, їхніх систем і глибин і модульні коефіцієнти відповідних енергетично еквівалентних значень цих параметрів у першообрушувальній укїсній межї для розрахункового шторму

Вид розподїлу	z	Характеристика розподїлу	Імовїрність перевищення та значення "еквівалентних" K
$K_{hcr}' = h_{cr,c} / h_{cr}^* = 1,62 \cdot \{-\lg P_{ex}(K_{hcr}')\}^{0,375}$	2,(6)	Розподїл відношень набору h_{cr} до h_{cr} , середнього за весь шторм	$K_{hcr,e}' = K_{hcr,10\%}' = 1,62$
$K_{Hcr} = H_{cr,c} / H_{cr}(t)^* = K_{h^*} = h^* / h^{**} = 1,38 \cdot \{-\lg P_{ex}(K_{Hcr})\}^{0,25}$	4	Розподїл відношень H_{cr} до їхнього середнього в штормї та набору середніх у системах висот хвиль до їхнього середнього за шторм	$K_{Hcr,e} = K_{h^*,e} = K_{Hcr,5\%} = K_{h^*,5\%} = 1,45$
$K_{hcr} = h_{cr} / h^* = 1,38 \cdot \{-\lg P_{ex}(K_{hcr})\}^{0,25}$	4	Розподїл відношень h_{cr} до їхнього середнього в розрахунковї системї	$K_{hcr,e} = K_{hcr,10\%} = 1,38$
$K_{hcr}^* = h_{cr}^* / h^{**} = K_{hcr} / K_{hcr}^* = 1,18 \cdot \{-\lg P_{ex}(K_{hcr}^*)\}^{0,125}$	8	Розподїл відношень набору середніх h_{cr} до їхнього середнього за шторм	$K_{hcr,e}^* = K_{hcr,5\%}^* = 1,23$
$K_{K_{hcr}} = K_{hcr} / K_{hcr}^* = K_{Kcr} = K_{cr} / K_{cr}^* = 1,18 \cdot \{-\lg P_{ex}(K_{K_{hcr}})\}^{0,125}$	8	Розподїл відношень набору K_{hcr} до їхнього середнього в штормї та набору індексів обрушування до середнього індексу за шторм	$K_{K_{hcr},e} = K_{Kcr,e} = K_{K_{hcr},23\%} = K_{Kcr,23\%} = 1,12$

Важливими *проміжними висновками* з щойно наведених модельних результатів, є такі. По-перше, індекс першого обрушування розрахункової хвилі, який енергетично еквівалентний усьому спектру розподілу хвиль і їхніх систем у розрахунковому штормі та маркує положення енергетично-еквівалентної межі в складі мікрогеотонної першообрушувальної (див. рис.7.3), має ймовірність перевищення 23% у групі індексів першого обрушування за весь період розрахункового шторму.

По-друге, вже на цьому рівні схеми-моделі, використовуючи як вихідний другий розподіл табл.7.2 і заданий фактографічний або змодельований за п.7.3 тощо профіль берега, можна визначати розрахункове положення *кордонних меж* першообрушувальної межі. Це стосується зовнішньої $H_{cr,min,Pex}$ та внутрішньої (акваторійної) $H_{cr,max,Pex}$ меж, а отже і *ширини* першообрушувальної укїсної межі L_{br} . Безпосередньо ж при цьому використовується похідна для зазначеного розподілу моделей

$$H_{cr,max(min)} = 1,38 \cdot H_{cr}(t) \cdot \{ -\lg P_{ex}(H_{cr,max(min)}) \}^{0,25}, \quad (7.34)$$

де $P_{ex}(H_{cr,max(min)})$ – екстремальні ймовірності перевищення, які можуть бути відповідним чином задані, зважаючи на типологію першообрушувальної межі (див. попередній текст) і стадію (етап) формування забережного укусу (див. п.7.1 тощо).

Отримана генералізована схема-модель першообрушувальної укїсної межі (7.31)-(7.33) є узагальненим варіантом відображення властивостей речовинно-енергетичних потоків у цій мікрогеотонній межі. Така схема-модель базується, головним чином, на використанні перших моментів розподілу показників хвиле-енерго-дисипаційних потоків у гідрогенному модулі першообрушувальної межі. Тому, незважаючи на можливість самостійного застосування цієї схеми для моделювання особливостей трансформації зазначених потоків і позиції укїсної межі, що досліджується, вона детально не враховує специфіку певних важливих характеристик морфоседиментогенного модуля забережного укусу. Останніми є варіабельність критичної глибини H_{cr} , гранулометричний склад матеріалу, міра підготовленості поверхні до дисипації енергії та похил укусу, а також часові, різні за проявом коливання цього похилу, як у штормі, так і за більш тривалий період, тощо. Для зважання на такі характеристики було розроблено ще **два додаткові рівні (варіанти) схеми-моделі першообрушувальної межі**. При цьому використовувалися ймовірнісні закономірності, отримані нами у [49] і інших працях.

На **першому з додаткових модельних рівнів** було додано параметр наслідкової варіабельності хвиле-енергетичних потоків шторму, який відображає коливання ширини першообрушувальної межі L_{br} (див. рис.7.3). Це чисельно можна ідентифікувати за мінливістю глибин H_{cr} першообрушувальних хвиль. Вона, за певного поєднання з параметрами профілю забережного укусу, визначатиме коливання відстані між кордонними першообрушувальними межами. Тому було використано параметр $C_v(H_{cr}(l))$ – значення функції коефіцієнта варіації H_{cr} у штормі – і, зважаючи на вже отримані залежності (див. табл.7.2, структуру моделей у р.2 тощо), подано модель "еквівалентного" індексу обрушування у вигляді

$$\begin{aligned} K_{cr,e} &= h_{cr,c} / H_{cr,c} = h_{cr,c} / \{ \{ C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} + 1 \} \cdot h_{cr,c} \} = \\ &= 1 / \{ C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} + 1 \}, \end{aligned} \quad (7.35)$$

де $\Phi(H_{cr}(l))_{5\%}$ – унормований (другого порядку) квантиль розподілу H_{cr} у штормі, який має 5-відсоткову ймовірність перевищення згідно з табл.7.2.

Позаяк отримання чисельних значень параметра $C_v(H_{cr}(l))$ досить утруднено через вже розглянуту належність першообрушувальної межі з її елементами до аналого-розрахункового класифікаційного розряду, було здійснено спробу застосувати той, що більш просто визначається, параметр просторової мінливості підводної частини забережного укусу. Вона адекватна у даному випадку морфоседиментогенному модулю першообрушувальної межі, а вищезгаданим параметром є $C_v(m_2(t))$ – значення функції коефіцієнта варіації т.зв. коефіцієнта підводного укусу m_2 . Цей коефіцієнт, як котангенс відповідного кута, відображає відповідний похил укусу (див. п.7.3). Параметр $C_v(m_2(t))$ показує, з одного боку, яка поверхня морфогенного модуля першообрушувальної укисної межі, за мірою її мінливості за рахунок наявності вторинних форм субаквального рельєфу тощо, взаємодіє з фронтом хвиле-енергетичних потоків у цій межі. З іншого боку, $C_v(m_2(t))$ відображає ступінь взаємної трансформації зазначених потоків і поверхні. Зробивши заміну змінної у (7.35) за співвідношенням $C_v(H_{cr}(l)) = C_v(H_{cr}(l))_{\max} \cdot C_v(m_2(t)) / C_v(m_2(t))^*$, отримуємо узагальнену розрахункову залежність першого додаткового рівня схеми-моделі, подану стосовно "еквівалентного" індексу обрушування, а саме

$$K_{cr,e} = h_{cr,c} / H_{cr,c} = H_{cr}(t)^* / H_{cr,c} = 1 / \{ \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} \cdot C_v(H_{cr}(l))_{\max} \cdot C_v(m_2(t)) / C_v(m_2(t))^* + 1 \} , \quad (7.36)$$

де $C_v(H_{cr}(l))_{\max}$ – максимальне значення функції $C_v(H_{cr}(l))$ (за п.7.3 становить 0,28); $C_v(m_2(t))^*$ – середнє значення функції фактографічного або змодельованого $C_v(m_2(t))$ (за п.7.3 становить 0,26).

Останню модель можна відповідним чином трансформувати і для визначення на розрахунковому профілі позиції *кордонних першообрушувальних меж* $H_{cr,max,Pex}$ і $H_{cr,min,Pex}$. А саме, слід задати екстремальні внормовані квантилі $\Phi(H_{cr}(l))_{max(min),Pex}$ (див. текст щодо (7.34) та рис.7.3), тобто застосувати модель

$$H_{cr,max(min),Pex} = H_{cr}(t)^* \times \{ \Phi(H_{cr}(l))_{max(min),Pex} \cdot C_v(H_{cr}(l))_{\max} \cdot C_v(m_2(t)) / C_v(m_2(t))^* + 1 \} . \quad (7.37)$$

Перший додатковий рівень схеми-моделі за (7.36)-(7.37) є більш факторно-зумовленим, ніж її генералізований варіант. А проте, ще більш детальним є **другий додатковий рівень цієї моделі**. Він враховує всі основні параметри як гідрогенного, так і морфоседиментогенного модуля першообрушувальної межі. Цей рівень було досягнуто на основі використання розробленої нами геостохастичної моделі з її складником – гідроморфостохастичною моделлю – критичної глибини $H_{cr,c}$ як геоелемента стану забережного укусу та хвилеприбійного мезогеотону в цілому (див. п.7.3).

Виходячи з таких засновків, по-перше, модель індексу обрушування енергетично еквівалентної спектру розрахункової хвилі, який визначає положення насамперед квазілінійної *енергетично-еквівалентної першообрушувальної межі*, має вигляд

$$\begin{aligned}
 K_{cr,e} &= h_{cr,c} / H_{cr,c} = H_{cr}(t)^* / H_{cr,c} = \\
 &= h_{cr,c} \cdot \lambda_{dw}^* \cdot C_{v,hdw} \cdot \cos\theta_{cr}^\circ \cdot \{C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} + 1\}^{-1} / \\
 & / \{m_2(t)^* \cdot m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw})\}^{1/C_v(m_2(t))} \cdot d^{*(C_v,hdw+1)} \}, \quad (7.38)
 \end{aligned}$$

де λ_{dw}^* – середня довжина розрахункової глибоководної хвилі h_{dw} ; $\cos\theta_{cr}^\circ$ – косинус кута підходу розрахункової хвилі до ізобати її першого обрушування; m_e – коефіцієнт природного похилу матеріалу морфоседиментогенного модуля з середньовиваженим діаметром d^* у спокійній (без хвилювання) воді; $C_{v,hdw}$ – коефіцієнт варіації h_{dw} в системі ([49]); $C_v(m_2/h_{dw})$ – запропонована нами функція коефіцієнта гідроморфометричної мінливості (більш детально всі параметри розглянуто у п.7.3).

По-друге, модель визначення на розрахунковому профілі берега місцезнаходження *кордонних першообрушувальних меж* $H_{cr,max,Pex}$ і $H_{cr,min,Pex}$ матиме загальний вигляд

$$\begin{aligned}
 H_{cr,max(min),Pex} &= H_{cr}(t)^* \cdot \{ \{ C_v(H_{cr}(Reg,R,t)) \times \\
 & \times \{ \{ 4,89 \cdot \{ -lg P_{ex}(H_{cr,max(min)}) \}^{0,25} - 3,57 \} + 1 \} \} = \\
 & = H_{cr}(t)^* \cdot \{ C_v(H_{cr}(Reg,R,t)) \cdot \Phi(H_{cr,max(min)})_{Pex} + 1 \}, \quad (7.39)
 \end{aligned}$$

де $C_v(H_{cr}(Reg,R,t))$ – значення функції коефіцієнта варіації H_{cr} в режимі, системі (вздовж берега) або за спільного урахування цих аспектів; $\Phi(H_{cr,max(min)})_{Pex}$ – екстремальні внормовані квантили, які задаються за певними ймовірностями перевищення в залежності від типології першообрушувальної межі та стадії (етапу) формування забережного укусу, як і хвилеприбійного мезогеотону загалом (див. п.7.2).

Верифікацію принципів вищенаведених аналітичних рішень стосовно всіх рівнів схеми-моделі першообрушувальної укисної межі було проведено на досить значному за об'ємом інформаційному базисі, сформованому з різних літературних і фондових джерел. Ця верифікація здійснювалася на основі тематичного зіставлення отриманих за розрахунковими моделями параметрів з параметрами гідрогенного та морфоседиментогенного модулів другої порядку підзони руйнування хвиль, інструментально вимірними в натурі – на дніпровських водосховищах чи морських об'єктах-аналогах (див. [49]) – або на прототипних моделях. Результати такого зіставлення, наведені у [36], засвідчили цілком достатній збіг відповідних модельних і фактичних параметрів. Це підтверджує правомірність розробленої схеми-моделі та її прийнятність для методично-прикладного застосування в процесі модельної ідентифікації берегових геотонів з метою оптимізації ресурсокористування в береговій зоні великих рівнинних водосховищ.

7.3 Моделювання геоелементів стану та суходільних меж хвилеприбійного і прибережного мезогеотонів

У цьому підрозділі розглядається комплекс задач, який стосується вже моделювання геоелементів стану та суходільних меж хвилеприбійного і прибережного ме-

зогеотонів, зважаючи і на їхню позиційно-динамічну структуру та особливості трансформації та стійкості з урахуванням стадіальності розвитку берегової зони та її складників. Цьому і присвячено дослідження підрозділу, основні побудови та модельні здобутки яких викладаються далі.

Вирішення комплексу задач моделювання репрезентативних геоелементів стану та суходільних берегових каркасних меж хвилеприбійного і прибережного мезогеотонів спрямовано, насамперед, на розрахунково-прогнозне моделювання таких **геоелементів стану**, як **основні морфометричні характеристики (елементи) профілю берега** в зазначених мезогеотонах озерної області водосховища, а саме (рис.7.4-7.5):

1) *геоелементів стану забережного укосу*. Останній згідно з п.7.1 і [49] можна кваліфікувати як аква-теральний береговий ландшафтний ярус, що складається, як мінімум, з двох, за класом, забережних укосотвірних ландшафтних смуг – надводно-забережно-укісної та підводно-забережно-укісної. При цьому смуг може бути вирізнено і більше, наприклад, через наявність / відсутність макрофітів тощо. За таких умов визначальними є наступні характеристики:

– коефіцієнт підводного укосу m_2 як котангенс відповідного кута α_1 (див. рис.7.4) та глибина на зовнішньому краї укосу H_{cr} , адекватна критичній глибині першообрушувальних хвиль, про які вже йшла мова у п.7.2, а також ширина підводної частини укосу B із загальним вихідним співвідношенням $m_2 = dB/dH_{cr}$;

– коефіцієнт підводного укосу m_1 як котангенс відповідного кута α_2 (див. рис.7.4), висота a та ширина b надводної частини укосу із загальним вихідним співвідношенням $m_1 = db/da$.

Крім того оперують і параметром загальної ширини забережного укосу (B_L) та іншими допоміжними й супутніми показниками, розкритими далі за текстом, зокрема, шириною абразійної, B_{abr} , та акумулятивної, B_{acc} , частин укосу;

2) *геоелемента стану прибережного мезогеотону*. За нього править, передусім за умов плину абразійно-берегових процесів (див. табл.2.1), т.зв. лінійний відступ бровки берегового уступу або власне берега. Його, скорочено як параметр, називають *лінійним руйнуванням берега* S_b (див. рис.7.5). Певне змодельоване значення S_b визначатиме загальну ширину прибережного мезогеотону (див. п.7.1).

Щойно перелічені геоелементи стану, крім іншого, маркують положення і низки **берегових каркасних меж**, зважаючи на стадіальність формування складників мезополя еволюційного структуроутворення берегової зони (п.7.1) та просторово-часову варіабельність геоелементів. А саме, визначається позиція (див. рис.7.4-7.5):

1) за геоелементами H_{cr} , B і m_2 – модельно-розрахункової квазілінійної внутрішньої межі забережного укосу, і часто хвилеприбійного мезогеотону в цілому. Вона є квазілінійним компонентом мікрогеотонної першообрушувальної укісної межі (див. п.7.2) – її усередненої чи модельно-розрахункової (енергетично-еквівалентної) межі;

2) за геоелементами a , b і m_1 – модельно-розрахункової квазілінійної зовнішньої (суходільної) межі забережного укосу, яка одночасно може правити за таку ж внутрішню (акваторійну) межу прибережного мезогеотону;

3) за геоелементом S_b – модельно-розрахункової квазілінійної зовнішньої (суходільної) межі прибережного мезогеотону, зважаючи на особливості його структуроутворення.

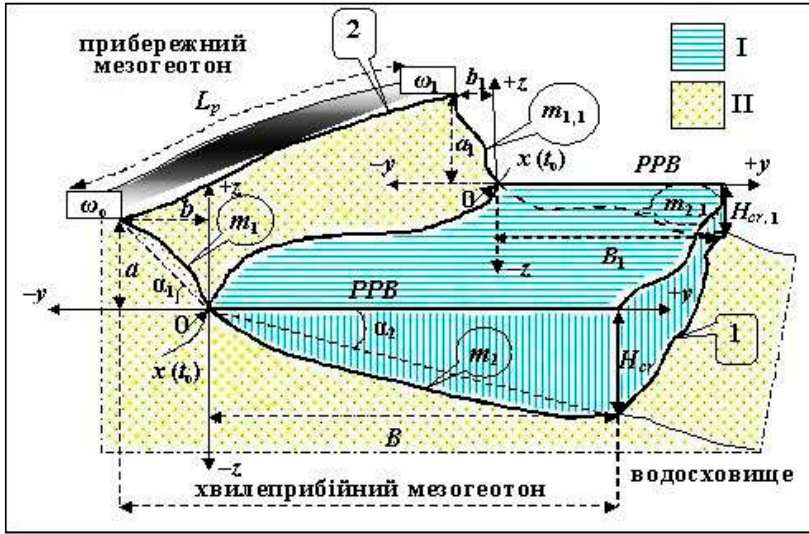


Рис.7.4 Геоелементи стану забережного укосу (I – гідрогенний модуль; II – морфоседиментогенний модуль; 1 – квазілінійна внутрішня межа укосу та хвилеприбійного мезогеотону; 2 – квазілінійна зовнішня межа укосу та внутрішня межа прибережного мезогеотону; L_p – вздовжберегова довжина ділянки між профілями берега ($\omega_0, \omega_1 \dots$ – елементарні результати дослід, див. р.1-2); інші позначення – за текстом)

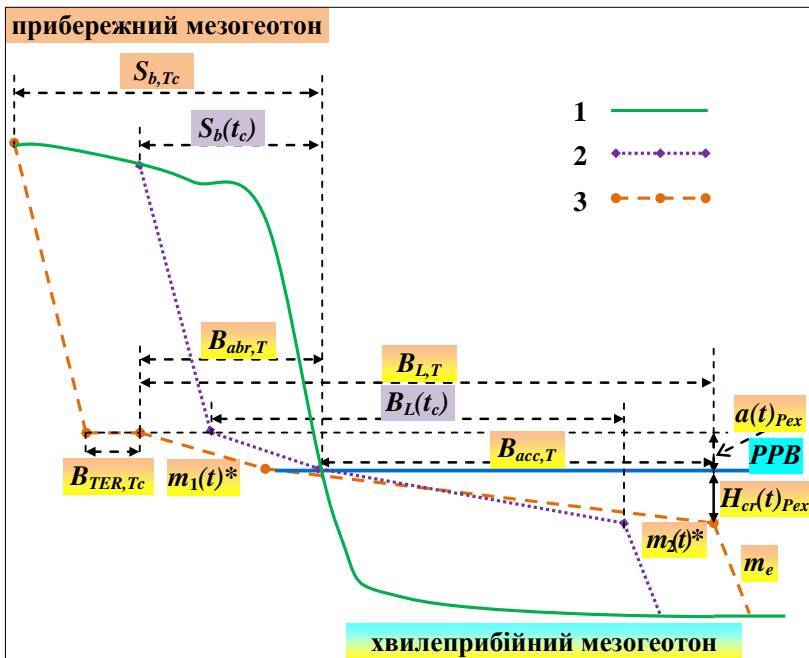


Рис.7.5 Геоелементи стану забережного укосу та власне берега на розрахунково-прогнозованому середньому профілі їхнього формування (на прикладі абразійного незсувного глибокого берега) (1 – початковий профіль; 2 – профіль на момент часу t_c ; 3 – профіль на стадії, близькій до стадії динамічної рівноваги; інші позначення – за текстом)

За таких умов для подальших побудов скористаємось розробленим нами загальним розрахунковим виглядом геостохастичних моделей геоелементів стану берегової зони (див. модель (2.52) для розподілу Гудріча у п.2.2). А саме, стосовно досліджуваних тут геоелементів застосовується **два підрівні геостохастичних моделей**:

1) *режимний підрівень*, тобто моделі розрахункових елементів, тобто геоелементів стану, середнього профілю гідродинамічно або морфостохастично однорідної вздовж берега ділянки забережного укосу (див. детальніше далі)

$$\begin{aligned} E L_{03,n}(t)_{Pex} &= E L_{03,n}(t)^* \times \\ &\times \{ \{ \{ C_v(E L_{03,n}(Reg)) \} \cdot \{ \{ y_{el} \cdot \{ - \lg P_{ex}(E L_{03,n}(t)) \}^{1/Z_{el}} - D_{el} \} \} + 1 \} \} \} = \\ &= E L_{03,n}(t)^* \cdot \{ C_v(E L_{03,n}(Reg)) \} \cdot \Phi(E L_{03,n}(t))_{Pex} + 1 \} , \end{aligned} \quad (7.40)$$

де $E L_{03,n}(t)_{Pex}$ – розрахункова величина елемента середнього профілю укосу розрахункової режимної ймовірності перевищення; $E L_{03,n}(t)^*$ – середнє детерміноване значення елемента, визначення ймовірності перевищення якого має свої особливості для деяких елементів; $C_v(E L_{03,n}(Reg))$ – значення функції коефіцієнта варіації елемента в режимі. Визначається як середнє з часових коефіцієнтів варіації на профілях певної ділянки ($\omega_0, \omega_1 \dots$) або приймається, виходячи з особливостей динаміки хвилеприбійного мезогеотону та граничних або середніх значень коефіцієнта варіації за розподілом певного елемента; $\Phi(E L_{03,n}(t))_{Pex}$ – розрахунковий унормований квантиль елемента, який визначається ймовірністю перевищення розрахункового шторму; y_{el}, Z_{el} і D_{el} – відповідні певному елементу коефіцієнти моделей;

2) *системний підрівень*, тобто моделі параметричних збурень досліджуваних геоелементів стану вже не тільки укосу, а й власне берега (берегового уступу) вздовж берегової лінії навколо розрахункових значень її середнього профілю

$$\begin{aligned} E L_{03,n}(R)_{Pex} &= E L_{03,n}(t)_{Pex} \times \\ &\times \{ \{ \{ C_v(E L_{03,n}(R,t)) \} \cdot \{ \{ y_{el} \cdot \{ - \lg P_{ex}(E L_{03,n}(R)) \}^{1/Z_{el}} - D_{el} \} \} + 1 \} \} \} = \\ &= E L_{03,n}(t)_{Pex} \cdot \{ C_v(E L_{03,n}(R,t)) \} \cdot \Phi(E L_{03,n}(R))_{Pex} + 1 \} , \end{aligned} \quad (7.41)$$

де $E L_{03,n}(R)_{Pex}$ – значення елемента профілю укосу чи власне берега вимогової ймовірності перевищення, зокрема ймовірності перевищення екстремальних стійких параметрів за [49] "в системі", тобто вздовж берегової лінії; $C_v(E L_{03,n}(R,t))$ – розрахункове значення функції коефіцієнта варіації певного елемента вздовж берегової лінії; $\Phi(E L_{03,n}(R))_{Pex}$ – "системний" розрахунковий унормований квантиль елемента.

Коефіцієнти геостохастичних моделей (7.40)-(7.41) було отримано нами у [36] під час дослідження відповідних геостохастичних функцій. Такі коефіцієнти, а також максимальні значення відповідних функцій коефіцієнтів варіації, наведено в табл.7.3.

У залежності від складу модельних завдань загалом можна використовувати різні комбінації геостохастичних моделей досліджуваних елементів профілю хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів.

Таблиця 7.3 – Коефіцієнти геостохастичних моделей (7.40)-(7.41) для досліджуваних геоелементів стану хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів і варіабельність цих геоелементів

Геоелемент стану	y_{el}	Z_{el}	D_{el}	$C_v(EJ_{oz,n}(Reg,R,t))_{max}$
a	5,63	5,00	4,37	0,23
b	3,68	2,50	2,34	0,43
m_1	2,68	1,(33)	1,32	0,77
H_{cr}	4,89	4,00	3,57	0,28
B	4,04	3,00	2,76	0,36
m_2	3,29	2,00	1,92	0,52
S_b	4,55	3,60	3,23	0,31

Для рівновагового стану зазначених мезогеотонів робочими є обидві моделі тобто (7.40) і (7.41). За таких умов виникає потреба визначення середніх детермінованих ($EJ_{oz,n}(t)^*$) і розрахункових значень ($EJ_{oz,n}(t)_{Pex}$) середнього профілю гідродинамічно однорідної ділянки забережного укосу, тобто розрахункового профілю його рівноваги (рис.7.6). Така **перша задача** має вирішуватися шляхом розробки т.зв. **гідроморфостохастичних моделей** забережного укосу.

Для періоду **односпрямованої тенденції** в динаміці укосу та власне берега робочою є модель (7.41). У неї $EJ_{oz,n}(t)_{Pex}$ вводиться як змінна величина часових прогнозувальних залежностей, досліджених, наприклад, у наших працях [36, 40, 49] і далі за текстом як **друга задача**. Така змінна має межею значення $EJ_{oz,n}(t)_{Pex}$ рівновагового стану.

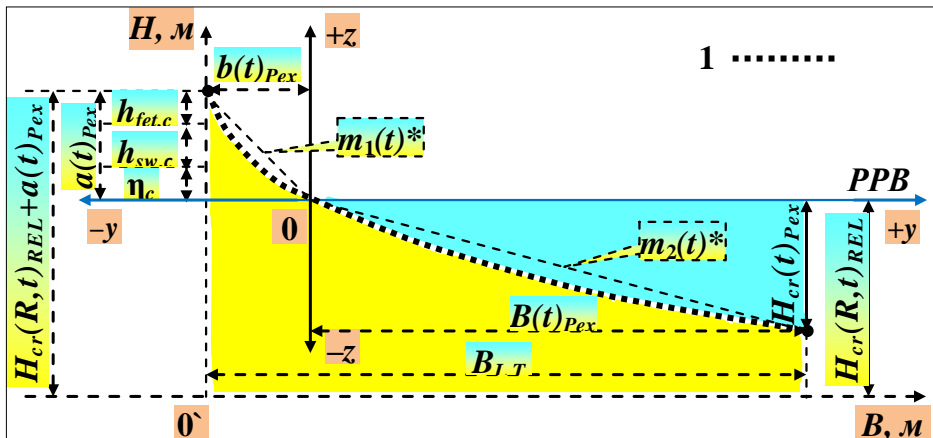


Рис.7.6 Схема визначення параметрів розрахункового профілю рівноваги забережного укосу (1 – профіль за моделлю (7.73); позначення – за текстом)

Таким чином, **вирішення першої задачі** – створення гідроморфостохастичних моделей забережного укосу – базувалося на таких **засновках**:

1) слід дотримуватися принципу суперпозиції, тобто врахування одночасної паритетної взаємодії та взаємовпливу показників гідрогенного модуля хвилеприбій-

ного мезогеотону та параметрів його морфоседиментогенного модуля. Останні відображають стан поверхні динамічної системи забережного укосу, її рельєф, шорсткість, мобільність переформування під час руху наносопотоків і здатність до саморегуляції як умови дисипації енергії хвильових рухів і течій у контактному середовищі щойно зазначених модулів. При цьому в процесі такої саморегуляції, особливо в штормових періодах, параметри динаміки та мінливості форми поверхні укосу, тобто його геоеlementи стану, мають не меншу "вагу", ніж показники гідрогенного модуля, зміна яких у хвилеприбійному мезогеотоні є єдиним процесом із адекватною зміною рухомої укісної поверхні;

2) кожна змінна чи коефіцієнт гідроморфостохастичних моделей, по-перше, мають відповідати основним показникам динаміки гідрогенного та морфоседиментогенного модулів, зокрема стохастичним. По-друге, ці параметри повинні мати визначений фізичний чи стохастичний зміст, а не значення "суто" емпіричних показників, що досі було в основному загальноприйнятим (див. [49] і ін.);

3) необхідним є врахування ймовірностей перевищення власне $EJ_{oz,n}(t)^*$ і $EJ_{oz,n}(t)_{Pex}$ та ймовірностей їхнього спільного сполучення на усередненому профілі забережного укосу.

З огляду на таке, структуру гідроморфостохастичних моделей було приведено до *єдиних розрахункових параметрів*, а саме:

- функції середнього коефіцієнта підводного укосу $m_2(t)^*$;
- розрахункового значення критичної глибини $H_{cr,c} \equiv H_{cr}(t)_{Pex}$ заданої та обумовленої P_{ex} (капітальності) – $H_{cr}(R,t)_{REL}$;
- розрахункового значення висоти надводної частини укосу $a(t)_{Pex}$;
- значень сукупності функцій різних коефіцієнтів варіації $C_v(EJ_{oz,n}(Reg,R,t))$ (див. рис.7.6).

Власне послідовна розробка гідроморфостохастичних моделей забережного укосу здійснювалася таким чином.

1. Обґрунтування **моделі середнього коефіцієнта підводного укосу** як геоеlementa стану хвилеприбійного мезогеотону, з огляду на те, що $m_2(t)^* \equiv m_2(t)_{Pex}$, проводилося на основі співвідношення, отриманого на основі принципів розмірності та домінантної факторної зумовленості, а саме

$$m_2(t)^* = f \{ (\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_{v,hdw} \cdot C_v(m_2(t))}; (h_{cr,c} \cdot \cos \theta_{cr} / d^*)^{C_v(m_2(t))}; C_v(m_2/h_{dw}); m_e \} , \quad (7.42)$$

де: а) $(\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_{v,hdw} \cdot C_v(m_2(t))}$ – комплексний параметр, що відображає періодичність надходження енергії хвиль з глибоководдя у хвилеприбійний мезогеотон. Він впливає також на довжину на поперечному до берегової лінії профілі шляху руйнування розрахункових глибоководних хвиль з середніми висотою h_{dw}^* та довжиною λ_{dw}^* . Це руйнування відбувається на укосі, що складено матеріалом з середньовиваженим діаметром d^* , з урахуванням, по-перше, мінливості висот глибоководних хвиль h_{dw} через їхній коефіцієнт варіації в системі $C_{v,hdw}$. По-друге, беруться до уваги коливання підводної поверхні укосу. Для цього застосовується параметр $C_v(m_2(t))$ – функція коефіцієнта варіації m_2 на гідродинамічно однорідній ділянці забережного укосу (див. далі). Значення обох щойно зазначених коефіцієнтів варіації визначають інтенсивність процесу дисипації хвиле-енергетичного потоку на укосі;

б) $(h_{cr,c} \cdot \cos\theta^{\circ}_{cr} / d^*)^{C_v(m_2(t))}$ – комплексна характеристика величини надходження енергії хвиль на вхід системи морфоседиментогенного модуля укусу, тобто акваторійну кордонну межу першообрушувальної межі (див. рис.7.3 у п.7.2). При цьому враховується кут підходу цих хвиль через $\cos\theta^{\circ}_{cr}$, стан і рухливість седиментаційного матеріалу через d^* і "підготовленість" його поверхні, тобто поверхні укусу, до дисипації хвильової енергії. Останнє задається через показник степеня $C_v(m_2(t))$ як параметр інтенсивності процесу дисипації. Його збільшення, тобто більш велика різноманітність, "горбкуватість" підводної поверхні укусу, зумовлює, по-перше, більш швидку втрату енергії з боку акваторійного обрушування хвиль. По-друге, більші значення $C_v(m_2(t))$ спричинюють загальне збільшення положистості профілю укусу за рахунок більш інтенсивного поперечного до берега та вздовжберегового руху наносів у різному вигляді, зосібна у вигляді вторинних за походженням берегових акумулятивно-мобільних форм тощо;

в) m_e – коефіцієнт природного похилу матеріалу морфоседиментогенного модуля в спокійній, тобто без хвилювання, воді. Він є традиційним параметром рухливості зазначеного матеріалу під час дії на нього хвиль, які обрушуються;

г) $C_v(m_2/h_{dw})$ – запроваджена функція коефіцієнта гідроморфометричної мінливості. Він характеризує взаємовідношення та варіант домінування мінливості підводної поверхні забережного укусу, тобто параметрів морфоседиментогенного модуля, та мінливості хвиль, які надходять до нього з глибокої води, а отже параметрів гідрогенного модуля. Подальші експериментальні дослідження (див. нашу працю [49]) дали змогу встановити, що $C_v(m_2/h_{dw})$ визначається в залежності від значень *гідроморфометричного критерію*

$$V_{m,h} = h_{cr,c} / \lambda_{dw}^{*C_v,hdw} \cdot C_v(m_2(t)) \quad (7.43)$$

За умови $V_{m,h} \geq C_v,hdw$ мінливості параметрів морфоседиментогенного та гідрогенного модулів мають рівну вагу і $C_v(m_2/h_{dw}) = C_v(m_2(t)) / C_v,hdw$. За умови ж $V_{m,h} < C_v,hdw$ домінує варіабельність параметрів поверхні укусу і $C_v(m_2/h_{dw}) = C_v(m_2(t))$. Гарною ілюстрацією щойно наведеного може бути також інша інтерпретація залежності (7.42), якщо розподілити її параметри згідно з їхнім "генезисом". Тоді у прямому зв'язку з $m_2(t)^*$ будуть параметри гідрогенного модуля, а у оберненому – параметри морфоседиментогенного модуля з урахуванням в обох групах імовірнісних показників протилежної групи та значень критерію $V_{m,h}$, тобто

$$\{m_2(t)^*; m_e; d^{*C_v(m_2(t)) \cdot (C_v,hdw + 1)}\} = f \{ \lambda_{dw}^{*C_v,hdw} \cdot C_v(m_2(t)); (h_{cr,c} \cdot \cos\theta^{\circ}_{cr})^{C_v(m_2(t))}; C_v,hdw \} \quad (7.44)$$

Згідно з проведеним вище аналізом і зазначеним принципом суперпозиції врешті-решт і було побудовано *гідроморфостохастичну розрахункову модель* детермінованого середнього значення похилу підводної частини забережного укусу як геоелемента стану $m_2(t)^*$ динамічно рівновагової ділянки цього укусу у вигляді

$$m_2(t)^* = \{ (\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_v,hdw} \cdot h_{cr,c} \cdot \cos\theta^{\circ}_{cr} / d^* \}^{C_v(m_2(t))} / \{ m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw}) \} \quad (7.45)$$

2. За вихідні для створення моделі глибини на зовнішньому краї забережного укосу (критичної глибини) $H_{cr}(t)_{Pex}$ динамічно рівновагового його профілю прави-ли складники та рівні розробленої нами схеми-моделі першообрушувальної укісної межі (див. п.7.2 і модель (7.45)).

Згідно з позиціями перших двох рівнів щойно зазначеної схеми-моделі (див. (7.30)-(7.37)) можна записати застосовні для практичних розрахунків генералізовані розрахункові співвідношення для $H_{cr}(t)_{Pex}$, а саме

$$H_{cr}(t)_{Pex} = 1,45 \cdot h_{cr,c} = 1,45 \cdot H_{cr}(t)^* , \quad (7.46)$$

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} + 1\} \cdot h_{cr,c} , \quad (7.47)$$

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{\Phi(H_{cr}(l))_{5\%} \cdot C_v(H_{cr}(l))_{max} \cdot C_v(m_2(t)) / C_v(m_2(t))^* + 1\} \cdot h_{cr,c} . \quad (7.48)$$

Для більш детальних оцінок особливостей формування $H_{cr}(t)_{Pex}$, з урахуванням основних чинників гідрогенного та морфоседиментогенного модуля укосу, підста-вимо в (7.48) значення $h_{cr,c}$, отримане з моделі $m_2(t)^*$ (7.45). За таких умов і зважаю-чи на превалююче використання $C_v(m_2(t))^*$ та можливість заміни змінної за виразом $C_v(H_{cr}(t))^* \cdot H_{cr}(t)^* / (C_{v,hdw} \times H_{cr}(t)_{Mo}) \approx C_v(m_2(t))^*$, отримаємо наступний розраху-нковий вигляд моделі

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{\Phi(H_{cr}(l))_{5\%} \cdot C_v(H_{cr}(l))_{max} \cdot C_v(m_2(t)) / C_v(m_2(t))^* + 1\} \times \\ \times \{m_2(t)^* \cdot m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw})\}^{C_{v,hdw} \cdot H_{cr}(t)_{Mo} / \{C_v(H_{cr}(t))^* \cdot H_{cr}(t)^*\}} / \\ / \{(\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_{v,hdw}} \cdot h_{cr,c} \cdot \cos\theta_{cr} / d^*\} , \quad (7.49)$$

де $H_{cr}(t)_{Mo}$ – найбільш імовірне значення $H_{cr}(t)_{Pex}$.

Модель $H_{cr}(t)_{Pex}$ має і декілька інших модифікацій. Так, згідно з (7.47) та у разі надійно визначеного фактичного значення $C_v(m_2(t))$ можна записати, що

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} + 1\} \times \\ \times \{m_2(t)^* \cdot m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw})\}^{1 / C_v(m_2(t))} / \{(\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_{v,hdw}} \cdot h_{cr,c} \cdot \cos\theta_{cr} / d^*\} . \quad (7.50)$$

А розкриваючи функціональний запис показника степені в (7.49), отримаємо, зважаючи і на (7.8) у п.7.2, що

$$C_{v,hdw} \cdot H_{cr}(t)_{Mo} / \{C_v(H_{cr}(t))^* \cdot H_{cr}(t)^*\} \approx h_c^{**} / \sigma(H_{cr}(t)) = \\ = h_c^* \cdot K_{cr,e} / \sigma(H_{cr}(t)) . \quad (7.51)$$

Останнє перетворення уявляється досить вдалим, позаяк розрахункові h_c^* і $K_{cr,e}$ можна визначити за настановами, які використовуються в практиці відповідних ро-зрахунків (див. [49] тощо).

При цьому розрахунковий індекс першообрушування можна обчислювати і за запропонованими нами підходами (див. п.7.2), а $\sigma(H_{cr}(t))$ як стандарт критичної

глибини – згідно з положеннями р.1-2, як на основі натурних даних, так і аналітично. У такому випадку модель $H_{cr}(t)_{Pex}$ запишеться як

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} + 1\} \cdot \{m_2(t)^* \cdot m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw})\}^{h_c^* \cdot K_{cr,e} / \sigma(H_{cr}(t))} / \{(\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_v,hdw} \cdot h_{cr,e} \cdot \cos\theta_{cr}^{\circ} / d^*\} . \quad (7.52)$$

З іншого боку, зважаючи на (7.50) і (7.51),

$$1 / C_v(m_2(t)) = h_c^* \cdot K_{cr,e} / \sigma(H_{cr}(t)) , \quad (7.53)$$

або

$$\sigma(H_{cr}(t)) / C_v(m_2(t)) = h_c^* \cdot K_{cr,e} = h_c^{**} . \quad (7.54)$$

Продовжуючи ланцюжок залежностей (7.54) за будь-яким рівнем схеми-моделі, наведеній у п.7.2, можна визначати середні розрахункові, зокрема багаторічні, показники висот хвиль і їхніх систем у першообрушувальній укисній межі, тобто параметри гідрогенного модуля хвилеприбійного мезогеотону, за надійно визначеними, зосібна багаторічними, показниками мінливості морфоседиментогенного модуля цього мезогеотону.

За похідну від щойно наведених моделей $m_2(t)^*$ і $H_{cr}(t)_{Pex}$ править *модель середньої ширини підводної частини укусу* ($B(t)^*$), яку можна записати у розрахунковому вигляді

$$B(t)^* = \{(\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_v,hdw} \cdot h_{cr,e}^{1/C_v(m_2(t))+1} \cdot \cos\theta_{cr}^{\circ} / d^*\}^{C_v(m_2(t))} / \{m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw})\} . \quad (7.55)$$

3. Усі модельні рішення, які наводяться у цьому підрозділі, зазвичай стосуються вже згаданої **однорідної (вздовж берега) ділянки забережного укусу**, як і такої ділянки хвилеприбійного мезогеотону в цілому. Критерії вирішення набору цих однорідних ділянок розроблено для **двох рівнів**:

1) *морфостохастичні критерії однорідності* ділянки забережного укусу як морфоседиментогенного модуля хвилеприбійного мезогеотону. Вони характеризують відповідність ділянки укусу динамічній одиниці берега ([49]) з квазіоднорідним режимом її деформації. Такі морфостохастичні критерії визначаються за верхніми ($\Phi(EJ_{03,n}(R))_{max,perm}$) і нижніми ($\Phi(EJ_{03,n}(R))_{min,perm}$) межами структурної однорідності (див. наші праці [39, 47]) екстремальних унормованих значень перетинів випадкових процесів певних геоеlementів стану укусу "в системі" – вздовж берегової лінії ($\Phi(EJ_{03,n}(R))_{max,e}$ і $\Phi(EJ_{03,n}(R))_{min,e}$), тобто за умовами

$$\Phi(EJ_{03,n}(R))_{max,e} \leq \Phi(EJ_{03,n}(R))_{max,perm} , \quad (7.56)$$

$$\Phi(EJ_{03,n}(R))_{min,e} \geq \Phi(EJ_{03,n}(R))_{min,perm} , \quad (7.57)$$

де допустимі межі значень відповідних квантилів визначаються за табл.7.4.

Таблиця 7.4 – Допустимі межі значень екстремальних квантилів геоелементів стану забережного укусу для визначення його морфостохастично однорідної вздовжберегової ділянки за (7.56)-(7.57)

Геоелемент стану	$\Phi (EЛ_{03,n}(R))_{max,perm}$	$\Phi (EЛ_{03,n}(R))_{min,perm}$
<i>a</i>	3,00	- 2,94
<i>b</i>	3,00	- 2,10
<i>m₁</i>	3,00	- 1,30
<i>H_{cr}</i>	3,00	- 2,50
<i>B</i>	3,00	- 2,35
<i>m₂</i>	3,00	- 1,81

2) *гідродинамічні критерії однорідності* ділянки хвилеприбійного мезогеотону, зокрема забережного укусу (див. [36, 49]). Така однорідна ділянка визначається відносно однаковими вздовж берега умовами хвильової дії на хвилеприбійний мезогеотон, поданими через розрахункову критичну висоту хвилі $h_{cr,c}$. Ділянка повинна вирізнятися в межах "вздовжберегових" коливань відповідної $h_{cr,c}$ розрахункової режимної глибини води $H_{cr}(t)_{Pex}$, тобто в межах

$$H_{cr}(t)_{Pex} \pm n_{\sigma} \cdot \sigma(H_{cr}(t)) = H_{cr}(t)_{Pex} \cdot (1 \pm n_{\sigma} \cdot C_v(m_2(t) / K_{hcr,e}) , \quad (7.58)$$

де $n_{\sigma}=1$ для I і II класів капітальності об'єктів берегової зони; $n_{\sigma}=2$ для III і IV класів такої капітальності (див. докладніше у [36, 49] і далі); $K_{hcr,e}$ – модульний коефіцієнт $h_{cr,c}$ (див. п.7.2).

4. Подальшим етапом досліджень була розробка способу визначення розрахункової ймовірності перевищення та відповідного до неї розрахункового значення $H_{cr}(t)_{Pex}$ за однорідною ділянкою за багатоліття (в режимі). За змістом мова йде про якісно відмінний від інших **розрахунковий просторово-часовий параметр $H_{cr}(R,t)_{REL}$** , який є адекватним $H_{cr}(R,t)_{Pex}$ (див. моделі (7.40)-(7.41)). Тобто за нього править параметр, що має розрахункову ймовірність перевищення, яка визначається одночасно і у режимі, і у системі (вздовж берега) з урахуванням також наступних умов.

Базуючись на застосованому принципі суперпозиції атрибутів гідрогенного та морфоседиментогенного (укісного) модулів хвилеприбійного мезогеотону та розглядаючи однорідну ділянку останнього вздовж берега, параметри $m_2(t)^*$ і $H_{cr}(t)_{Pex}$ було прийнято як середні для всієї такої ділянки (див. попередній текст). Утім, у цьому випадку, зміст модельної задачі буде зводитися не тільки до обґрунтування відповідної $H_{cr}(t)_{Pex}$, що визначена за глибоководною хвилею у розрахунковому штормі, ймовірність перевищення якого відповідає класу капітальності об'єктів берегової зони. Додатковою умовою буде і необхідність урахування ймовірностей спільного сполучення $m_2(t)^*$ і режимної $H_{cr}(t)_{Pex}$. А саме, мова йтиме про ймовірність існування режимної $H_{cr}(t)_{Pex}$ на гідродинамічно однорідній ділянці хвилеприбійного мезогеотону, морфоседиментогенний модуль якого, тобто забережний укіс, має середній похил підводної частини $m_2(t)^*$. Виходячи з прийнятої незалежності геоелементів стану H_{cr} і m_2 , спільної функції їхнього розподілу (див. р.2) та викори-

стовуючи геостохастичну модель (7.41), відповідну їй функцію розподілу та інші стохастичні закономірності (див. п.2.2), шукану просторово-режимну критичну глибину $H_{cr}(R,t)_{REL}$ можна подати як

$$H_{cr}(R,t)_{REL} = H_{cr}(t)_{Pex} \cdot \{C_v(H_{cr}(Reg,R,t)) \cdot \Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) + 1\} , \quad (7.59)$$

$$\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) = \{y_{Hcr} \cdot \{-lg P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL})\}^{1/Z_{Hcr}} - D_{Hcr}\} , \quad (7.60)$$

$$P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL}) = P_{ex,REL} / P_{ex}(m_2(t)^*) , \quad (7.61)$$

де y_{Hcr} , Z_{Hcr} , D_{Hcr} – коефіцієнти моделей за табл.7.3; $P_{ex,REL}$ – імовірність перевищення, яка відповідає класу капітальності об'єктів берегової зони: для I і II класу $P_{ex,REL}=0,02$, а для III і IV класу $P_{ex,REL}=0,04$; $P_{ex}(m_2(t)^*) = 0,46$ (за [36]); у випадку ускладнень з визначенням капітальності берегового об'єкта та для інших спеціальних завдань можна приймати $P_{ex,REL}$, що дорівнює ймовірності перевищення еквівалентного шторму $P_{ex,e}=0,039$.

Під такою $P_{ex,e}$ розуміється ймовірність перевищення розрахункового шторму, в якому $h_{cr,c}$ є енергетично еквівалентною спектру розподілу $h_{cr,c}$ за розрахунковий багаторічний період. Чисельне значення $P_{ex,e}$ було отримано за відповідною коливанням $h_{cr,c}$ характеристикою багаторічних коливань $H_{cr}(t)_{Pex}$ – функцією її часової унормованої спектральної щільності $s_{Hcr}(\omega_\tau)$. Максимум останньої за розрахунковий період у 100 років і відповідає ймовірності перевищення $P_{ex,e,Hcr} = P_{ex,e} = 0,039$ (або 3,9%).

Таким чином, у моделях (7.59)-(7.61), наприклад за середнього значення $C_v(H_{cr}(Reg,R,t))^*$: для $P_{ex,REL}=0,02$ $\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 1,71$, а $P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 0,0437$; для $P_{ex,REL}=0,04$ $\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 1,39$, а $P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 0,0873$; для $P_{ex,REL}=P_{ex,e}=0,039$ $\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 1,40$, а $P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 0,0852$.

5. Структура моделі середньої висоти надводної частини $a(t)^*$ середнього профілю рівноваги динамічно однорідної ділянки забережного укусу (розрахункового профілю рівноваги) розроблялась з урахуванням співвідношення (див. рис.7.6)

$$a(t)_{Pex} = f(\eta_c; h_{sw,c}; h_{fet,c}) , \quad (7.62)$$

де $a(t)_{Pex}$ – розрахункове значення геоелемента стану a ; η_c – величина зниження середнього рівня схвильованої поверхні на глибині першого обрушування $H_{cr}(t)_{Pex}$ розрахункової хвилі $h_{cr,c}$; $h_{sw,c}$ і $h_{fet,c}$ – відповідно, розрахункові значення хвильового нагону та накату.

Виходячи з факторної зумовленості, розглянемо кожен із складників залежності (7.62).

У [49] наведено досить ґрунтовний вивід формул для визначення η_c і максимального нагону $h_{sw,c}$ як розрахункових. Використавши компоненти першого рівня схеми-моделі (7.31)-(7.33) у п.7.2 та формулу розрахунку $h_{cr,c}$ за показниками хвилювання на глибоководді (за [49]), перетворимо складники параметра η_c , довівши їх через еквівалентні показники до параметрів $H_{cr}(t)_{Pex}$ і λ_{dv}^* , тобто

$$\begin{aligned}
 \eta_c &= -0,006 \cdot h_{dw}^{*2} \cdot \tau_{dw}^* \cdot (g / H_{cr}(t)_{Pex})^{0,5} = \\
 &= -0,006 \cdot h_{dw}^{*2} \cdot (2\pi)^{0,5} \cdot \lambda_{dw}^{*0,5} \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^{-1,5} = \\
 &= -0,015 \cdot h_{dw}^{*2} \cdot \lambda_{dw}^{*0,5} \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^{-1,5} = \\
 &= |h_{cr,c}=0,3 \cdot K_{Kher,e} \cdot h_{dw}^{*-2/3} \cdot \lambda_{dw}^{*-1/3} \text{ (за [49]);} \\
 &\quad H_{cr}(t)_{Pex}=h_{cr,c} / K_{cr,e} \text{ (за (7.15) у п.7.2)} | = \\
 &= -0,015 \cdot 4,63 \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^3 \cdot \lambda_{dw}^{*-1} \cdot \lambda_{dw}^{*0,5} \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^{-1,5} = \\
 &= -0,069 \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^{1,5} \cdot \lambda_{dw}^{*-0,5} .
 \end{aligned} \tag{7.63}$$

Зважимо на те, що $C_v(H_{cr}(t)) \cdot C_{v,hdw} \approx 0,069$, а ступінь мінливості критичної глибини вздовж однорідної ділянки хвилеприбійного мезогеотону дійсно знаходиться у прямому зв'язку з η – більшому $C_v(H_{cr}(t))$ відповідає більша дисипація енергії хвиль вже при першому їхньому обрушуванні, тобто на вході в систему зазначеного мезогеотону. За таких умов використаємо параметри мінливості $H_{cr}(t)$, її розрахункове значення $H_{cr}(R,t)_{REL}$ і, дотримуючись умов розмірності, отримаємо

$$\eta_c = C_{v,hdw} \cdot C_v(H_{cr}(t)) \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot (H_{cr}(R,t)_{REL} / \lambda_{dw}^*)^{C_{v,hdw}} . \tag{7.64}$$

Робимо аналогічну заміну у формулі нагону за [49] на розрахункові показники, які використано раніше, тобто

$$\begin{aligned}
 h_{sw,c} &= h_{cr,c} / \{K_{cr,e} \cdot (1 + 8/3 K_{cr,e}^2)\} = H_{cr}(R,t)_{REL} / (1 + 8/3 K_{cr,e}^2) = \\
 &= 0,15 \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} .
 \end{aligned} \tag{7.65}$$

Позаяк за моделлю (7.65) визначається максимальний нагін, цілком виправданим буде запровадження змінної $C_v(H_{cr}(t))$, тому що $C_v(H_{cr}(t))_{max}$ близький до значення 0,15, а отже, остаточно,

$$h_{sw,c} = C_v(H_{cr}(t)) \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} . \tag{7.66}$$

Використану у [49] формулу розрахунку максимального накату приведемо до наших розрахункових показників згідно з складниками розробленої у п.7.2 схеми-моделі (7.31)-(7.33), тобто

$$\begin{aligned}
 h_{fet,c} &= 0,155 \cdot \cos\theta_{cr} \cdot (h_{cr,1\%} \cdot \lambda_{dw,1\%})^{0,5} / \{0,014 \cdot (1 + m_2(t)^2)\}^{0,5} = \\
 &= | \text{за [49]} h_{cr,1\%} = 1,19 \cdot h_{cr,10\%}; \lambda_{dw,1\%} = 1,60 \cdot \lambda_{dw}^*; \\
 &\quad (1 + m_2(t)^2)\}^{0,5} \approx m_2(t)^* | = \\
 &= 0,215 \cdot \cos\theta_{cr} \cdot (h_{cr,c} \cdot \lambda_{dw}^*)^{0,5} / \{0,12 \cdot m_2(t)^*\} = \\
 &= 0,16 \cdot \cos\theta_{cr} \cdot H_{cr}(R,t)_{REL}^{0,5} \cdot \lambda_{dw}^{*0,5} / \{0,12 \cdot m_2(t)^*\} = \\
 &= C_v(H_{cr}(t)) \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot \lambda_{dw}^{*C_{v,hdw}} \cdot \cos\theta_c /
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & / \{m_2(t)^* \cdot H_{cr}(R,t)_{REL}^{C_v,hdw} \cdot C_v(a(t))\} = \\ & = C_v(H_{cr}(t)) \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot (\lambda_{dw}^* / H_{cr}(R,t)_{REL})^{C_v,hdw} \cdot \cos\theta_c / \\ & / \{m_2(t)^* \cdot C_v(a(t))\} . \end{aligned} \quad (7.67)$$

Приймаючи наближення про те (див. рис.7.6), що різниця рівня зниження водної поверхні на глибині першого обрушування та розрахункового рівня води *PPB* знаходиться в межах η_c , можна подати параметричний запис співвідношення (7.62) як суму його складників (7.64), (7.66) і (7.67). Тобто, після відповідних перетворень отримуємо, що

$$\begin{aligned} a(t)_{Pex} = & H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot C_v(H_{cr}(t)) \cdot \{(\lambda_{dw}^* / H_{cr}(R,t)_{REL})^{C_v,hdw} \cdot \cos\theta_c / \\ & / \{m_2(t)^* \cdot C_v(a(t))\} + C_{v,hdw} \cdot (H_{cr}(R,t)_{REL} / \lambda_{dw}^*)^{C_v,hdw} + 1\} . \end{aligned} \quad (7.68)$$

Для переходу до моделі $a(t)^*$ використаємо

$$a(t)_{Pex} = a(t)^* \cdot \{C_v(a(R,t)) \cdot \Phi(a(t)_{Pex}) + 1\} . \quad (7.69)$$

Щоб визначити $\Phi(a(t)_{Pex})$, потрібно задатися способом розрахунку ймовірності перевищення $a(t)_{Pex} - P_{ex}(a(t)_{Pex})$. За аналогією із субзадачею для $H_{cr}(t)_{Pex}$ і $m_2(t)^*$, оцінюємо ймовірність спільного сполучення $a(t)_{Pex}$ і коефіцієнта надводного укусу $m_1(t)^*$, тобто ймовірність існування надводної частини забережного укусу з коефіцієнтом $m_1(t)^*$ і висотою $a(t)_{Pex}$ для заданого рівня хвильових навантажень, який визначається прийнятим класом капітальності об'єкта. Тоді

$$P_{ex}(a(t)_{Pex}) = P_{ex,REL} / P_{ex}(m_1(t)^*) . \quad (7.70)$$

Використовуючи геостохастичну функцію $a(t)_{Pex}$ (див. п.2.2), отримуємо

$$\Phi(a(t)_{Pex}) = \{y_a \cdot \{-\lg P_{ex}(a(t)_{Pex})\}^{1/Z_a} - D_a\} , \quad (7.71)$$

де y_a, Z_a, D_a – коефіцієнти моделей за табл.7.3; $P_{ex}(m_1(t)^*) = 0,41$ (за [49]).

Звідси, у моделях (7.69)-(7.71), наприклад за середнього значення $C_v(a(R,t))^*$: для $P_{ex,REL}=0,02$ $\Phi(a(t)_{Pex})=1,57$; для $P_{ex,REL}=0,04$ $\Phi(a(t)_{Pex})=1,27$; для $P_{ex,REL}=P_{ex,e}=0,039$ $\Phi(a(t)_{Pex}) = 1,28$.

Згідно з (7.68), (7.69) і (7.71) модель середньої висоти надводної частини динамічно рівновагової ділянки укусу має вигляд

$$\begin{aligned} a(t)^* = & \{H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot C_v(H_{cr}(t)) / \{C_v(a(R,t)) \cdot \Phi(a(t)_{Pex}) + 1\}\} \times \\ & \times \{(\lambda_{dw}^* / H_{cr}(R,t)_{REL})^{C_v,hdw} \cdot \cos\theta_c / \\ & / \{m_2(t)^* \cdot C_v(a(t))\} + C_{v,hdw} \cdot (H_{cr}(R,t)_{REL} / \lambda_{dw}^*)^{C_v,hdw} + 1\} . \end{aligned} \quad (7.72)$$

6. Під час розробки гідроморфостохастичних моделей забережного укусу також було вирішено, з детальним розглядом у [49], субзадачу стохастичного прогнозу

(оптимальної екстраполяції) висотних відміток усередненого за ділянкою розрахункового профілю рівноваги укосу з похилами $m_2(t)^*$ і $m_1(t)^*$ з урахуванням:

- енергетичних показників хвилювання "на вході" системи хвилеприбійного мезогеотону, тобто тих, які відповідають $h_{cr,c}$, $H_{cr}(R,t)_{REL}$ і $H_{cr}(t)_{Pex}$;
- зумовленості форми шляху дисипації енергії $h_{cr,c}$ і довжини такого шляху до висотної відмітки $H_{cr}(R,t)_{REL} + a(t)_{Pex}$ за поверхнею укисної ділянки, площинні коливання якої, тобто реалізації випадкових процесів і полів обраних геоелементів хвилеприбійного мезогеотону, для стійкого стану укосу будуть володіти властивістю умовної ергодичності (див. п.2.2).

Модель ординат розрахункового профілю рівноваги забережного укосу ($H(\Delta B_{L,T})$), де $B_{L,T} = B(t)_{Pex} + b(t)_{Pex}$ запишеться як (див. рис.7.6)

$$H(\Delta B_{L,T}) = (H_{cr}(R,t)_{REL} + a(t)_{Pex}) \times \exp [\ln \{ (H_{cr}(R,t)_{REL} - H_{cr}(t)_{Pex}) / (H_{cr}(R,t)_{REL} + a(t)_{Pex}) \} \Delta B_{L,T} / B_{L,T}] . \quad (7.73)$$

Додатково використовуючи модель (7.73), можна також отримати гідроморфостохастичну модель середньої ширини надводної частини забережного укосу $b(t)^*$ за (7.74) та похідну від (7.72) і (7.74) модель коефіцієнта надводної частини укосу, деталізуючи вираз $m_1(t)^* = b(t)^* / a(t)^*$. А отже,

$$b(t)^* = \{ m_2(t)^* \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot \ln (a(t)_{Pex} / H_{cr}(R,t)_{REL} + 1) \} / \{ \{ \{ C_v(a(R,t)) \cdot \Phi(a(t)_{Pex}) + 1 \} \} \times \{ \{ C_v(H_{cr}(Reg,R,t)) \cdot \Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) + 1 \} \} \times \{ \ln (1 + 1 / \{ C_v(H_{cr}(Reg,R,t)) \cdot \Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) \}) \} \} . \quad (7.74)$$

7. Розрахунковими показниками профілю рівноваги забережного укосу, крім $m_2(t)^*$, $m_1(t)^*$, $H_{cr}(R,t)_{REL}$, і $H_{cr}(t)_{Pex}$, є також параметри $a(t)_{Pex}$, $b(t)_{Pex}$ та $B(t)_{Pex} = m_2(t)^* \cdot H_{cr}(t)_{Pex}$. Вони визначаються, відповідно до вищевикладеного, згідно з структурою загальної моделі (7.40) та зведеною табл.7.5. У цій таблиці додатково наведено і значення відповідного квантиля моделі (7.41) для лінійного руйнування берега S_b , а для всіх $EJ_{03,n}(t)_{Pex}$ використано їхні ймовірності перевищення в режимі, штормі та за простором (вздовж берегової лінії).

Таблиця 7.5 – Значення розрахункових квантилів і ймовірностей перевищення при заданих $P_{ex,REL}$ і $C_v(EJ_{03,n}(Reg,R,t))^*$

Квантилі та ймовірності перевищення	$P_{ex,REL}$		
	0,02	0,04	$P_{ex,e} = 0,039$
$\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL})$	1,71	1,39	1,40
$\Phi(a(t)_{Pex})$	1,57	1,27	1,26
$\Phi(b(t)_{Pex})$	0,64	0,68	0,69
$\Phi(S_b(t)_{Pex})$	2,05	1,77	1,78
$P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL})$	0,0437	0,0873	0,0852
$P_{ex}(b(t)_{Pex})$	0,205	0,248	0,246

Слід зважати на те, що координати точки, які задаються $a(t)_{Pex}$ і $b(t)_{Pex}$ на модельно-розрахунковому профілі берега, маркують позицію зовнішньої (суходільної) межі хвилеприбійного мезогеотону та внутрішньої (в бік акваторії) межі прибережного мезогеотону для стадії динамічної рівноваги цих мезогеотонів (див. попередній текст). Можливим є і врахування "вздовжберегових" флуктуацій зазначеної позиції за моделлю (7.41).

Зміст **вирішення другої задачі** полягає у застосуванні моделі (7.41) як *розрахунково-прогнозувальної* для односпрямованої тенденції у формуванні забережного укосу та власне берега. При цьому в моделі (7.41) $E\mathcal{L}_{03,n}(t)_{Pex}$ використовуються як змінні щодо таких геоелементів стану, як:

1) *лінійне руйнування берега* на заданий момент часу $t_c - S_b(t_c)$. Воно має межею за розрахунковий період T_c середнє рівновагове значення $S_{b,Tc}$ з урахуванням формування тераси як берегової ландшафтної смуги шириною $B_{TER,Tc}$ (див. рис.7.5 і фото 7.3);

2) *загальна ширина забережного укосу* на момент $t_c - B_L(t_c)$. Вона має межею рівновагове значення відповідного середнього профілю $B_{L,T}$ (див. попередній текст).

Алгоритм вирішення другої задачі обґрунтовано та детально розглянуто в [36, 49] і необхідні уявлення щодо нього дає рис.7.5. Власне ж **комплекс прогнозувальних моделей** $S_b(t_c)$ і $B_L(t_c)$ має вигляд:

1) для зв'язних порід у зоні розмиву

$$S_b(t_c) = b_S \cdot t_c^{\xi_S} , \quad (7.75)$$

$$B_L(t_c) = b_B \cdot t_c^{\xi_B} , \quad (7.76)$$

$$b_S = b(t)_{Pex,PPB} , \quad (7.77)$$

$$\xi_S = (C_v(S_b(t) / C_{v,hdw} + C_v(b(t))) , \quad (7.78)$$

$$b_B = b_S \cdot K_{Hcz} , \quad (7.79)$$

$$K_{Hcz} = H_{coast} / H_{B(t)Pex} , \quad (7.80)$$

$$\xi_B = 1 - (C_v(B(t) / C_{v,hdw} + C_v(a(t))) , \quad (7.81)$$

де, крім вже наведених, K_{Hcz} – коефіцієнт перепаду висот у прибережному та хвилеприбійному мезогеотонах; H_{coast} і $H_{B(t)Pex}$ – відповідно, висота власне берега та глибина від розрахункового рівня води *PPB* (за [49]) на відстані $B(t)_{Pex}$ від точки перетину *PPB* з вихідним профілем берега;

2) для незв'язних порід у зоні розмиву

$$S_b(t_c) = b_S \cdot \{1 + \lg(t_c^{1/\xi_S})\} , \quad (7.82)$$

$$B_L(t_c) = b_B \cdot \{1 + \lg(t_c^{1/\xi_B})\} . \quad (7.83)$$



Фото 7.3 Формування терасової берегової ландшафтної смуги прибережного мезогеотону (на прикладі Київського водосховища)

Треба завважити, що, по-перше, розрахункові параметри b_s , b_B , ζ_s і ζ_B моделей (7.75)-(7.76) та (4.82)-(4.83) коригуються в процесі формування відповідних баз даних у процесі експлуатації водосховищ. По-друге, координати точок, які задаються $S_b(t_c)$ на профілі берега, визначають просторово-часове "еволюційне просування" у бік суходолу квазілінійної зовнішньої (суходільної) межі прибережного мезогеотону. Відповідні координати $B_L(t_c)$ маркують таке ж "просування" зовнішньої межі хвилеприбійного мезогеотону, знову-таки з урахуванням коливань обох щойно зазначених позицій вздовж берега за моделлю (7.41).

Верифікація усіх наведених вище як гідроморфостохастичних, так і "суто" прогнозувальних моделей на репрезентативних натурних і лабораторних даних довела правомірність їхньої структури та засвідчила добру збіжність з цими даними та переваги над аналогічними моделями, які найбільше використовуються (див. наші праці [36, 49] тощо).

Контрольні запитання й завдання до розділу 7:

1. На чому базується геотонне структурування берегової зони?
2. Що таке береговий макрогеотон?
3. Прокоментуйте загальні риси своєрідності макрогеотону "берегова зона".
4. У чому полягають особливості модельної ідентифікації геосистем берегового макрогеотону?

5. Чим відрізняється тип берегових каркасних меж від їхнього підтипу?
6. Якими є критерії вирізнення розряду берегових каркасних меж? Пояснить на прикладах.
7. Які мезогеотони вирізняються в береговому макрогеотоні?
8. Як визначається внутрішня (акваторійна) межа хвилеприбійної підзони?
9. Що таке мілководний мезогеотон? Прокоментуйте його характерні риси.
10. Навіщо вирізняють три мезополя загального структуроутворення берегового макрогеотону?
11. Чи є чітко вираженою зовнішня межа узбережної підзони як мезогеотону?
12. Що маркує бровка берегового уступу?
13. З чим можна ототожнити акваторійну межу хвилеприбійного мезогеотону?
14. Виконайте типізацію першообрушувальної укїсної межі як берегової каркасної.
15. Прокоментуйте структуру схеми-моделі першообрушувальної укїсної межі відмілого берега.
16. Якими є особливості генералізованого (першорівневого) варіанта схеми-моделі першообрушувальної укїсної межі?
17. Чим вирізняються два додаткові рівні (варіанти) схеми-моделі першообрушувальної межі?
18. Що править за елементи стану хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів?
19. Яким є зміст лінійного руйнування берега як параметра?
20. Прокоментуйте схему геоелементів стану забережного укусу.
21. Як виглядає розрахунково-прогнозний середній профіль формування геоелементів стану забережного укусу та власне берега?
22. Скільки Ви знаєте підрівнів геостохастичних моделей геоелементів стану берегової зони?
23. Що таке гідроморфостохастичні моделі забережного укусу?
24. Пояснить структуру моделі середнього коефіцієнта підводного укусу.
25. Що таке гідроморфометричний критерій?
26. Дайте визначення морфостохастичним критеріям однорідності ділянки забережного укусу.
27. Прокоментуйте структуру моделі гідродинамічних критеріїв однорідності ділянки хвилеприбійного мезогеотону.
28. У чому полягає субзадача стохастичного прогнозу (оптимальної екстраполяції) висотних відміток усередненого за ділянкою розрахункового профілю рівноваги укусу?
29. Що входить до комплексу прогнозувальних моделей формування забережного укусу та власне берега?
30. Пояснить зміст формування тераси як берегової ландшафтної смуги.

8 ОПТИМІЗАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНІ МОДЕЛЬНІ РІШЕННЯ

У цьому розділі наводяться характерні приклади реалізації викладених раніше оптимізаційно-діагностичних підходів природничо-географічного моделювання, а саме приклади:

– оптимізації вимірювання розрахункових показників ландшафтного різноманіття як реалізації методики оцінювання достовірності та відновлення геоecологічної інформації та оптимізації геоecологічного моніторингу (методики СОД ГЕІ, див. п.3.2.2) з урахуванням засновків природничо-географічного моделювання (див. р.1-2) і модельних рішень стосовно екомережі (див. р.6);

– методики логіко-математичної модельної діагностики першопричин погіршення стану природничих геосистем (див. п.3.2.3).

8.1 Оптимізація вимірювання показників ландшафтного різноманіття

Для демонстрації можливості ефективного застосування модельно-оптимізаційних технологій, обґрунтованих у цьому підручнику, зокрема методики СОД ГЕІ і загальних підходів до моделювання екомереж, у цьому підрозділі наводиться вирішення супутнього до зазначеного моделювання завдання. Воно стосується *оптимізації просторового вимірювання загального поля розрахункових показників ландшафтного різноманіття*.

Таке завдання було конкретизовано шляхом зведення до *задачі вибору оптимального розміру "стілників"* – ковзних неперетнутих шестикутних вікон регулярної сітки, – для центрів яких вимірюються засобами ГІС-інструментарію значення щойно згаданого поля заданих показників різноманіття (див. р.6). Цю конкретну задачу було в цілому вирішено **на прикладі тестового басейну Росі** регіонального рівня, з одночасною розробкою відповідної методики, зважаючи на такі *вихідні положення*:

– вирішення задачі вибору оптимального розміру "стілників" базувалось, як вже зазначалося, на нашій методиці модельної оптимізації СОД ГЕІ, викладеної в п.3.2.2 і наших працях [36, 40], з певною трансформацією й розвитком складників цієї методики;

– власне поставлену задачу в модельному вигляді може бути сформульовано як задачу обґрунтування збалансованого вибору розміру "стілників" як такої відстані між їхніми центрами, яка відповідатиме **двом критеріальним умовам**, а саме:

1) умові **максимально можливої некорельованості** розрахункових показників ландшафтного різноманіття в усіх сусідніх "стілниках". Це забезпечує збільшення обсягів корисної незалежної інформації кожного "стілника" й досягається певним доцільним збільшенням відстані між їхніми центрами;

2) умові **мінімально можливої помилки** визначення показників ландшафтного різноманіття для кожного "стілника". Її зумовлено обмеженнями на число реалізацій (вимірів) загального випадкового поля показників різноманіття генетико-морфологічної ЛТС тестової регіону або їхньої поверхні за геоінформаційною термінологією (див. р.6 і [46, 48]). За число ж зазначених вимірів фактично править та, чи інша кількість центрів "стілників" певного розміру, на які поділяється цей регі-

он. Умова мінімальної помилки в цілому виконується за рахунок певного доцільно-го зменшення відстані між центрами "стілників" тобто, відповідно, їхнього розміру, що й призводить до збільшення згаданого вище числа реалізацій;

– як репрезентативну спільну вихідну характеристику і хоричного, і типового ландшафтного різноманіття доцільно застосувати вже використаний нами у р.6 **добуток ($N \cdot m$)** – загального числа геосистем ГМЛТС на число їхніх типів у кожному "стілнику". Саме такі значення ($N \cdot m$) зазвичай і розглядалися скрізь далі як значення реалізацій загального поля цього показника в тестовому регіоні (басейні).

Дотримуючись щойно наведених положень, було проведено необхідні **аналітичні побудови та спрямовані на підбір параметрів розрахунку й оцінювання** на прикладі басейну Росі як регіонального тестового об'єкта моделювання. Усе це ґрунтувалось на таких міркуваннях.

По-перше, основні моделі оптимізації геоecологічного моніторингу ((3.6)-(3.8)) використовують інформацію про стохастичну структуру досліджуваного випадкового поля у вигляді певної **просторової кореляційної функції** поля. Вона відображає міру парного кореляційного зв'язку між реалізаціями поля, тобто між значеннями добутку ($N \cdot m$), для певної **відстані між центрами** суміжних або несуміжних "стілників", позначеної як l .

Підбір і визначення параметрів цієї функції, в даному випадку у відповідному для регіону символічному запису $r_{Nm}(l)_{reg}$, згідно з принципами зазначеної базової методики оптимізації за п.3.2.2, а також положеннями п.2.2 і наших праць [39, 47] здійснювався таким чином.

1. Було отримано регіональні **вихідні емпіричні значення просторової кореляційної функції** $r_{Nm}(l_e^*)_{in}$ для певних усереднених відстаней між центрами 3-кілометрових "стілників" l_e^* у регіоні. Це було здійснено шляхом формування за допомогою ГІС-інструментарію відповідних вибірок пар значень ($N \cdot m$) через операцію аналізу безпосереднього й розширеного оточення (див. [46, 48]).

Значний обсяг таких регіональних вибірок дозволяє вважати отримані значення $r_{Nm}(l_e^*)_{in}$ достатньо стійкими, позаяк, наприклад, для відстані $l_e^* = 5,2$ км ці значення розраховувалися для 3470 пар, для $l_e^* = 9,7$ км – для 6530 пар, для $l_e^* = 14,4$ км – для 9210 пар, $l_e^* = 19,1$ км – для 11530 пар і для $l_e^* = 23,8$ км – для 13488 пар. Подальше збільшення відстані вважалось недоцільним з огляду на величини $r_{Nm}(l_e^*)_{in}$.

Це дозволило, по-перше, провести добру за достовірністю згідно з [39, 47] апроксимацію з $R^2 = 0,986$ стійких емпіричних значень $r_{Nm}(l_e^*)_{in}$ експоненційним трендом (рис.8.1). По-друге, було визначено **загальний тип шуканої просторової кореляційної функції** ($r_{Nm}(l)_{reg}$), який, як виявилось, відповідає запису

$$r_{Nm}(l)_{reg} = \exp [-\alpha |l|] \quad \forall \alpha > 0, \quad (8.1)$$

де α – регіональний параметр функції.

2. Оскільки, як показано у наших працях [39, 47], вихідні емпіричні значення $r_{Nm}(l_e^*)_{in}$ містять систематичну похибку, вони є заниженими й потребують коригування за формулою

$$r_{Nm}(l_e^*)_{cor} = r_{Nm}(l_e^*)_{in} / r_{Nm}(0)_{in}, \quad (8.2)$$

де $r_{Nm}(l_e^*)_{cor}$ – відкориговані емпіричні значення функції $r_{Nm}(l_e^*)_{in}$; $r_{Nm}(0)_{in}$ – значення останньої при $l_e^* = 0$, що визначається перетином відповідного тренду з віссю у (див. рис.8.1).

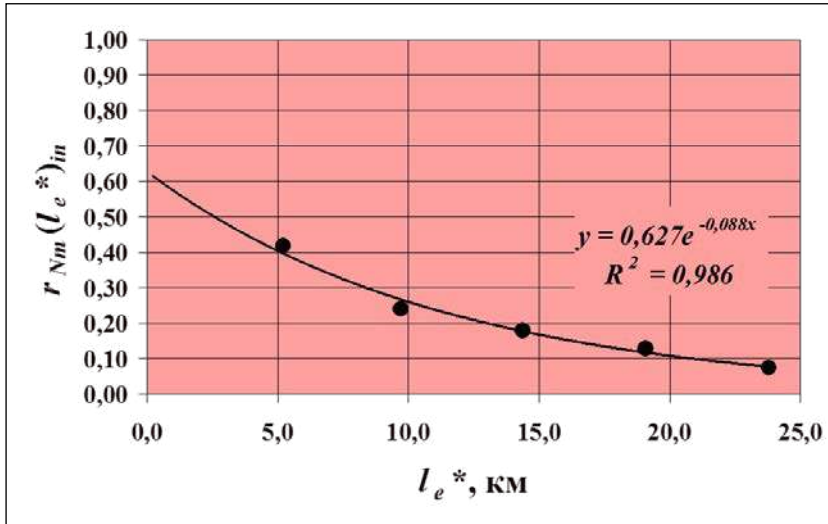


Рис.8.1 Запроксимовані експоненційним трендом регіональні вихідні емпіричні значення просторової кореляційної функції ($r_{Nm}(l_e^*)_{in}$) для різних усереднених відстаней між центрами "стільників" (l_e^*) у тестовому басейні Росі (R^2 – квадрат індексу достовірності апроксимації експоненційним трендом)

3. Використання вже відкоригованих $r_{Nm}(l_e^*)_{cor}$ дозволило апроксимувати їх знову-таки експоненційним трендом з добрими за задовільністю результатами з $R^2 = 0,992$ й отримати **розрахунковий параметр** регіональної просторової кореляційної функції $\alpha = -0,088$, а отже й у цілому аналітичний вигляд цієї функції за записом (рис.8.2)

$$r_{Nm}(l)_{reg} = \exp[-0,088 |l|] . \quad (8.3)$$

По-друге, однією з основних **розрахунково-оптимізаційних моделей методики геоecологічного моніторингу**, яку було покладено в основу досліджень цього підрозділу, є модель (3.11) п.3.2.2. Вона відповідає типу функції (8.3) (див. (3.9)) та може бути подана у певній модифікації за записом

$$n = n_t \cdot n_\omega = \{2(\alpha l n_\omega + \exp[-\alpha l n_\omega]) - 1\} / (\alpha^2 l n_\omega \sigma_{rel}^2) , \quad (8.4)$$

де n – загальна кількість вимірів випадкового поля; n_t – кількість перетинів поля; n_ω – кількість реалізацій поля; l – відстань між реалізаціями; σ_{rel} – відносна помилка обмеженості вимірів поля, квадрат якої за змістом відповідає формулі

$$\sigma_{rel}^2 = \sigma_{abs}^2 / \sigma_x(l)^2 , \quad (8.5)$$

де σ_{abs} – відповідна абсолютна помилка обмеженості вимірів; $\sigma_x(l)$ – функція стандарту випадкового поля певного геопараметра X , у нашому випадку показника $(N \cdot m)$.

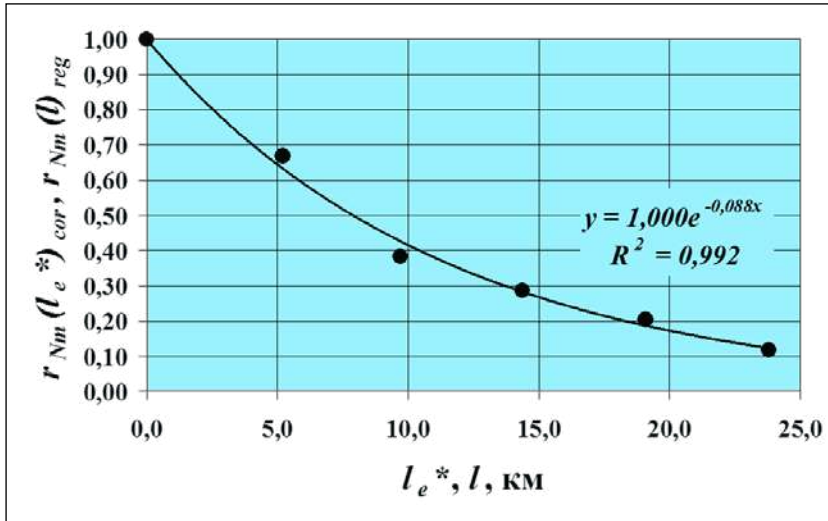


Рис.8.2 Відкориговані вихідні емпіричні значення $(r_{Nm}(l_e^*)_{cor}$, формула (8.2)) та підбір аналітичного вигляду регіональної просторової кореляційної функції $r_{Nm}(l)_{reg}$ (формула (8.3)) в тестовому басейні Росі (R^2 – квадрат індексу достовірності апроксимації експоненційним трендом)

При цьому слід зважити на те, що для умов конкретної задачі, що вирішується, ми маємо справу з **одним перетином** поля параметра $(N \cdot m)$, а отже $n_t = 1$. Звідси, модель (8.4) в контексті нашої задачі можна подати як **модель оцінювання точності вимірів випадкового поля за обмежень на їхнє число**, а саме:

1) у загальному вигляді за формулою

$$\sigma_{rel}^2 = \{2 (\alpha l n_\omega + \exp [-\alpha l n_\omega]) - 1\} / (\alpha^2 l n_\omega^2) , \quad (8.6)$$

2) як **власне регіональну модель** оцінювання точності обмежених вимірів випадкового поля показника ландшафтного різноманіття з відповідними змістовими перетвореннями складників у вигляді

$$\sigma_{rel}^2 = \{2 (\alpha l N_c + \exp [-\alpha l N_c]) - 1\} / (\alpha^2 l N_c^2) , \quad (8.7)$$

де, остаточно, σ_{rel} – відносна помилка обмеженості вимірів поля заданого показника ландшафтного різноманіття; α – регіональний параметр просторової кореляційної функції цього ж показника (для обраного нами репрезентативного показника $(N \cdot m)$ $\alpha = 0,088$ згідно з (8.3)); l – відстань (км) між центрами "стілників" певного розміру, на які поділяється обраний регіон і для центрів яких і визначаються значення заданого показника; N_c – загальна кількість розрахункових "стілників" певного розміру із зовнішнім радіусом r_c у тестовому регіоні.

Слід одразу відзначити наявність функціонального (формула (8.8)) і близького до нього (формула (8.9)) зв'язку між певними складниками моделі (8.7), а саме

$$l = 3^{0,5} r_c , \quad (8.8)$$

$$N_c = f(l) . \quad (8.9)$$

Графічний вигляд останнього зв'язку проілюстровано на рис.8.3 й при цьому слід зважати на те, що:

1) похибки зв'язку $N_c = f(l)$ загалом спричинено складністю конфігурації меж регіону й наявністю "неповних крайових стільників", особливо великого розміру, через що було прийнято таку умову віднесення "стільників" до числа розрахункових N_c (приклад на рис.8.4), як

$$N_c = N_{c,\Sigma} - N_{c,<50\%} , \quad (8.10)$$

де $N_{c,\Sigma}$ – загальна кількість "стільників", які будь-якою мірою "охоплюють" гео-системи ГМЛТС регіону; $N_{c,<50\%}$ – кількість "стільників", у межах яких загальна площа цих геосистем становить менш ніж 50% площі "стільника";

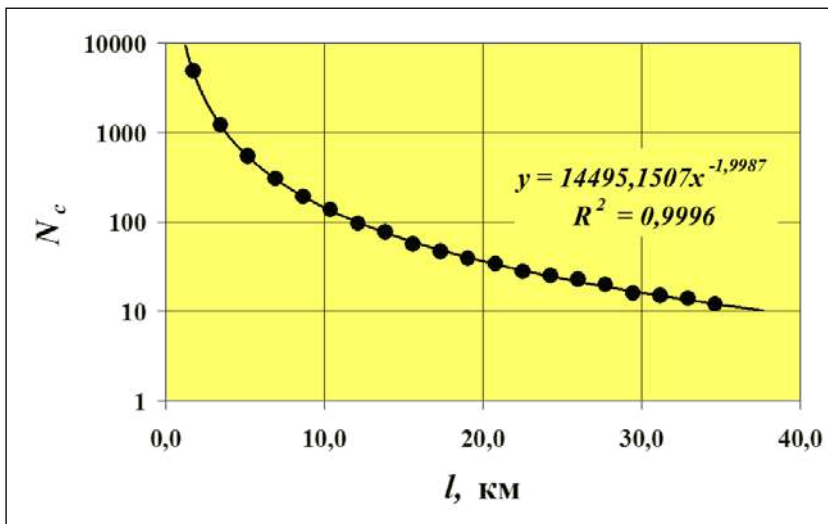


Рис.8.3 Зв'язок між числом "реальних" розрахункових "стільників" (N_c) і відстанню між їхніми центрами (l) $N_c = f(l)$ (формули (8.9) і (8.10)) у тестовому басейні Росі (R^2 – квадрат індексу достовірності апроксимації степеневим трендом)

2) через щойно викладене, користуватись залежністю (8.9) з її аналітичним виглядом на рис.8.3 доцільно лише для орієнтовних оцінювань. Натомість завжди краще визначати безпосередньо за допомогою ГС-інструментарію й оперувати визначеною кількістю "реальних" розрахункових "стільників" певного радіуса, яка відповідає умові (8.10). Саме це й було зроблено в усіх відповідних прикладах цього підручника.

З огляду на все вищевикладене, було проведено розрахунки помилки σ_{rel}^2 за регіональною моделлю (8.7) для набору заданих, обчислених за допомогою відповідного ГІС-інструментарію (див. [46, 48]), фактичних відстаней між центрами "стілників" певного розміру (l). Результати таких розрахунків наведені на рис.8.5 і вельми добре запроксимовані запровадженим для спрощення розрахунків "регіональним" степеневим трендом $\sigma_{rel}^2 = f(l)$. Такі результати свідчать про цілковиту прийнятність для практичного застосування моделі (8.7), зокрема й у вигляді розрахункового рівняння тренду рис.8.5.

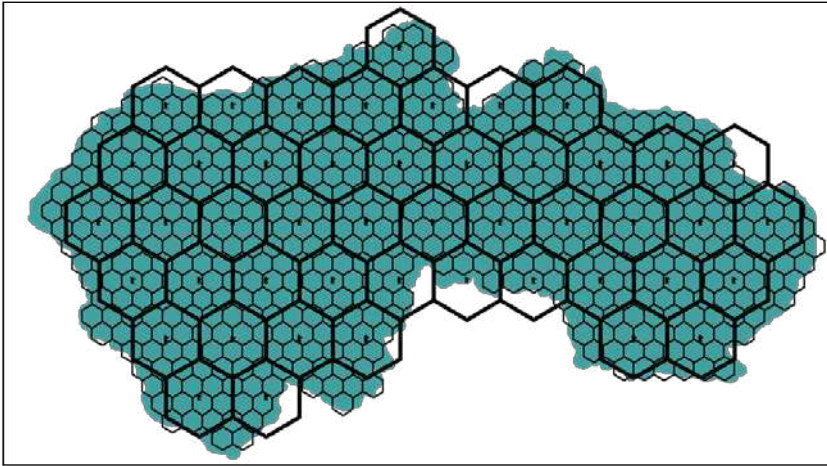


Рис.8.4 Приклад визначення за (8.10) "реальних" розрахункових "стілників" – трикілометрових (тонкі лінії, $N_c=544$) та десятикілометрових (потовщені лінії з центрами, $N_c=47$) – в межах території тестового басейну Росі (синє тло)

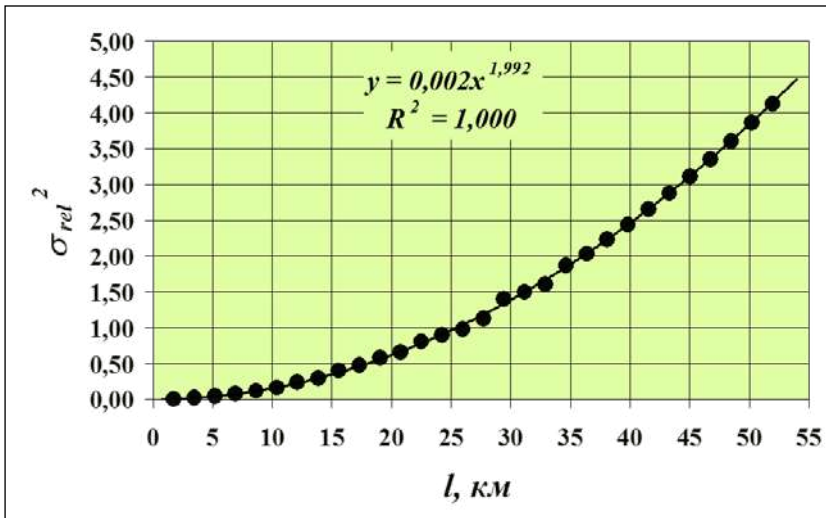


Рис.8.5 Регіональна модель оцінювання точності обмежених вимірів випадкового поля показника ландшафтного різноманіття (формула (8.7)) у розрахунковому вигляді тренду $\sigma_{rel}^2 = f(l)$ для тестового басейну Росі (R^2 – квадрат індексу достовірності апроксимації розрахунковим степеневим трендом)

По-третє, під час вирішення головної задачі цього підрозділу – **виборі оптимального розміру "стільників"** – безпосередньо **для тестового басейну Росі** (див. р.6) було виконано таку послідовність дій:

1) дотримуючись першої критеріальної умови вирішуваної задачі – максимально можливої некорельованості розрахункових показників ландшафтного різноманіття вже між центрами всіх суміжних "стільників" – і зважаючи на чисельні критерії якості лінійного кореляційного зв'язку за значеннями коефіцієнтів кореляції, наведені у [39, 47], "чисельно запровадимо" цю першу умову у вигляді таких **обмежень на значення просторової кореляційної функції**, як

$$r_{Nm}(l)_{reg} < 0,4 , \quad (8.11)$$

чому, згідно з рівнянням (8.11) (див. рис.8.2), відповідає певна **наслідкова умова щодо відстані між центрами "стільників"**, а саме

$$l > 10,41 \text{ км} ; \quad (8.12)$$

2) дотримуючись другої критеріальної умови задачі, що розглядається, – мінімально можливої відносної помилки визначення показників ландшафтного різноманіття в умовах обмежень на число вимірів їхнього поля – задамося **відліковим значенням відносної помилки $\sigma_{rel} < 0,5$** . Це згідно з формулою (8.5) цілком прийнятно за [39, 47] відповідає неперевищенню абсолютною помилкою половини стандарту досліджуваного показника різноманіття, тобто

$$\sigma_{abs} < 0,5 \sigma_x(l) . \quad (8.13)$$

Наслідковою до умови (8.13), згідно із регіональною моделлю (8.7), є **адекватна вимога стосовно відстані між центрами "стільників"**

$$l < 12,69 \text{ км} ; \quad (8.14)$$

3) поєднавши вимоги (8.12) і (8.14), отримуємо **спільну вимогу**. Це й визначає діапазон бажаних значень відстаней між центрами "стільників", який відповідає обом вихідним критеріальним умовам задачі вибору оптимального розміру "стільників", а саме (рис.8.6)

$$10,41 \text{ км} < l < 12,69 \text{ км} . \quad (8.15)$$

Цю вимогу, згадуючи про залежність (8.8), може бути подано й стосовно оптимального діапазону розміру "стільників" за їхнім зовнішнім радіусом, тобто як

$$6,01 \text{ км} < r_c < 7,33 \text{ км} . \quad (8.16)$$

При цьому відповідні шукані діапазони квадрата відносної помилки й власне цієї помилки за рахунок обмеженості вимірів становитимуть

$$0,17 < \sigma_{rel}^2 < 0,25 , \quad (8.17)$$

$$0,41 < \sigma_{rel} < 0,50 ; \quad (8.18)$$

4) орієнтуючись на середину інтервалу за умовою (8.16) і для зручності обираючи ціле число, можна зупинитись на такому розмірі "стілників", як $r_c = 7$ км за відповідних йому $l = 12,12$ км, $N_c = 96$ (рис.8.7), $\sigma_{rel}^2 = 0,23$ і $\sigma_{rel} = 0,48$. Це й буде полікритеріальним вирішенням початково поставленої задачі.

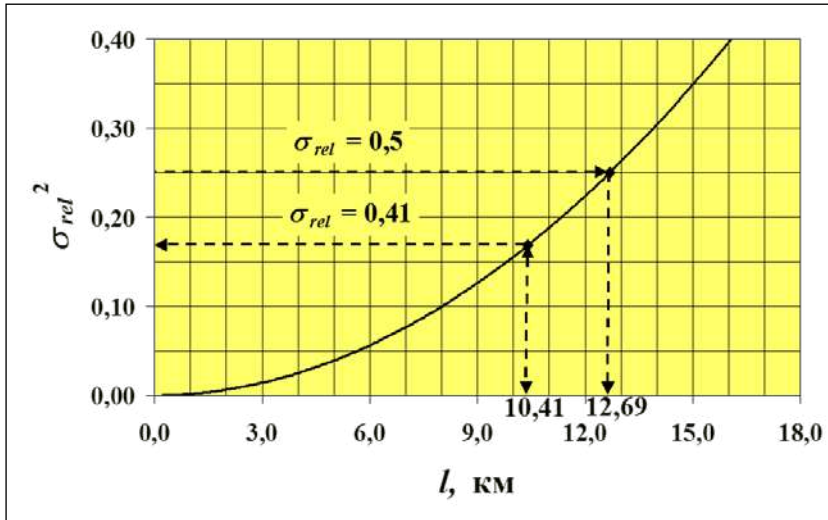


Рис.8.6 Ілюстрація полікритеріального визначення оптимального діапазону значень відстані між центрами "стілників" (див. формули (8.11)-(8.15)) у межах території тестового басейну Росі

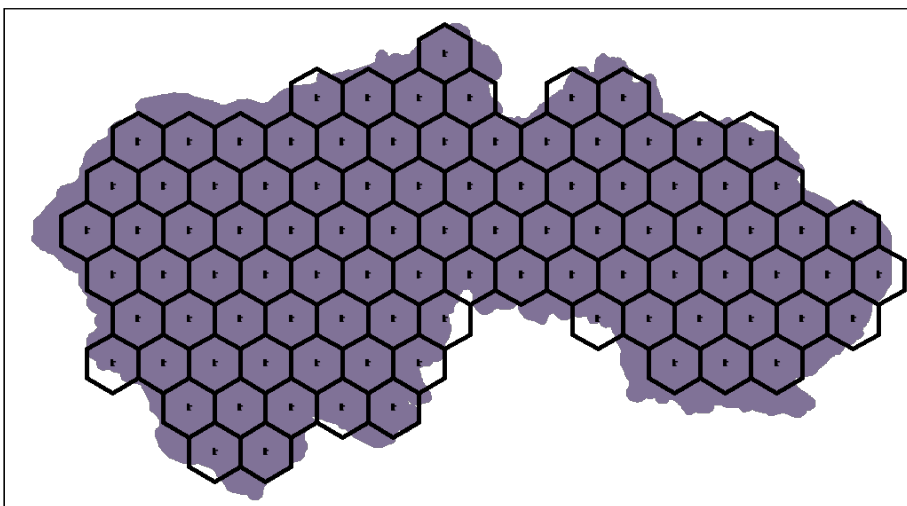


Рис.8.7 Визначення за формулою (8.10) "реальних" розрахункових семикілометрових "стілників" ($N_c = 96$) у межах території тестового басейну Росі

8.2 Реалізація методики діагностики першопричин погіршення стану геосистем

Досить показові результати реалізації методики діагностики першопричин погіршення стану природничих геосистем, викладеної у п.3.2.3, наводяться в цьому підрозділі, по-перше, стосовно **макрогеосистеми басейну Дніпра** на основі наших праць [28, 40] тощо.

Таким чином в процесі тестування схеми рис.3.5 було вирізняєно шість блоків характерних проблем погіршення рівня стану природничої геосистеми дніпровського басейну за кожною із обраних груп ознак стану геосистеми або комбінаціями таких груп.

Зокрема, до складу характерних проблем погіршення рівня стану, відповідних безпосередніх причин цього, секторів економіки, поєднаних з проблемами і причинами, змін природно-соціально-економічних функцій геосистеми для певних видів ресурсів (див. табл.1.4) були віднесено (див. верхню частину схеми рис.3.5 до першопричин):

1. За водогосподарською групою ознак стану макрогеосистеми:

1) характерні проблеми:

а) перевищення рекомендованого як граничний ([36]) 10-відсоткового показника навантаження водокористування на водні ресурси як відношення об'єму сумарного безповоротного водовідбору та скидання забруднених вод до об'єму ресурсів у маловодний рік;

б) невиконання вимоги 10-кратного розбавлення (1:10) забруднених вод річковим стоком як відношення об'єму забруднених вод до об'єму місцевого річкового стоку в маловодний рік, вираховуючи із останнього об'єму скидання, безповоротного водовідбору і втрат води на додаткове випаровування та фільтрацію;

2) основні безпосередні причини виникнення характерних проблем: а) високий рівень безповоротного водовідбору; б) втрати води на додаткове випаровування та фільтрацію; в) загальнохімічне забруднення зі стоком з точкових і розосереджених джерел; г) неефективна робота очисних споруд тощо;

3) основні сектори економіки: а) промисловість; б) комунальне господарство; в) енергетика; г) АПК;

4) обмеження геопозитивних ПСЕФ (водні ресурси): а) ресурсо-відтворювально-постачальних (водопостачальної, зрошувальної); б) довкілля-ресурсо-охоронних (самоочишувальних);

5) посилення геонегативних ПСЕФ (водні ресурси): а) довкілля-ресурсо-деградаційно-редукційних (хімічно-забруднювальної); б) "екоризикових" (екоструктурно-деструкційної).

2. За гідрофізикохімічною та екотоксикологічною групами ознак стану макрогеосистеми:

1) характерні проблеми:

а) сапробізація як органічне нетоксичне забруднення. Вищий від нормативного вміст органічних речовин у воді, про що свідчить перевищення допустимих величин BCK_5 тощо;

б) евтрофікація. Підвищений вміст і перевищення допустимих концентрацій у воді біогенних речовин (рис.8.8);

в) токсифікація. Підвищений вміст і перевищення допустимих концентрацій у воді важких металів, летких фенолів (рис.8.9), нафтопродуктів (рис.8.10) і пестицидів;

2) основні безпосередні причини виникнення характерних проблем:

а) загальнохімічне забруднення зі стоком із розосереджених джерел. Це стосується поверхневого стоку з урбанізованих і агропромислових територій, надходження від розосереджених на водозборі геоекологічно небезпечних об'єктів тощо;

б) загальнохімічне забруднення зі стоком із зосереджених (точкових) джерел. Сюди відноситься скидання стічних вод, відведення кар'єрних вод і води меліоративних систем тощо, враховуючи й аварійні скидання;

в) транскордонне перенесення забрудників з водним і твердим стоком;

г) атмосферне випадіння забруднених опадів (ацидифікація);

д) водообмін із забрудненими підземними водами;

е) русловий стік полутантів природного походження – органічних речовин тощо;

є) вторинне забруднення і інші біотичні процеси в аква-теральних геосистемах тощо;

3) основні сектори економіки: а) промисловість; б) АПК; в) комунальне господарство; г) енергетика; д) лісове та рибне господарство; е) транспорт; є) рекреація;

4) обмеження геопозитивних ПСЕФ (водні, біологічні, рекреаційні ресурси): а) ресурсо-відтворювально-постачальних (водопостачальної, зрошувальної, біопродукційної); б) ландшафтно-естетичних і рекреаційно-оздоровчих; в) самоочищувальних і санітарно-екологічних;

5) посилення геонегативних ПСЕФ (водні, біологічні, рекреаційні ресурси): полюціо-міграційно-акумулятивних.

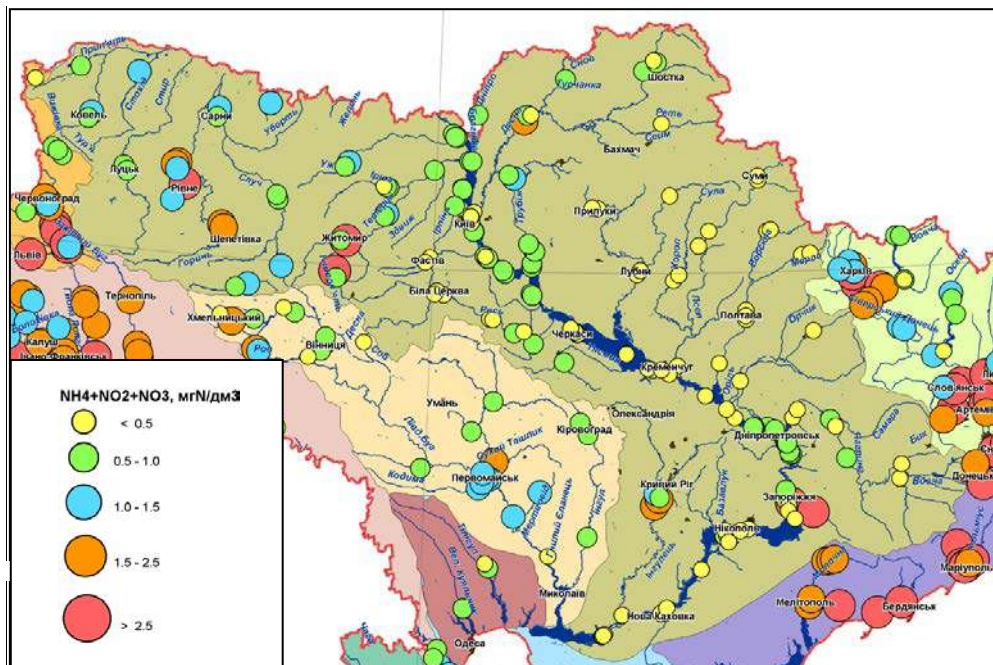


Рис.8.8 Вміст мінеральних форм нітрогену в поверхневих водах макрогеосистеми басейну Дніпра (за [28])

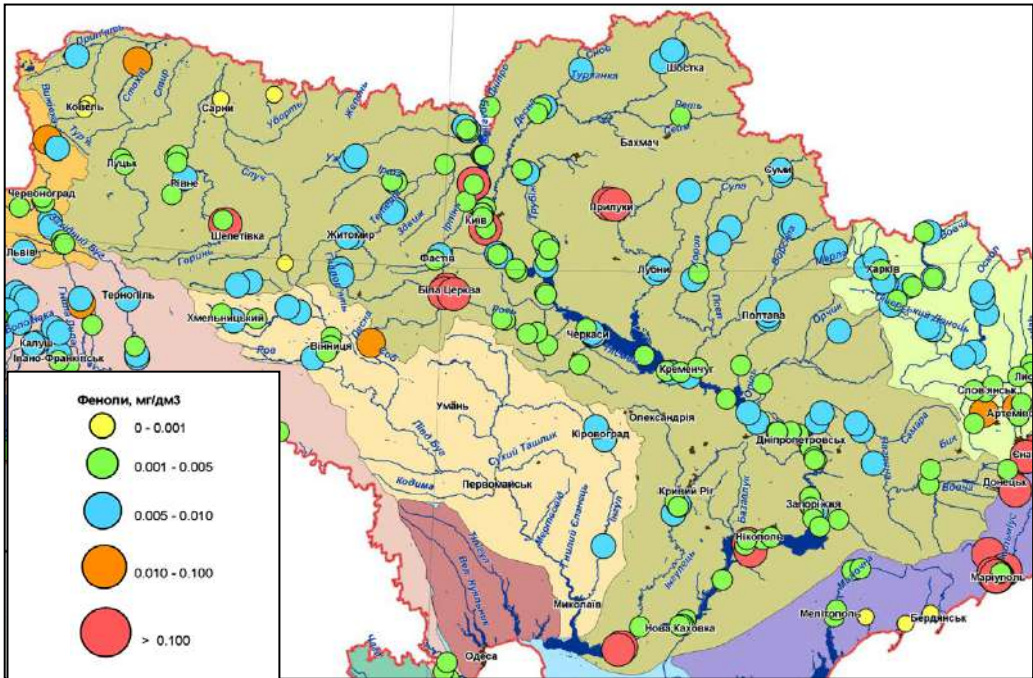


Рис.8.9 Вміст легких фенолів у поверхневих водах макрогеосистеми басейну Дніпра (за [28])

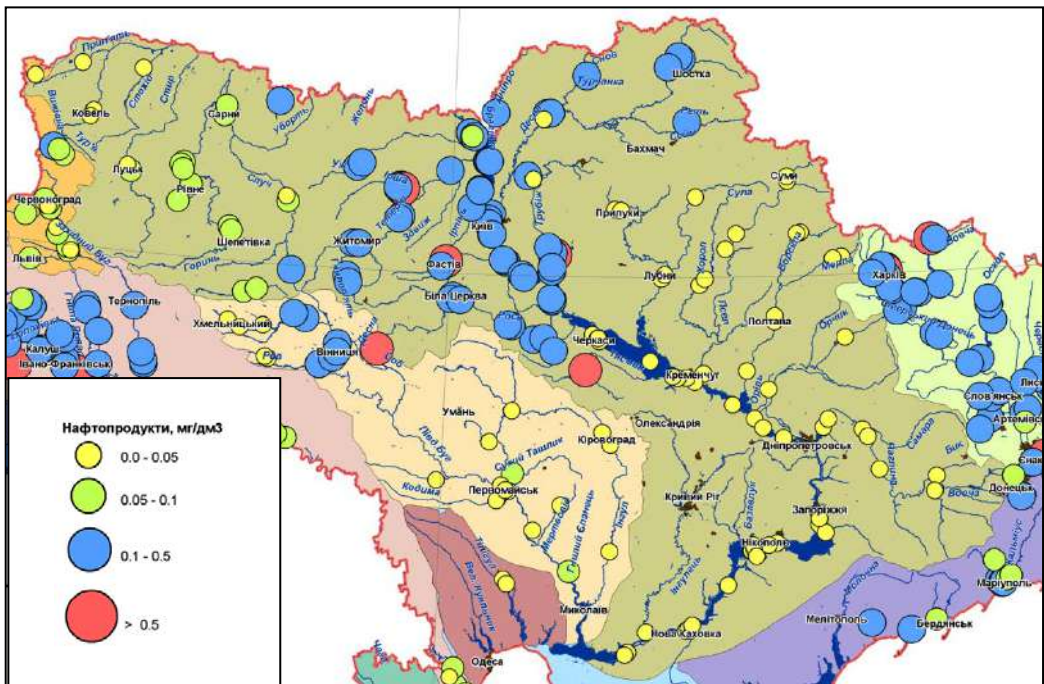


Рис.8.10 Вміст нафтопродуктів у поверхневих водах макрогеосистеми басейну Дніпра (за [28])

3. За гідробіологічною групою ознак стану макрогеосистеми:

1) *характерні проблеми:*

- а) інтенсифікація "цвітіння" води і біологічного самозабруднення складників біотичного таксону аква-теральних геосистем, заморні і інші негативні явища в них;
- б) зниження рибопродуктивності та загибель риби;
- в) неоптимальні індекси видового різноманіття, вікова структура популяцій, еколого-фізіологічні параметри, рівень стабільності онтогенезу організмів у біогідроценозах тощо;
- г) високі коефіцієнти накопичення хімічних забруднювальних речовин, зокрема токсичних, у біотичних модулях біогідроценозів;

д) порушення оптимального гідроекологічного режиму гирлової області Дніпра;

2) *основні безпосередні причини виникнення характерних проблем:*

- а) надходження хімічних поллютантів, зокрема токсичних, із зосереджених, розосереджених і інших джерел;
- б) евтрофікація, токсифікація та сапробізація аква-теральних геосистем;
- г) недостатній рівень і ефективність комплексних рибогосподарських заходів;
- д) надмірне побічне виловлювання риби, зокрема інфрінжментове;

3) *основні сектори економіки:* а) промисловість; б) АПК; в) комунальне господарство; г) рибне господарство; д) енергетика; е) транспорт; є) рекреація;

4) *обмеження геопозитивних ПСЕФ (біологічні, водні та рекреаційні ресурси):*

- а) ресурсо-відтворювально-постачальних (біопродукційної, водопостачальної, зрошувальної); б) рекреаційно-оздоровчих і ландшафтно-естетичних; в) самоочищувальних і санітарно-екологічних; г) специфічних геопозитивних (аераційної (реаераційної));

5) *посилення геонегативних ПСЕФ (біологічні, водні та рекреаційні ресурси):* а) полюційо-міграційно-акумулятивних; б) ландшафтно-деградаційних; в) "екоризикових" (екоструктурно-деструкційних).

4. За ландшафтно-екологічною групою ознак стану макрогеосистеми:

1) *характерні проблеми:*

- а) низька та неоптимальна величина коефіцієнта лісистості водозборів;
- б) високий і неоптимальний коефіцієнт розораності водозборів, високий відсоток площ відкритих розробок корисних копалин, звалищ побутових і промислових відходів, полишених військових полігонів тощо;
- в) недостатність територій природно-заповідного фонду;
- г) граничне скорочення значної кількості місцевих видів флори та фауни на тлі загального зниження біорізноманіття;
- д) несприятливі зміни структури геосистем;
- е) зниження вмісту гумусу в чорноземах тощо;

2) *основні безпосередні причини виникнення характерних проблем:* а) надмірна індустріалізація, урбанізація та інтенсифікація агросектору; б) зниження стійкості геосистем; в) неефективна структура та технології землекористування; г) недосконалість природоохоронного законодавства та недостатність природоохоронних заходів тощо;

3) *основні сектори економіки:* а) промисловість; б) АПК; в) комунальне господарство; г) енергетика; д) лісове та рибне господарство; е) транспорт; є) рекреація;

4) обмеження геопозитивних ПСЕФ (земельні, біологічні, водні і рекреаційні ресурси): а) ландшафтно-відтворювальних і ресурсо-відтворювально-постачальних (біопродукційної); б) ландшафтно-естетичних і рекреаційно-оздоровчих); в) самоочищувальних і водоохоронних; г) історико-культурно-заповідних і ґрунтозахисних;

5) посилення геонегативних ПСЕФ (земельні, біологічні, водні і рекреаційні ресурси): а) полюціо-міграційно-акумулятивних; б) ландшафтно-деградаційних; в) "екоризикових" (геоструктурно-деструкційних).

5. За інженерно-геологічною, гідрогеологічною та седиментогенезовою групами ознак стану макрогеосистеми:

1) *характерні проблеми:*

а) деформація берегів водосховищ і втрати ресурсів берегової зони внаслідок берегоруйнування;

б) втрати земельних (територіальних) ресурсів внаслідок просідання ґрунту, зсувів тощо;

в) підвищення рівня та екологічно несприятливі зміни хімічного складу ґрунтових вод;

г) зниження рівня ґрунтових вод і переосушення меліорованих масивів;

д) перевищення допустимих рівнів забруднення підземних вод, їхнє кількісне та якісне виснаження;

е) замулення та втрата корисного об'єму водойм;

є) високі рівні хімічного забруднення донних відкладів і ґрунтів;

2) *основні безпосередні причини виникнення характерних проблем:*

а) недостатність і неефективність берегоукріплення та берегозахисту;

в) водообмін підземних вод із забрудненими поверхневими;

г) стік забруднених вод і літогенного матеріалу з водозборів, інфільтрація із звалищ і сховищ промислових і побутових рідких і твердих відходів, зважаючи й на аварійні скидання;

д) скидання високомінералізованих шахтних і рудничних вод;

е) неоптимальні режими роботи меліоративних систем;

є) неефективні системи і конструкції водовідведення та запобігання геоекологічно несприятливим і небезпечним інженерно-геологічним і гідрогеологічним процесам;

ж) перевищення норм і неоптимальний режим водовідбору з підземних джерел;

з) експлуатація водоносних горизонтів з підвищеним природним вмістом екологічно несприятливих інгредієнтів тощо.;

3) *основні сектори економіки:* а) промисловість; б) комунальне господарство; в) АПК; г) енергетика; д) транспорт;

4) *обмеження геопозитивних ПСЕФ (водні, земельні і біологічні ресурси):* а) ресурсо-відтворювально-постачальних (водопостачальної, зрошувальної); б) ландшафтно-відтворювальних; в) довкілля-ресурсо-охоронних (водоохоронних, зокрема берегоохоронної, і санітарно-екологічних; г) ґрунтозахисних (дренажної);

5) *посилення геонегативних ПСЕФ (водні, земельні і біологічні ресурси):* а) гідрогалодинамічно-несприятливих (підтоплювальної, заболочувальної, засолювальної); б) загальноресурсно-редукційних і ландшафтно-деградаційних.

6. За групою інтегральних і спільних ознак стану макрогеосистеми:

1) *характерні проблеми:*

а) незадовільна якість води істотної кількості поверхневих водних об'єктів макрогеосистеми басейну;

б) незадовільний рівень гідроекологічного стану понад 20 ландшафтно-гідрорадіоекологічних поліських і лісостепових районів макрогеосистеми басейну (див. рис.4.14);

2) *основні безпосередні причини виникнення характерних проблем:*

а) безпосередні причини за гідрофізикохімічною та екотоксикологічною групами ознак стану (див. попередній текст);

в) безпосередні причини за ландшафтно-екологічною та деякими іншими групами ознак стану (див. попередній текст і [40]);

3) *основні сектори економіки:* а) промисловість; б) комунальне господарство; в) АПК; г) енергетика; д) транспорт; е) лісове і рибне господарство; є) рекреація;

4) *обмеження геопозитивних ПСЕФ (водні, біологічні, земельні і рекреаційні ресурси):* а) ресурсо-відтворювально-постачальних; б) ландшафтно-відтворювальних; в) рекреаційно-оздоровчих; г) самоочищувальних і санітарно-екологічних;

5) *посилення геонегативних ПСЕФ (водні, біологічні, земельні і рекреаційні ресурси):* а) доквілля-ресурсо-деградаційно-редукційних; 2) "екоризикових" (життеризикових і екоструктурно- та геоструктурно-деструкційних).

У кінцевий же набір шести основних першопринципів погіршення рівня стану макрогеосистеми басейну Дніпра та згрупованих головних складників цих першопринципів після логіко-математичної модельної діагностики за всіма складниками схеми рис.3.5 і повним набором складників усіх зазначених шести блоків характерних проблем тощо потрапили:

I. Надмірне та геоекологічно небезпечне антропогенне навантаження на макрогеосистему, зокрема:

1) розміщення об'єктів економіки без урахування наявності та якості природних ресурсів;

2) існування економіки, структурно та диспропорційно деформованої переважанням геоекологічно небезпечних галузей промисловості та ресурсо- і енергоємних технологій;

3) надмірна хімізація агросектору;

4) надмірна кількість і геоекологічно небезпечне розміщення твердих і рідких промислових і побутових відходів, зокрема токсичних;

5) надлишкове накопичення в ґрунтах хімічних полютантів;

6) значне транскордонне надходження з водним і твердим стоком хімічних і бактеріальних полютантів з верхніх частин басейну;

7) надмірна зарегульованість приток Дніпра, зокрема малих річок;

8) наявність і надлишок геоекологічно невинуватених меліоративних систем і їхніх типів (конструкцій).

II. Недостатньо ефективне водо- і ресурсокористування та управління станом макрогеосистеми та ресурсокористуванням, зокрема:

1) нераціональне використання природних, насамперед водних, ресурсів, зокрема їхні втрати, з урахуванням недостатньо ефективною загальною організаційною структурою управління ресурсокористуванням і охороною доквілля;

2) відсутність ефективного планування та управління антропогенними навантаженнями на типові субструктури макрогеосистеми, які базуються на об'єктивному урахуванні геоecологічних і екологічних ризиків для довкілля та здоров'я населення;

3) висока водоемність валового суспільного продукту, використання води питної якості на виробничі і господарські потреби та низький рівень водозбереження;

4) неефективні, застарілі й екологічно небезпечні технології водо- і ресурсокористування, зокрема водопідготовки, а також утилізації відходів, водовідведення тощо, враховуючи наявність та загрозу аварійних скидів, викидів, катастрофічних техногенних повеней тощо;

5) потреба в істотному розвитку національної системи прогнозування, попередження та оперативного реагування на надзвичайні ситуації природного і природно-техногенного генезису в макрогеосистемі;

6) недостатнє відтворення (поновлення) водних і інших природних ресурсів і компенсація геоecологічних збитків тощо від водо- і ресурсокористування, насамперед для оздоровлення стану геосистеми;

7) неефективне управління режимами роботи водогосподарських комплексів, меліоративних, водопровідних і інших систем, зосібна й незадовільний їхній стан;

8) недостатня ефективність і фінансування водо- та природоохоронних заходів і технологій, серед них систем водовідведення;

9) недостатня ефективність екологічної експертизи (аудиту) економічних проєктів тощо;

10) багатовідомчий неефективний і той, що недостатньо фінансується, моніторинг стану макрогеосистеми, джерел антропогенного навантаження на неї та водо- і ресурсокористування;

11) відсутність достатньо адекватної оцінки і прогнозу стану макрогеосистеми та її субструктур, які засновані на комплексному геоecологічному районуванні та імітаційному моделюванні причин і наслідків погіршення цього стану, під час планування оперативних, зокрема. кризових, і довготермінових режимів управління макрогеосистемою та природоохоронних заходів, враховуючи також обмеженість складу останніх;

12) недостатня ефективність, наукове обґрунтування і реалізація на адекватному рівні законодавчо-правових основ, нормативної бази та економічного механізму регулювання ресурсокористування, зокрема його геоecологічно-економічного нормування та платного водо- і ресурсокористування;

13) порушення чинного водо- та природоохоронного законодавства, зосібна режимів водоохоронних зон, зон санітарної охорони тощо;

14) надмірне та геоecологічно небезпечне побічне використання населенням біологічних ресурсів, насамперед водного фонду;

15) скорочення та/або відсутність фінансування прогресивних водо- і природоохоронних досліджень і проєктів, які базуються на сучасних концепціях і інформаційно-модельних технологіях геоecологічно-економічно безпечного та ефективного управління геосистемами;

16) потреба в істотному покращенні міжнародного співробітництва в сфері геоecологічного оздоровлення транскордонних водних об'єктів і басейнів.

III. Відсутність усталеного розвитку макрогеосистеми, враховуючи її деградацію та загрозу біоландшафтному різноманіттю, зокрема:

- 1) трансформація внаслідок антропогенного навантаження структури, динаміки та саморегуляційних властивостей суходільних і аква-теральних геосистем у бік їхньої деградації та/або зникнення на тлі загальної тенденції до втрати середовища мешкання біовидів;
- 2) скорочення лісистості та загалом площ геопозитивних антропізованих геосистем, надмірна розораність, наявність відкритих розробок корисних копалин і інші аналогічні причини, які призводять до деградації геосистем;
- 3) неоптимальна структура землекористування;
- 4) збільшення інтенсивності ерозійних процесів;
- 5) порушення внаслідок регулювання стоку та інших причин природних (натуральних) руслоформувальних процесів, зокрема втрата водно-болотних угідь у заплавах річок і замулення водних об'єктів;
- 6) несприятлива для аква-теральних геосистем зміна їхніх гідрологічного, гідрохімічного та температурного режимів;
- 7) наявність біологічних видів, які наражаються на вимирання;
- 8) вторгнення екзотичних біовидів;
- 9) зниження життєздатності та різноманіття цінних для використання і/або екологічної рівноваги біовидів на тлі розмноження небажаних біовидів і зниження стійкості біотичних таксонів геосистем;
- 10) брак належної кількості та площі об'єктів природно-заповідного фонду, "червонокнижних" біовидів (рис.8.11-8.12) тощо.

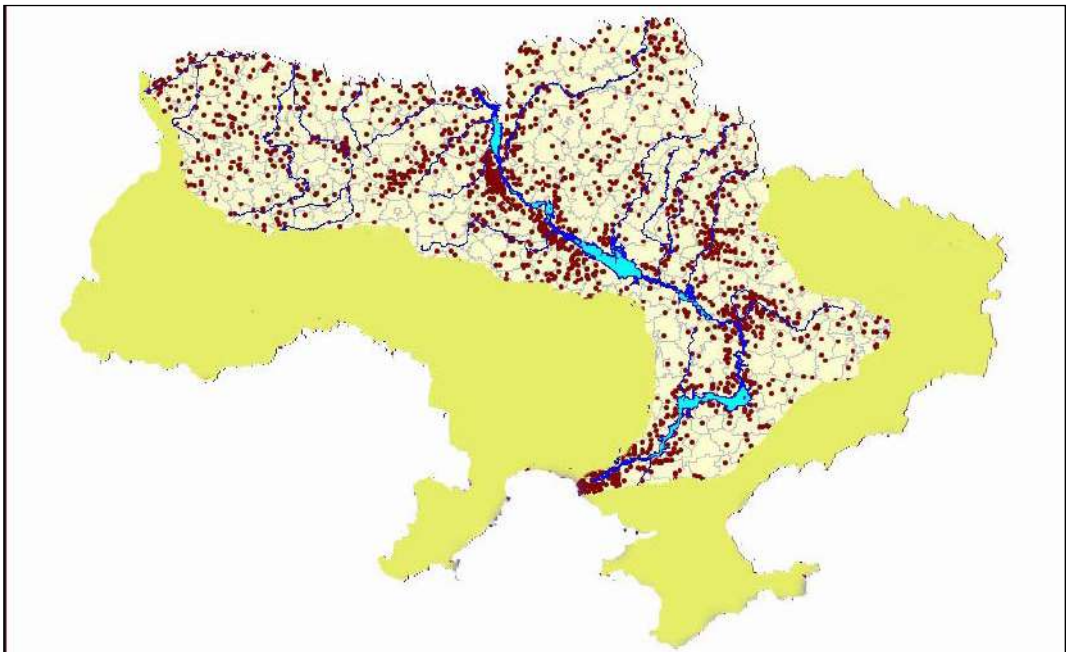


Рис.8.11 Місцезнаходження рідких і тих, які зникають, видів тварин, занесених до "Червоної книги України" в макрогеосистемі басейну Дніпра (за [28])

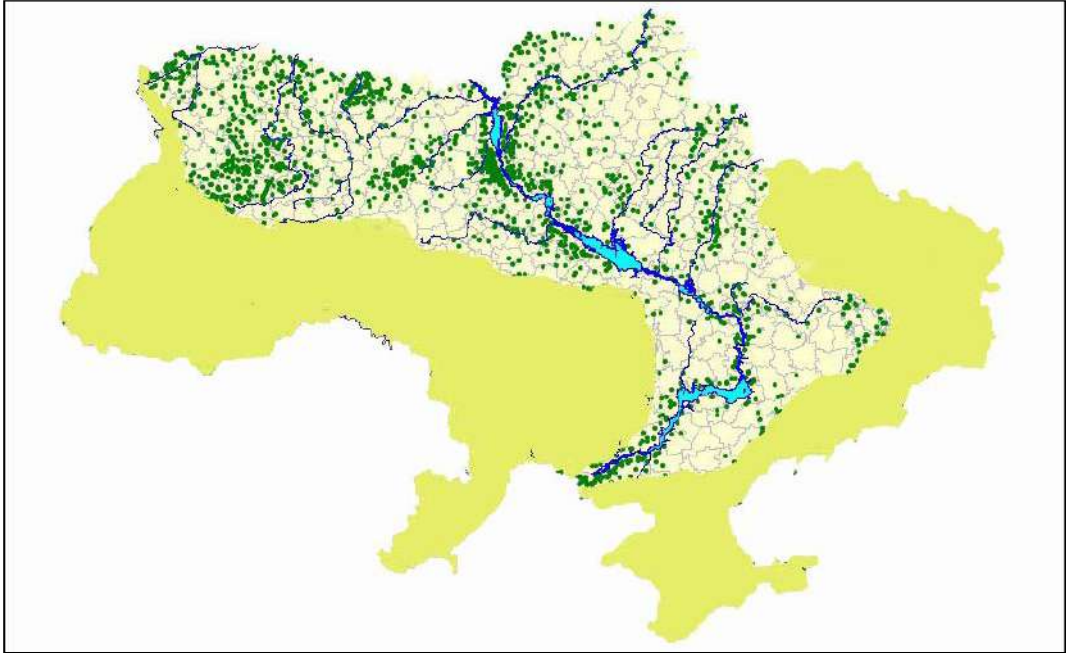


Рис.8.12 Місцезнаходження рідких і тих, які зникають, видів рослин, занесених до "Червоної книги України" в макрогеосистемі басейну Дніпра (за [28])

IV. Відсутність оптимальної геоекологічно-економічно збалансованої ресурсовидатності геосистеми, зосібна:

- 1) кількісні дефіцити природних ресурсів;
- 2) якісні дефіцити природних ресурсів;
- 3) зниження якості природних ресурсів, які використовуються, і власне використання ресурсів низької якості;
- 4) безповоротне ресурсокористування, насамперед водоспоживання;
- 5) обмеженість надійних, достатніх і безпечних джерел питної води;
- 6) несприятливі для використання внутрішньорічний і територіальний розподіл і забезпеченість водними ресурсами та внутрішньорічні і багаторічні коливання їхніх кількості та якості;

V. Геоекологічно-економічно несприятливі глобальні та регіональні натурально-антропогенні процеси, зосібна:

- 1) зміни клімату, передусім опадів і температур, зокрема збільшення частоти виникнення геоекологічно несприятливих явищ на кшталт заморозків, шквалів, смерчів, посух, лісових пожеж тощо;
- 2) глобальне та регіональне транскордонне атмосферне перенесення поллютантів, серед них токсичних;
- 3) натурально зумовлені наявність і/або утворення забрудників, передусім важких металів і органічних речовин у модулях геосистем – воді, ґрунтах тощо;
- 5) катастрофічні повені внаслідок паводків і/або водопіль рідко повторюваності;
- 6) ті, що вперше виникли, або інтенсифіковані несприятливі інженерно-геологічні та гідрогеологічні процеси і умови. Серед них – руйнування берегів, під-

топлення, заболочування і засолення територій, переосушення меліорованих масивів тощо;

7) зміна якості водного середовища, яка спричинює вторинне забруднення та самозабруднення складників аква-теральних геосистем і накопичення поллютантів у гідробіонтах тощо.

VI. Недомінування парадигми про природоохоронні пріоритети розвитку суспільства, зокрема:

1) соціально-психологічні та ментальні причини;

2) спад економічного розвитку, який призводить до гальмування реалізації природоохоронних ініціатив на всіх рівнях і відсутності або недостатнього їхнього фінансування;

3) слабе лобювання природоохоронних заходів, насамперед на законодавчому рівні;

4) недостатній рівень природоохоронної освіти та виховання;

5) слабе інформування громадськості та її участь у прийнятті управлінських рішень у сфері ресурсокористування та охорони довкілля, враховуючи недосконалість відповідних законодавчо-нормативних актів;

6) слабкий розвиток і ефективність природоохоронної пропаганди, включаючи низький рівень відповідних масово-інформаційних і мультимедійних технологій і заходів;

7) недостатній зв'язок урядових і неурядових організацій у сфері природоохоронної діяльності.

Як загальний підсумок виконаної за методикою п.3.2.3 діагностики першопричин погіршення рівня стану басейну Дніпра, останній можна кваліфікувати як макрогеосистему, яка відзначається несталим розвитком із загрозою біоландшафтному різноманіттю на тлі надмірного антропогенного навантаження, зважаючи й на транскордонний вплив, і в умовах неефективного управління ресурсокористуванням, через що є відсутньою оптимальна геоecологічно-економічно збалансована ресурсовидатність системи як закономірний результат переважаючого екологічних пріоритетів розвитку суспільства.

По-друге, методику п.3.2.3 було реалізовано в дещо модифікованому й спрощеному вигляді для **ідентифікації причин погіршення стану тестових малих урболандшафтних геосистем (МУБГ) Києва**, розглянутих для прикладу у п.5.2. Зокрема така спрощена ідентифікація дотримувалася наступних підходів.

З одного боку, **причини погіршення стану тестових геосистем умовно поділялися на:**

– **найбільш ймовірні безпосередні.** Це причини, ідентифікацію яких забезпечено конкретними чисельними результатами тестування за п.5.2;

– **можливі.** Це причини, визначення яких "не підкріплено" наразі результатами тестування, хоча вони є цілком логічно передбачуваними.

З іншого боку, аналітично-змістова ідентифікація зазначених причин здійснювалася насамперед у **табличних формах**, побудованих для зафіксованих порушень певних підтипів стійкості геосистем і компонентів цих підтипів. Мова йшла про фазово-антропізаційну, фазово-етологічну, параметрично-відновлювальну та параметрично-інтегральну стійкості як складники рівня стану МУБГ (див. табл.2.2).

Власне ідентифікація причин здійснювалася за **принциповим ланцюжком**: аналіз домінантного негативного впливу на надійність *МУБГ* порушень певних стійкостей, який виявляється в обмеженні певних геопозитивних природно-соціально-економічних функцій (*ГП ПСЕФ*) і в посиленні геонегативних таких функцій (*ГН ПСЕФ*, див. табл.1.4) – визначення найбільш ймовірних безпосередніх причин погіршення стану *МУБГ* – визначення інших можливих причин зазначеного погіршення з огляду на п.5.2.

За таких умов і було отримано відповідні **результати ідентифікації причин погіршення стану** тестових геосистем, які наводяться у табл.8.1-8.3, де аббревіатури назв *ПСЕФ* – за табл.1.4, з додатковим наведенням результатів оцінювання умовної надійності цих геосистем (рис. 8.13).

Таблиця 8.1 – Ідентифікація найбільш ймовірних і можливих причин погіршення стану тестових *МУБГ* Києва внаслідок порушення їхньої фазово-антропоізаційної (*ФАС*) і параметрично-відновлювальної (*ПВС*) стійкостей

Зміст ідентифікації	Результати ідентифікації
Домінантний негативний вплив на надійність <i>МУБГ</i> :	
1) обмеження <i>ГП ПСЕФ</i>	<i>ДРВ</i> (ландшафтно-відтворювальних, рекреаційно-оздоровчих, ландшафтно-естетичних); <i>ДРО</i> (санітарно-екологічних, ґрунтозахисних, самоочищувальних); <i>ІСГП</i> (імпактно-позитивних)
2) посилення <i>ГН ПСЕФ</i>	<i>ДРДР</i> (ландшафтно-деградаційних, полюціо-міграційно-аккумулятивних), <i>ЕР</i> (геоструктурно-деструкційних), <i>ІСГН</i> (водно-стоково-трансформаційних несприятливих, екомережно-деструкційних, імпактно-негативних)
Найбільш ймовірні безпосередні причини погіршення стану <i>МУБГ</i>	Істотне зменшення "залишкової" здатності <i>МУБГ</i> до саморегуляції, зокрема внаслідок: – надмірної антропоізації, зосібна за рахунок наявності у <i>МУБГ</i> урбофункціональних підсистем (% площі): Віта – агропромислової (55%); Нивка – агропромислової та складської (46%); Сирець та Либідь – транспортної, складської і промислової (30% і 27%); – несприятливого співвідношення загальних площ геопозитивних і геонегативних урбофункціональних підсистем (індексу <i>I_{ПВСТ}</i> за (2.73)), зокрема для <i>МУБГ</i> : Віти – 0,73; Нивки – 0,42; Сирцю – 0,50; Либіді – 0,36
Інші можливі причини погіршення стану <i>МУБГ</i>	Істотне антропогенне "перевантаження" основної водо- та природоохоронної басейнової підсистеми <i>МУБГ</i> – заплавної, а також несприятливий розподіл антропогенного навантаження між трьома басейновими (квазі)природними морфологічно-позиційними підсистемами, зокрема за рахунок або внаслідок: – збільшення несприятливого співвідношення загальних площ геопозитивних та геонегативних урбофункціональних підсистем урбофункціональних підсистем для заплавної підсистеми в порівнянні із таким співвідношенням для геосистеми в цілому, зокрема для <i>МУБГ</i> : Горенки – 0,90 для заплави і 3,85 у цілому; Сирцю – 0,45 і 0,50; Либіді – 0,34 і 0,36;

Зміст ідентифікації	Результати ідентифікації
	<p>– відчутного домінування в заплаві геонегативних підсистем, зокрема для МУБГ (% площі заплави): Горенки, Віти та Нивки – агропромислової (48%, 30% і 34%); Сирцю і Либіді – складської (43% і 27%), причім із сумою для заплави обох геосистем питомих площ транспортної, складської та промислової підсистем 57% на тлі таких сум 34% і 30% для цих МУБГ у цілому;</p> <p>– зниження категорій рівня стану заплавної підсистеми за ознакою її здатності до саморегуляції в порівнянні з такими категоріями для МУБГ у цілому, зокрема: для Горенки – з 2 на 3 з пониженням класу із доброго на задовільний; для Сирцю – з 5 на 6 тощо</p>

Таблиця 8.2 – Ідентифікація найбільш ймовірних і можливих причин погіршення стану тестових МУБГ Києва внаслідок порушення складників їхньої фазово-екологічної стійкості (ФЕС)

Зміст ідентифікації	Результати ідентифікації
Домінантний негативний вплив на надійність МУБГ:	
1) обмеження ГП ПСЕФ	ДРВ (геосистемно-структуротвірної, ієрархічно-гармонійної, пейзажно-видово-гармонійної, біопродукційної), ДРО (водоохоронних, санітарно-екологічних, самоочищувальних), ІСГП (біоміграційно-сприятливої)
2) посилення ГН ПСЕФ	ДРДР (ландшафтно-деградаційних, водно-ресурсно-редукційної, гідрогалодинамічно-несприятливих), ЕР (геоструктурно-деструкційних), ІСГН (водно-стоково-трансформаційних, екомережно-деструкційних)
Найбільш ймовірні безпосередні причини погіршення стану МУБГ	<p>Істотне порушення відношень гідрофункціонування МУБГ внаслідок трансформації (квазі)природних елементів гідромережі, зокрема за рахунок:</p> <p>– надмірної та етологічно несприятливої каналізації і штучного підпору ділянок гідромережі, зосібна наявності в МУБГ ділянок гідромережі з штучним спрямленням і трансформацією русел і берегів ГТС відкритого та закритого типу (% довжини гідромережі): Горенка – 53%; Нивка – 38%; Сирець – 86%; Либідь – 81%;</p> <p>– надмірного зарегулювання водного стоку, коли, наприклад, штучними водоймами зарегульовано 65% середнього багаторічного річного стоку Сирцю</p>
Інші можливі причини погіршення стану МУБГ	<p>Порушення відношень гідрофункціонування МУБГ внаслідок:</p> <p>– антропогенної трансформації місцезнаходження (квазі)природного вододілу та водозбору МУБГ і/або її підсистем;</p> <p>– неузгодження орієнтації просторових форм будівельного та іншого освоєння території з орієнтацією (квазі)природних елементів гідромережі тощо</p>

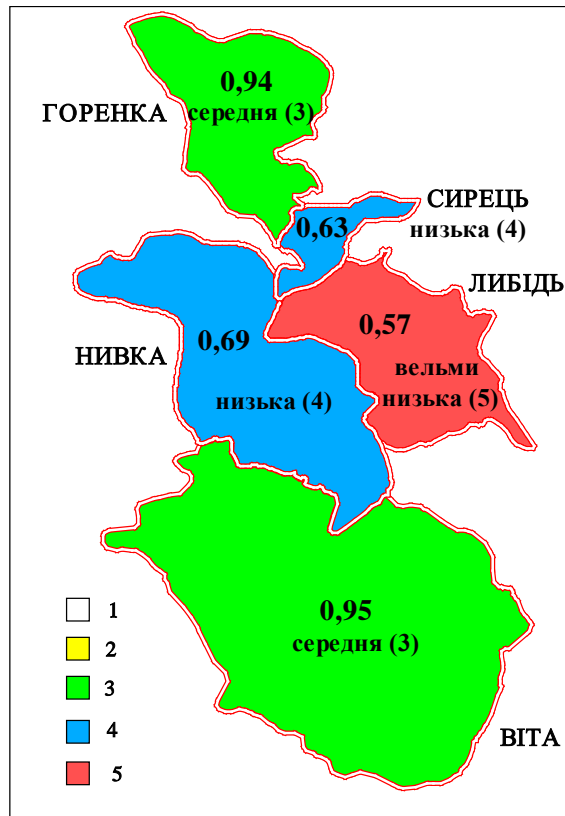


Рис.8.13 Рівень стану тестових МУБГ річок Києва за ознаками їхньої надійності (модель (2.80), табл.2.13) (за [45]) (0,57...0,95 – значення тестового інтегрального умовного індексу надійності $I_{ун(ГЕО),T}^*$; кольором – надійність (категорії рівня стану): 1 – вельми висока, 2 – висока, 3 – середня, 4 – низька, 5 – вельми низька)

Таблиця 8.3 – Ідентифікація найбільш ймовірних і можливих причин погіршення стану тестових МУБГ Києва внаслідок порушення складників їхньої параметрично-інтегральної стійкості (ЛІС)

Зміст ідентифікації	Результати ідентифікації
Домінантний негативний вплив на надійність МУБГ:	
1) обмеження ГП ПСЕФ	ДРВ (екосистемно-структуротворні, біопродукційної, рекреаційно-оздоровчої, естетично-привабливої), ДРО (водоохоронних, санітарно-екологічних, самоочищувальних), ІСПП (специфічно-екомережних, імпаکتно-позитивних)
2) посилення ГН ПСЕФ	ДРДР (хімічно-забруднювальних, загальноресурсно-редукційних, ландшафтно-деградаційних), ЕР (життеризикових, екоструктурно-деструкційних), ІСГН (водно-стоково-трансформаційних несприятливих, екомережно-деструкційних, імпаکتно-негативних)

Зміст ідентифікації	Результати ідентифікації
Найбільш ймовірні безпосередні причини погіршення стану МУБГ	<p>Недостатня здатність водотоку МУБГ до самоочищення та забезпечення рівноважного плину основних природних процесів, а також невідповідність параметрів якості води водотоку еталонним, що проявляється у сапробізації, евтрофікації, токсифікації та термофікації водного середовища та інтегрально відображає багатопричинне зниження рівня стану усієї МУБГ, зокрема для полюціо-міграційно-акумулятивних процесів внаслідок:</p> <ul style="list-style-type: none"> – хімічного забруднення з поверхневим і каналізаційним стоком із розосереджених і зосереджених джерел за рахунок надходження комунально-побутових і промислових стічних вод, серед них, особливо, зливово-талих, та, частково, вод з агроугідь (див. результати компонентної, блокової та інтегральної оцінки рівня стану тестових геосистем за ознаками їхньої водно-якісної стійкості, рис.5.18-5.19, табл.5.15); – істотного зниження здатності водотоків МУБГ до самоочищення за допомогою розбавлення стічних вод власним водним стоком, зокрема коли об'єм річного надходження стічних вод у цілому становить, наприклад для геосистеми Либіді, понад 430% її об'єму річного водного стоку у маловодний рік (див. табл.6.14)
Інші можливі причини погіршення стану МУБГ	Більшість із вже відзначених у табл.8.1-8.2 причин, позаяк мова йде про параметрично-інтегральну стійкість малих урболандшафтних басейнових геосистем

Контрольні запитання й завдання до розділу 8:

1. Якими є критеріальні умови оптимізації вимірювання показників ландшафтного різноманіття?
2. Чим зумовлюється умова максимально можливої некорельованості розрахункових показників ландшафтного різноманіття в усіх сусідніх "стільниках"?
3. Поясніть, яким чином виконується умова мінімально можливої помилки визначення показників ландшафтного різноманіття для кожного "стільника".
4. Яку Ви знаєте репрезентативну спільну вихідну характеристику і хоричного, і типового ландшафтного різноманіття?
5. Що таке кількість "реальних" розрахункових "стільників" певного радіуса?
6. Проілюструйте і поясніть послідовність вибору оптимального розміру "стільників" безпосередньо для тестового басейну Росі.
7. Прокоментуйте склад блоку характерних проблем погіршення рівня стану природничої макрогеосистеми дніпровського басейну за водогосподарською групою ознак стану геосистеми.

8. Дайте характеристику блоку характерних проблем погіршення рівня стану природничої макрогеосистеми дніпровського басейну за групою інтегральних і спільних ознак стану геосистеми.
9. Якими є атрибути надмірного та геоекологічно небезпечного антропогенного навантаження на макрогеосистему басейну Дніпра як першопричини погіршення її стану?
10. Чим зумовлено відсутність усталеного розвитку макрогеосистеми басейну Дніпра?
11. Які Ви знаєте геоекологічно-економічно несприятливі глобальні та регіональні натурально-антропогенні процеси?
12. Як Ви розумієте необхідність переважання парадигми про природоохоронні пріоритети розвитку суспільства?
13. За яким принциповим ланцюжком здійснювалася ідентифікації причин погіршення стану тестових малих урболандшафтних геосистем Києва?
14. Прокоментуйте зміст цифрової картограми рівня стану тестових МУБГ річок Києва за ознаками їхньої надійності.

РЕКОМЕНДОВАНІ ПЕРШОДЖЕРЕЛА

Основні:

1. *Самойленко В.М.* Математичне моделювання в геоєкології: навчальний посібник. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2003. – 199 с.
2. *Самойленко В.М.* Навчально-методичний комплекс з математично-модельного та геоінформаційного забезпечення підготовки географів. – К.: Ніка-Центр, 2003. – 84 с.
3. *Самойленко В.М., Верес К.О.* Моделювання урболандшафтних басейнових геосистем: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2007. – 296 с.
4. *Самойленко В.М.* Географічні інформаційні системи та технології: підручник. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 448 с.
5. *Самойленко В.М., Топузов О.М.* Статистичні та стохастичні математичні методи в географії: електронний підручник. – К.: Ніка-Центр, 2011. – CD, ISBN 978-966-521-580-6. – 25,4 д.а.
6. *Самойленко В.М.* Географічні інформаційні системи та технології: електронний підручник. Версія 1.0. – К.: Ніка-Центр, 2012. – CD, ISBN 978-966-521-585-1. – 39,0 д.а.
7. *Самойленко В.М., Діброва І.О.* Модельна ідентифікація берегових геосистем: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 328 с.
8. *Самойленко В.М., Корогода Н.П.* Регіональні та локальні екомережі: підручник. – К.: "Логос", 2013. – 192 с.
9. *Самойленко В.М., Іванок Д.В.* Моделювання басейнових геосистем: монографія. – К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. – 208 с.
10. *Самойленко В.М., Даценко Л.М., Діброва І.О.* Проектування ГІС: підручник (англ. і укр.). – К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. – 256 с.
11. *Самойленко В.М., Діброва І.О., Пласкальний В.В.* Антропізація ландшафтів: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2018. – 232 с.

Додаткові:

12. *Гродзинський М.Д.* Стійкість геосистем до антропогенних навантажень: монографія. – К.: Лікей, 1995. – 233 с.
13. *Самойленко В.М.* Кадастр радіоактивного забруднення водних об'єктів України місцевого водокористування. Том 1. Радіогідроекологічний стан і використання водойм та загальнометодологічні проблеми: монографія. – К.: Ніка-Центр, 1998. – 192 с.
14. *Самойленко В.М.* Комплексне районування радіоактивно забруднених територій Полісся і півночі Лісостепу за гідрологічно-ландшафтними умовами та можливими радіоекологічними наслідками місцевого водоресурсокористування: монографія. – К.: Ніка-Центр, 1999. – 280 с.
15. *Самойленко В.М., Тавров Ю.С., Буянов М.І.* Комплексний радіоекологічний моніторинг водойм місцевого водокористування та методологічно-оптимізувальні рішення стохастичної екологічної гідрології: монографія – К.: Ніка-Центр, 2000. – 136 с.

16. *Самойленко В.М.* Ймовірнісні математичні методи в геоекології: навчальний посібник. – К.: Ніка-Центр, 2002. – 404 с.
17. *Самойленко В.М.* Основи геоінформаційних систем. Методологія: навчальний посібник. – К.: Ніка-Центр, 2003. – 276 с.
18. *Самойленко В.М.* Гідроінвайронментологія: становлення і перспективи // *Фізична географія та геоморфологія.* – 2005. – №47. – С.69-78.
19. *Гродзинський М.Д.* Пізнання ландшафту: місце і простір: монографія у 2-х т. – К.: Київський університет, 2005. – Т.1. – 431 с. – Т.2. – 503 с.
20. *Самойленко В.М., Корогода Н.П.* Геоінформаційне моделювання екомережі: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 224 с.
21. *Самойленко В.М., Маляренко О.С.* Класифікація меж елементів позиційно-динамічної структури ландшафту // *Фізична географія та геоморфологія.* – 2013. – Вип.3(71). – С.62-72.
22. *Гродзинський М.Д.* Ландшафтна екологія: підручник. – К.: Знання, 2014. – 550 с.
23. *Самойленко В.М.* Дидактика географії: монографія / В.М.Самойленко, О.М.Топузов, Л.П.Вішнікіна, О.Ф.Надтока, І.О.Діброва. – К.: Педагогічна думка, 2014. – 586 с.
24. *Самойленко В.М., Олійник Я.Б., Вішнікіна Л.П., Діброва І.О.* Навчання географії: понятійно-термінологічний словник. – К.: Ніка-Центр, 2014. – 352 с.
25. *Самойленко В.М., Маляренко О.С.* Моделювання регіонально-специфічної екомережі: монографія (електронна версія). – К.: Ніка-Центр, 2017. – CD, ISBN 978-966-521-691-9. – 196 с.
26. *Samoylenko V.M., Koulachinsky O.V.* The stochastic scheme/model for first-breaking waves in the surf zone coordinated with spectral regularities and superposition principle of beach/shore deformation agent & results // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO.* – Budapest (Hungary): VITUKI, 1994. – XVII, vol. II. – P.637-642.
27. *Samoylenko V.M.* Development of lakes & reservoirs dynamics and stability information/simulation systems for environmental monitoring and management on Ukraine example // *Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft.* Technische Universität Graz (Austria). – 1996. – Vol. 19/2. – P.C141-C146.
28. *Samoylenko V.M., Tavrov V.M.* Complex Radio-Environmental Regionalization (CRER) of Ukrainian River Basins // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO.* – Bratislava (Slovak Republic) – 2000. – XX. – P.344-349.
29. *Samoylenko V.M.* Radio-Environmental Zoning (REZ) of Ukrainian River Basins: Procedure and Results // Abs. Volume "Balancing Competing Water Uses – Present Status and New Prospects". – Stockholm (Sweden): SIWI, 2002. – P.98-100.
30. *Samoylenko V.M.* Balance of necessary environmental state and social-economic efficiency as condition of river basin security // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO* –

Brno (Czech Republic): CHMI, 2004. – XXII. – CD, ISBN 80-86690-19-9, 5.22.doc (pdf). – 6 p.

31. *Samoilenko V.M.* Procedure for geo-informative modeling of designed ecological network in river basins // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO. – Belgrade (Serbia): IDWR, 2006. – 2006. – XXIII. – CD, ISBN 86-80851-07-8. – 9 p.*
32. *Samoilenko V.M.* Modeling of small urban-landscape river basin geosystems // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO. – Bled (Slovenia), 2008. – XXIIY. – CD, ISBN 978-961-91090-2-1. – 12 p.*
33. *Samoilenko V., Plaskalnyi V.* Modern procedure of landscape anthropization analysis // *Problems of Geography. – 2017. – Vol.1-2. – Sofia: Bulgarian Academy of Science, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography. – P.3-14.*
34. *Samoilenko V., Dibrova I. et al.* Procedure of Landscape Anthropization Extent Modeling: Implementation for Ukrainian Physic-Geographic Taxons // *Environmental Research, Engineering and Management. – 2018. – Vol. 74. – No 2. – P.67-81. – Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ere.m.74.2.20646>.*
35. *Samoilenko V., Dibrova I.* Geocological Situation in Land Use// *Environmental Research, Engineering and Management. – 2019. – Vol. 75. – No 2. – P.36-46. – Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ere.m.75.2.22253>.*

СЛОВНИК ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ

Басейнова геосистема – територіальна одиниця (елемент) басейнової ландшафтної територіальної структури, ядром якого є головний водотік із певною площею водозбору. З огляду на останню розрізняють *середню або велику басейнову геосистему* та *малу басейнову геосистему*.

Береговий макрогеотон (макрогеотон "берегова зона") – специфічна природнича геосистема як певний тип ландшафтної макромези у вигляді буферної геосистеми, яка є перехідною смугою між двома контрастними геосистемами – мезогеосистемою ложа і водних мас водосховища та "ініціальною", що залишилась суходільною після створення водосховища, мезогеосистемою річкової долини. Поділяється на мезогеотони – узбережну, прибережну, хвилеприбійну, заузбережну (метатеральну) та інфра-аква-теральну підзони.

Біоландшафтна територіальна структура (БЛТС) – мережна структура, складниками якої є (квазі)геосистеми БЛТС, за які правлять специфічно поєднані між собою фрагменти синергічно інтегрованих генетико-морфологічної, басейнової та біоцентрично-сітьової ландшафтних територіальних структур. Це фрагменти, які в тому чи іншому вигляді збереглися в природно-натуральному стані в умовах антропогенного тиску й впливу структуро-деструкційних природних чинників або є референційними (реконструйованими) чи відновленими до референційних (див. *(квазі)природна підсистема природничої геосистеми*).

Біоландшафтне різноманіття – інтегральне поняття, що застосовується з огляду на необхідність одночасного системного збереження та/або відновлення і біорізноманіття, і ландшафтного різноманіття, зважаючи й на стохастичні зв'язки між едафічною типологією *природничих геосистем* та генофондною типологією екосистем як біоцентричних модулів цих геосистем.

Геоекологічне модельне районування територій – засноване на використанні геоінформаційних технологій модельне вирішення, визначення складників і тестування рівня стану таксонів районування певного рангу у відповідних компонентах *(квазі)природних підсистем природничих геосистем*. Поділяється на етапи – ініціального структурування, модельної параметризації та оцінювально-функціонального структурування обраних для районування територій.

Геоекологічний моніторинг (геомоніторинг) – багатоцільова модельна геоінформаційна система з відповідною фізичною мережею для відстеження, оцінювання та прогнозування *стану природничих геосистем* зі створенням і веденням просторових баз даних фактографічної геоекологічної інформації з метою ідентифікації джерел геонегативного впливу на геосистеми та підтримки прийняття природоохоронних рішень.

Геостохастичні моделі – моделі розрахунку та прогнозу стану *природничої геосистеми*, які відтворюють просторово-часові значення елементів геопоказників геосистеми визначеної, зокрема спрогнозованої, ймовірності перевищення за потрібними умовами та рівнями і використовуються на часовому, просторовому, просторово-часовому та інших підрівнях.

ГІС (географічна інформаційна система, геоінформаційна система) – інформаційна система, що забезпечує управління (збір, збереження, обробку, доступ до,

відображення, розповсюдження), аналіз і моделювання *просторових (географічних) даних*.

ГІС-інструментарій – 1) програмне забезпечення *географічних інформаційних систем (ГІС)*, яке підтримує створення ГІС і/або той чи інший набір функціональних можливостей ГІС, що вже створена та експлуатується як інформаційна система; 2) програмне забезпечення автономного комп'ютеризованого моделювання *просторових даних*.

Динаміка природничої геосистеми – параметричні збурення геосистеми, спричинені природними чинниками та антропогенним навантаженням. Подається як сукупність обраних детермінованих і випадкових функцій у вигляді відповідних детермінованих чи випадкових процесів і полів для різних рівнів *модельно-параметричної формалізації природничої геосистеми*.

Екологічна мережа (екомережа, екомережна природнича геосистема) – змодельована мережна сукупність (квазі)геосистем *БІЛТС*, початково ідентифікованих і остаточно обраних за заданим набором критеріїв *біоландшафтного різноманіття й стану* цих квазігеосистем з метою їхнього поточного або перспективного збереження, охорони та реабілітації, в ідеалі – для максимально можливого відновлення й підтримання у стійкому стані бажаного за структурою природно-натурального каркаса території заданого регіону моделювання екомережі. За елементи екомережі правлять екомережні ядра (екоядра), екомережні коридори (екокоридори) та буферні зони екоядер і екокоридорів.

(Квазі)природна підсистема природничої геосистеми – сукупність геосистем, які визначеною мірою віддзеркалюють референційний (реконструйований) для моделювання природний стан *природничої геосистеми*, зосібна й гіпотетично-інваріантний.

Ландшафтно-гідрорадіоекологічне районування – різновид *геоекологічного модельного районування територій*, який адекватний їхньому районуванню за ландшафтно-гідрологічними умовами та ймовірними радіоекологічними наслідками основних видів місцевого водокористування та розрахункових видів місцевого загального ресурсокористування.

Мала басейнова геосистема – *басейнова геосистема* з площею водозбору менше 2 тис.км², яка може поділятися на різновиди.

Мала урболандшафтна басейнова геосистема – різновид *малої басейнової геосистеми*, позиційно та структурно-функціонально приурочений до найбільшого за порядком урбанізованого ландшафту.

Модельно-параметрична формалізація природничої геосистеми – задавання геосистеми на різних рівнях за допомогою наборів: груп ознак, показників і параметрів стану геосистеми за основними процесами та умовами у ній, які визначають стан геосистеми (макрорівень); систем компонентів за групами показників і параметрів (мезорівень); систем елементів (*n*-го порядку) за зазначеними компонентами (мікрорівень).

Надійність природничої геосистеми – числова ймовірнісна міра здатності геосистеми виконувати чи посилювати вимогові геопозитивні або обмежувати чи ліквідувати геонегативні *природно-соціально-економічні функції* в заданому просторово-часовому вимірі з імперативним дотриманням умов *стійкості природничої геосистеми*.

Натурально-антропогенна та антропогенна підсистеми природничої геосистеми – сукупності певною мірою антропізованих геосистем – від "суто" натуральних до "суто" штучних (див. *рівень натуральності*).

Об'єкт дослідження (моделювання) – природнича геосистема, природничо-географічний процес чи явище або комбінація цієї геосистеми та процесів/явищ, які визначають її динаміку та стійкість.

Оптимальна ймовірність перевищення ресурсовидатності природничої геосистеми – ймовірність перевищення оптимального для використання об'єму ресурсного потенціалу за умов заданої чи вимогової *надійності природничої геосистеми*.

Параметрична стійкість природничої геосистеми – тип *стійкості природничої геосистеми*, який відображає міру поліваріантної відповідності обраних визначальних параметрів стану геосистеми заданим параметрам, еталонним за властивостями, структурою та типовими особливостями (*квазі*)природної підсистеми геосистеми. Містить підтипи – *параметрично-процесну, параметрично-відновлювальну та параметрично-інтегральну стійкість*.

Параметрично-відновлювальна стійкість природничої геосистеми – підтип *параметричної стійкості природничої геосистеми*, який відображає міру здатності геосистеми до відновлення власних властивостей і особливостей за рахунок складників її *натурально-антропогенної підсистеми* як домінуючих чинників цього відновлення.

Параметрично-інтегральна стійкість природничої геосистеми – підтип *параметричної стійкості природничої геосистеми*, який віддзеркалює міру відповідності комплексних параметрів геосистеми еталонним як інтегральне відображення *рівня її стану* в цілому. Поділяється на види відповідно до певних типів геосистем, зокрема на водно-стокову й водно-якісну стійкості басейнової геосистеми, екомережну структурно-функціональну стійкість тощо.

Параметрично-процесна стійкість природничої геосистеми – підтип *параметричної стійкості природничої геосистеми*, який характеризує міру відповідності еталонним для геопараметрів, які відображають основні структуротвірні та інші процеси і/або наслідки їхньої комбінації в *природничій геосистемі*. Поділяється на види – флювіо-ерозійну, радіогеоекологічну, ацидифікаційну, ґрунтово-самоочищувальну та інші змістово зумовлені види параметрично-процесної стійкості.

Природнича геосистема (природнича географічна система) – складна вкерована природно-натурально-антропогенна система з експлуатацією її ресурсів. Містить чотири генезисно-еволюційні структурно-функціональні *підсистеми*: (*квазі*)природну, *натурально-антропогенну та антропогенну* і каркасних меж.

Природничо-географічна модель – явище, предмет, знакове утворення або умовний образ (опис, схема тощо), які знаходяться у певній відповідності із *об'єктом дослідження (моделювання)* та здатні замінити його в процесі дослідження шляхом подання інформації про цей об'єкт.

Природничо-географічне моделювання – дослідження структури, динаміки та стану *природничих геосистем*, зв'язків і процесів всередині них, між ними та із зовнішнім середовищем за допомогою створення й застосування *природничо-географічних моделей*.

Природно-соціально-економічні функції (ПСЕФ) геосистеми – характеристики виконання природничою геосистемою цільових запитів і вимог ресурсокористувачів, зважаючи на природоохоронні критерії. Розподіляються на два головних типи – геопозитивні ПСЕФ (довкілля-ресурсо-відтворювальні, довкілля-ресурсо-охоронні тощо) й геонегативні ПСЕФ (довкілля-ресурсо-деградаційно-редукційні, "екоризикові" тощо).

Просторові дані (син. **географічні дані, геодані**) – дані щодо просторових об'єктів, які є поєднанням двох складників таких даних – позиційного та атрибутивного (непозиційного), обидва з яких мають і часовий вимір.

Просторові об'єкти – просторові компоненти реального світу, які подаються в цифровій формі для відтворення географічних об'єктів, процесів і явищ та поділяються на п'ять основних типів: точкові об'єкти (точки); лінійні об'єкти (лінії); площинні об'єкти (області, полігони) та об'ємні об'єкти (поверхні), а також просторові об'єкти високого рівня.

Рівень натуральності геосистем – міра успадкованої, набутої чи успадковано-набутої здатності реальних геосистем до нештучної самоорганізації та саморегуляції шляхом самовкервного упорядкування речовинно-енергетичних потоків в єдиній системі. За таких умов провідні чинники та параметри натуральних або близьких до них геосистем можуть бути як схожими, так і геть відмінними від "попередніх до антропізації", втім в усіх випадках повинні визначатися певними нештучними процесами довкілля.

Рівень стану природничої геосистеми – сукупність її властивостей, яка оцінюється за ознаками *стійкості та надійності природничої геосистеми*.

Середня або велика басейнова геосистема – басейнова геосистема з площею водозбору, відповідно, 2-50 тис.км² або більше 50 тис.км², яка містить суббасейнові геосистеми більш низького рангу.

Систематизація природничо-географічних моделей – систематизація таких моделей за: *об'єктом моделювання; призначенням; логікою застосування моделей; способом побудови моделей і способом передавання відношень подібності; певними можливими комбінаціями щойно перелічених критеріїв*.

Стан природничої геосистеми – сукупність змінних в процесі еволюції та антропогенного впливу властивостей геосистеми та/або її підсистем заданого рівня, які тестують у або за визначений момент часу за прийнятими критеріями (див. *рівень стану природничої геосистеми*).

Стійкість природничої геосистеми – здатність складників її (*квазі*)природної підсистеми зберігати в умовах антропогенних і природних впливів на них, насамперед геоecологічно негативних, власні властивості, структуру та класифікаційні особливості головним чином за рахунок саморегуляції, враховуючи підсилення такої регуляції вже реалізованими природоохоронними заходами. Поділяється на типи – *фазову та параметричну стійкість*.

Стохастична структура природничої геосистеми – структура геосистеми, за характеристики якої правлять: спільні або індивідуальні функції розподілу (ймовірностей перевищення) систем або підсистем випадкових функцій геопараметрів чи складників цих систем, які зветься геостохастичними функціями або геофункціями; автокореляційні суто часові та просторово-часові функції; вибіркові функції випадкових функцій геопараметрів різних модифікацій.

Схема діагностики першопричин погіршення стану природничих геосистем – алгоритмічна схема логіко-математичної модельної діагностики першопричин погіршення рівня стану природничих геосистем і головних складників цих першопричин за групами ознак стану геосистем. Зазначене погіршення кваліфікується як відхилення реального рівня стану геосистем від практично позачасового бажаного або оптимального такого рівня, який забезпечує геоecологічну реабілітацію, геоecологічно-економічну рівновагу та усталений розвиток геосистем.

Схема оптимізації режимів управління природничими геосистемами – загальна алгоритмічна схема такої оптимізації, заснована на головній тезі "ефективність геоecологічно-економічно збалансованого управління субструктурами природничих геосистем за доцільними природно-соціально-економічними функціями для видів ресурсів на базі сучасних моніторингових систем і втілення обґрунтованих геоecологічно-стабілізаційних заходів".

Тарифікація природних ресурсів геосистеми – визначення кількості та якості видів ресурсів геосистеми для їхнього платного використання та відтворення.

Фазова стійкість природничої геосистеми – тип стійкості природничої геосистеми, який відображає міру її саморегуляційної здатності, яку поєднано з фазою (етапом) еволюції та/або сукцесії геосистеми в умовах антропогенного впливу. Поділяється на підтипи – фазово-антропізаційну і фазово-етологічну стійкість.

Фазово-антропізаційна стійкість природничої геосистеми – підтип фазової стійкості, який кількісно знаходиться в оберненому зв'язку із ступенем антропізації (квазі)природної підсистеми природничої геосистеми та віддзеркалює міру її "залишкової", на час моделювання, здатності до саморегуляції.

Фазово-етологічна стійкість природничої геосистеми – підтип фазової стійкості, який відображає міру сформованості структури природничої геосистеми та/або збереження її основних структуротвірних відношень. Види і підвиди визначаються типами геосистем і, зокрема, містять гідромережну та вододільно-водозбірну стійкості басейнових геосистем, екомережну фазово-етологічну стійкість тощо.

Примітка. Терміни, вирізані курсивом у визначеннях основних термінів, мають окрему власну дефініцію.

ВИКОРИСТАНІ ПЕРШОДЖЕРЕЛА

1. *Атлас* об'єктів природно-заповідного фонду України. Портал "Природа України" / А.Грачов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pzf.land.kiev.ua>.
2. *Атлас* України (електронна версія) / Інститут географії НАНУ, "ІС ГЕО". – К., 2000.
3. *Беляев В.И.* Теория сложных геосистем. – К.: *Наукова думка*, 1978. – 157 с.
4. *Водна* Рамкова Директива 2000/60/ЄС. Основні терміни та їхнє визначення. – К., 2006. – 240 с.
5. *Глобальна база даних про біорізноманіття / Global Biodiversity Information Facility (GBIF)* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gbif.org/country/UA/summary>.
6. *Гродзинський М.Д.* Ландшафтна екологія: підручник. – К.: *Знання*, 2014. – 550 с.
7. *Гродзинський М.Д.* Основи ландшафтної екології: підручник. – К.: *Либідь*, 1993. – 224 с.
8. *Гродзинський М.Д.* Пізнання ландшафту: місце і простір: монографія у 2-х т. – К.: *Київський університет*, 2005. – Т.1. – 431 с. – Т.2. – 503 с.
9. *Гродзинський М.Д.* Стійкість геосистем до антропогенних навантажень: монографія. – К.: *Лікей*, 1995. – 233 с.
10. *Дані OpenStreetMap / GIS-Lab / Geofabrik* [Електронний ресурс]. – Режими доступу: http://gis-lab.info/projects/osm_shp/region та <http://download.geofabrik.de/europe/ukraine.html>.
11. *ДеМерс, Майкл Н.* Географические информационные системы. Основы: Пер с англ. – М.: *Дата+*, 1999. – 491 с.
12. *Денисик Г.І.* Антропогенне ландшафтознавство: навчальний посібник. – *Вінниця*: ПП "ТД "Едельвейс і К", 2012. – 336 с.
13. *Дмитрук О.Ю.* Урбаністична географія. Ландшафтний підхід. (Методика ландшафтного аналізу урбанізованих територій). – К.: *РВЦ "Київський університет"*, 1998. – 139 с.
14. *Дмитрук О.Ю.* Урбаністична географія з основами урбогеоекології (Ландшафтознавчий аспект). – К.: *ВПЦ "Київський університет"*, 2000. – 140 с.
15. *Дмитрук О.Ю.* Ландшафтно-урбанізаційні системи: конструктивно-географічні основи оптимізації та управління. – К.: *ВГЛ "Обрії"*, 2004. – 216 с.
16. *Дмитрук О.Ю.* Урбанізовані ландшафти: теоретичні та методичні основи конструктивно-географічного дослідження: монографія. – К.: *Обрії*, 2004. – 240 с.
17. *Екологічний атлас Києва*. – К.: *Агентство Інтермедіа*, 2006. – 60 с.
18. *Електронна база даних "Зелена книга України"* / А.П. Грачов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nature.land.kiev.ua/green-book.html>.

19. *Електронна база даних "Червона книга України"* / А.П. Грачов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nature.land.kiev.ua/red-book.html>.
20. *Європейська ландшафтна конвенція*. Міжнародний документ від 20.10.2000 ETS № 176. Ратифіковано Законом України № 2831-IV (2831-15) від 07.09.2005. – *ВВР*. – 2005. – №51, ст.547. – Ел. ресурс: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/994_154.
21. *Керівництво щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля на регіональному рівні* / Затвердж. наказом Мінприроди України № 584 від 14.11.2008 р. – *К.*: 2007. – 10 с.
22. *Київ*. Космофотоатлас. – Інститут передових технологій. – *К.*, 2006.
23. *Конвенція про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті*. – [Електрон. ресурс]. – режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995_272.
24. *Маринич О.М., Шпигунок П.Г.* Фізична географія України: підручник. – 3-тє вид., стер. – *К.*: Т-во "Знання", КОО, 2006. – 511 с.
25. *Методичні рекомендації оцінки екологічної стабільності агроландшафтів та сільськогосподарського землекористування* / А.М. Третьяк, Р.А. Третьяк, М.І. Шквир. – *К.*: Інститут землеустрою УААН, 2001. – 15 с.
26. *Національний атлас України (електронна версія)* / Інститут географії НАНУ, "ІС ГЕО", ДНВП "Картографія", ДСГКК. – 2007. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM).
27. *Ободовський О.Г.* Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). – *К.*: Ніка-Центр, 2001. – 274 с.
28. *Осадчий В.И., Самойленко В.Н., Набиванец Ю.Б.* Информационный менеджмент экологического оздоровления международного бассейна Днепра: монография. – *К.*: Ніка-Центр, 2004. – 152 с.
29. *Охрана ландшафтов: толковый словарь*. – *М.*: Прогресс, 1982. – 272 с.
30. *Паньків З.П.* Земельні ресурси: навчальний посібник. – *Л.*: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 272 с.
31. *Про Генеральну схему планування території України* / Закон України від 07.02.2002 № 3059-III // *Відомості Верховної Ради України*. – 2002. – №30.
32. *Про затвердження Класифікації видів цільового призначення земель* / Наказ Державного комітету України із земельних ресурсів від 23.07.2010 № 548. – 18 с.
33. *Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру* / Постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 р. №1051. – Ел. ресурс: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-n/page>.
34. *Рабочая книга по прогнозированию* / Редкол.: И.В.Бестужев-Лада (отв. ред.). – *М.*: Мысль, 1982. – 430 с.
35. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: словарь-справочник. – *М.*: Мысль, 1990. – 637 с.
36. *Самойленко В.М.* Кадастр радіоактивного забруднення водних об'єктів України місцевого водокористування. Том 1. Радіогідроекологічний стан

- і використання водойм та загальнометодологічні проблеми: монографія. – К.: Ніка-Центр, 1998. – 192 с.
37. *Самойленко В.М.* Комплексне районування радіоактивно забруднених територій Полісся і півночі Лісостепу за гідрологічно-ландшафтними умовами та можливими радіоекологічними наслідками місцевого водо- і ресурсокористування: монографія. – К.: Ніка-Центр, 1999. – 280 с.
 38. *Самойленко В.М., Тавров Ю.С., Буянов М.І.* Комплексний радіоекологічний моніторинг водойм місцевого водокористування та методологічно-оптимізувальні рішення стохастичної екологічної гідрології: монографія – К.: Ніка-Центр, 2000. – 136 с.
 39. *Самойленко В.М.* Ймовірнісні математичні методи в геоекології: навчальний посібник. – К.: Ніка-Центр, 2002. – 404 с.
 40. *Самойленко В.М.* Математичне моделювання в геоекології: навчальний посібник. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2003. – 199 с.
 41. *Самойленко В.М.* Основи геоінформаційних систем. Методологія: навчальний посібник. – К.: Ніка-Центр, 2003. – 276 с.
 42. *Самойленко В.М.* Навчально-методичний комплекс з математично-модельного та геоінформаційного забезпечення підготовки географів. – К.: Ніка-Центр, 2003. – 84 с.
 43. *Самойленко В.М.* Гідроінвайронментологія: становлення і перспективи // *Фізична географія та геоморфологія.* – 2005. – №47. – С.69-78.
 44. *Самойленко В.М., Корогода Н.П.* Геоінформаційне моделювання екомережі: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 224 с.
 45. *Самойленко В.М., Верес К.О.* Моделювання урболандшафтних басейнових геосистем: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2007. – 296 с.
 46. *Самойленко В.М.* Географічні інформаційні системи та технології: підручник. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 448 с.
 47. *Самойленко В.М., Топузов О.М.* Статистичні та стохастичні математичні методи в географії: електронний підручник. – К.: Ніка-Центр, 2011. – CD, ISBN 978-966-521-580-6. – 25,4 д.а.
 48. *Самойленко В.М.* Географічні інформаційні системи та технології: електронний підручник. Версія 1.0. – К.: Ніка-Центр, 2012. – CD, ISBN 978-966-521-585-1. – 39,0 д.а.
 49. *Самойленко В.М., Діброва І.О.* Модельна ідентифікація берегових геосистем: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 328 с.
 50. *Самойленко В.М.* Дидактика географії: монографія (електронна версія) / В.М. Самойленко, О.М. Топузов, Л.П. Вішнікіна, І.О. Діброва. – К.: Ніка-Центр, 2013. – CD (40 Мб), ISBN 978-966-521-619-3. – 570 с.
 51. *Самойленко В.М., Корогода Н.П.* Регіональні та локальні екомережі: підручник. – К.: "Логос", 2013. – 192 с.
 52. *Самойленко В.М., Маляренко О.С.* Класифікація меж елементів позиційно-динамічної структури ландшафту // *Фізична географія та геоморфологія.* – 2013. – Вип.3(71). – С.62-72.

53. *Самойленко В.М.* Дидактика географії: монографія / В.М.Самойленко, О.М.Топузов, Л.П.Вішнікіна, О.Ф.Надтока, І.О.Діброва. – К.: Педагогічна думка, 2014. – 586 с.
54. *Самойленко В.М., Олійник Я.Б., Вішнікіна Л.П., Діброва І.О.* Навчання географії: понятійно-термінологічний словник. – К.: Ніка-Центр, 2014. – 352 с.
55. *Самойленко В.М., Іванок Д.В.* Моделювання басейнових геосистем: монографія. – К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. – 208 с.
56. *Самойленко В.М., Даценко Л.М., Діброва І.О.* Проектування ГІС: підручник (англ. і укр.). – К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. – 256 с.
57. *Самойленко В.М., Маляренко О.С.* Моделювання регіонально-специфічної екомережі: монографія (електронна версія). – К.: Ніка-Центр, 2017. – CD, ISBN 978-966-521-691-9. – 196 с.
58. *Самойленко В.М., Діброва І.О., Пласкальний В.В.* Антропізація ландшафтів: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2018. – 232 с.
59. *Смирнов Н.П., Склярєнко В.Л.* Методы многомерного статистического анализа в гидрологических исследованиях. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. – 192 с.
60. *Українська екологічна енциклопедія: друге видання / За ред. Р. Дяківа.* – К.: МЕФ, 2006. – 808 с.
61. *Шеляг-Сосонко Ю.Р., Гродзинский М.Д., Романенко В.Д.* Концепция, методы и критерии создания экосети Украины. – К.: Фитосоциоцентр, 2004. – 144 с.
62. *Шеляг-Сосонко Ю.Р.* Формування регіональних схем екомережі (методичні рекомендації). – К.: Фитосоциоцентр, 2004. – 71 с.
63. *Шищенко П.Г.* Прикладная физическая география: учебное пособие. – К.: Вища школа, 1988. – 192 с.
64. *Шищенко П.Г.* Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании: монография. – К.: Фитосоциоцентр, 1999. – 284 с.
65. *Шищенко П.Г., Гавриленко О.П.* Геоекологічне обґрунтування проектів природокористування: підручник (ел. версія). – К.: Альтерпрес, 2014. – 414 с.
66. *Шищенко П.Г., Гавриленко О.П.* Конструктивно-географічні основи раціонального природокористування: підручник (ел. версія). – К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. – 395 с.
67. *Шищенко П.Г., Гавриленко О.П., Муніч Н.В.* Геоекологія: теоретичні та практичні аспекти: монографія (ел. версія). – К.: Альтерпрес, 2014. – 468 с.
68. *Angelstam P. et al.* Measurement, Collaborative Learning and Research for Sustainable Use of Ecosystem Services: Landscape Concepts and Europe as Laboratory // *Ambio*. – 2013. – 42(2). – P.129-145.
69. *Bennett G.* Review of Experience with Ecological Networks, Corridors and Buffer Zones / G. Bennett, J. M. Kalemari // *Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series № 23*. – Montreal, 2006. – 100 p.

70. Bossard M. et al. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. Technical report No 40. – Copenhagen: EEA, 2000. – 105 p.
71. Bouwma I.M. et al. Indicative map of the Pan-European ecological network for Central and Eastern Europe: Technical background document. – Tilburg : European Centre for Nature Conservation, 2002. – 166 p.
72. Buček A. et al. Czech approach to implementation of ecological network // *Journal of Landscape Ecology*, 2012. – Vol.5 / No.1. – P.14-28.
73. CCI-LC Map. – European Space Agency, 2015. – Web source: <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer>.
74. Eurostat Statistics Explain: Agri-environmental indicator – landscape state and diversity. – 2012. – Web source: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>.
75. Farina A. Principles and methods in landscape Ecology. Towards a science of landscape. – Dordrecht: Springer, 2006. – 412 p.
76. Fischer H.S., Winter S. et al. Improving Transboundary Maps of Potential Natural Vegetation Using Statistical Modeling Based on Environmental Predictors // *Folia Geobot.* – 2013. – DOI 10.1007/s12224-012-9150-0. – 21 p.
77. Forman R.T.T., Godron M. Landscape Ecology. – New York: John Wiley & Sons, 1986. – 620 p.
78. Forman R.T.T. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. – Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1995. – 632 p.
79. Frank S. Development and Validation of a Landscape Metrics Based Approach for Standardized Landscape Assessment Considering Spatial Patterns. Statement of the PhD Candidate. – Technische Universität Dresden, 2014. – 97 p.
80. Globeland30 Land Cover Map. – National Geomatics Center of China, 2011. – Web source: <http://www.globallandcover.com/GLC30Download>.
81. Guidelines for land use mapping in Australia: principles, procedures and definitions. – Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences. – Fourth edition. – Canberra: Commonwealth of Australia, 2011. – 132 p.
82. Hilty J.A. et al. Corridor ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation. – Washington • Covelo • London: Island Press, 2006. – 324 p.
83. IOER Monitor – Monitor of Settlement and Open Space Development. – Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development, 2015. – Web source: <http://www.ioer-monitor.de>.
84. Jongman R.H.G., Pungetti G. Ecological Networks and Greenways: Concept, Design, Implementation. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 345 p.
85. Kowarik I. Natürlichkeit, Naturnähe und Hemerobie als Bewertungskriterien // In: Otto Fränze, Felix Müller, Winfried Schröder (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften – Grundlagen und Anwendungen der

- Ökosystemforschung*. – Weinheim: Wiley-VCH, 2006. – Vol.16. – VI-3.12. – S.1-18.
86. Lauro G. Simulation Models and GIS Technology in Environmental Planning and Landscape Management // *Journal of Geographic Information System*, 2013. – Vol.5. – P.292-302.
87. MacArthur R.H., Wilson E.O. The theory of Island biogeography. – New Jersey: Princeton University Press, 2001. – 224 p.
88. Malyarenko O., Samoilenko V. Regional ecological networks: developed geoinformation modeling approaches // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. – Budapest, 2015. – III(5), Issue: 41. – P.43-46.
89. Norgaard, R.B. Ecosystem services: From eye-opening metaphor to complexity blinder // *Ecological Economics*. – 2010. – V.69. – P.1219–1227.
90. Paracchini M.L., Capitani C. Implementation of a EU wide indicator for the rural-agrarian landscape. – JRC scientific and technical reports (EUR 25114 EN-2011). – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. – 89 p.
91. Peterseil J., Wrбка T., Plutzer C. et al. Evaluating the ecological sustainability of Austrian agricultural landscapes – the SINUS approach // *Land Use Policy*. – 2004. – Vol.21. – P.307-320.
92. Pijanowski B.C. et al. Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape // *BioScience*. – 2011. – Vol.61. – No.3. – P.203-216. – Available at: <https://academic.oup.com/bioscience/article/61/3/203/238162>.
93. Potschin M., Haines-Young R. Landscapes, sustainability and the place-based analysis of ecosystem services // *Landscape Ecology*. – 2013. – Vol. 28. – Issue 6. – P.1053–1065.
94. Rüdiger J. et al. Distance to nature – A new biodiversity relevant environmental indicator set at the landscape level. – *Ecological Indicators*. – 2012. – V.15. – P.208-216.
95. Samoilenko V.M., Koulachinsky O.V. The stochastic scheme/model for first-breaking waves in the surf zone coordinated with spectral regularities and superposition principle of beach/shore deformation agent & results // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO*. – Budapest (Hungary): VITUKI, 1994. – XVII, vol. II. – P.637-642.
96. Samoilenko V.M. Structure and functional principles for water-management-environmental monitoring creation as a conceptual interface of river basins GIS // *Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft*. Technische Universität Graz (Austria). – 1996. – Vol. 19/2. – P.C135-C140.
97. Samoilenko V.M. Development of lakes & reservoirs dynamics and stability information/simulation systems for environmental monitoring and management on Ukraine example // *Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft*. Technische Universität Graz (Austria). – 1996. – Vol. 19/2. – P.C141-C146.

98. *Samoylenko V.M., Tavrov Y.S.* Creation and exploitation of waterprotective zones (WZ) along water bodies (WB) in the river basins // *Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft*. Technische Universität Graz (Austria). – 1996. – Vol. 19/2. – P.E133-E138.
99. *Samoylenko V.M., Tavrov Y.S.* Development of Field Data Bases on Radioisotope Pollution of Ukrainian Natural & Manmade Lakes and Rivers // *Landschaftsökologie und Umweltforschung*. Institut für Geographie und Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig (Germany). – 1997. – No. 25. – P.235-238.
100. *Samoylenko V.M., Tavrov Y.S.* The establishment of water protection zones for water quality improvement in river basins // *Freshwater Contamination*. – *IAHS Publication no. 243* (United Kingdom). – 1997. – P.385-391.
101. *Samoylenko V.M., Tavrov Y.S.* Waterprotective zones (WZ) as a complex option for minimizing of non-point water pollution from land-based sources // *With rivers to the sea*. – *Sweden, Stockholm: EMECS*. – 1997. – P.325-327.
102. *Samoylenko V.M., Tavrov Y.S.* Radio-ecological risk assessment (RRA) provided by databases of radioisotope pollution of Ukrainian water bodies // *Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes*. – *IAHS Publication no. 249* (United Kingdom). – 1998. – P.261-266.
103. *Samoylenko V.M., Tavrov Y.S.* Standardization and Information Support of Radioecological & Hydroenvironmental Data Bases for Ukrainian Water Objects // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. UNESCO/WMO. – *Zagreb (Croatia): Hrvatske Vode, 1998*. – XIX. – P.183-189.
104. *Samoylenko V.M.* Management of River Basin Ecosystem by Means of Hydrology // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. UNESCO/WMO. – *Zagreb (Croatia): Hrvatske Vode, 1998*. – XIX. – P.479-484.
105. *Samoylenko V.M.* Complex Environmental Region Distribution of Great River Manmade Lakes for Their Sustainable Development // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. UNESCO/WMO. – *Zagreb (Croatia): Hrvatske Vode, 1998*. – XIX. – P.791-796.
106. *Samoylenko V.M., Tavrov V.M.* Complex Radio-Environmental Regionalization (CRER) of Ukrainian River Basins // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. UNESCO/WMO. – *Bratislava (Slovak Republic) – 2000*. – XX. – P.344-349.
107. *Samoylenko V.M.* Radio-Environmental Zoning (REZ) of Ukrainian River Basins: Procedure and Results // *Abs. Volume "Balancing Competing Water Uses – Present Status and New Prospects"*. – *Stockholm (Sweden): SIWI, 2002*. – P.98-100.
108. *Samoylenko V.M.* Balance of necessary environmental state and social-economic efficiency as condition of river basin security // *Hydrological Fore-*

- casting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO – Brno (Czech Republic): CHMI, 2004. – XXII. – CD, ISBN 80-86690-19-9, 5.22.doc (pdf). – 6 p.*
109. *Samoylenko V.M.* Procedure for geo-informative modeling of designed ecological network in river basins // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO. – Belgrade (Serbia): IDWR, 2006. – 2006. – XXIII. – CD, ISBN 86-80851-07-8. – 9 p.*
 110. *Samoylenko V.M.* Modeling of small urban-landscape river basin geosystems // *Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO. – Bled (Slovenia), 2008. – XXIV. – CD, ISBN 978-961-91090-2-1. – 12 p.*
 111. *Samoilenko V., Plaskalni V.* Modern procedure of landscape anthropization analysis // *Problems of Geography. – 2017. – Vol.1-2. – Sofia: Bulgarian Academy of Science, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography. – P.3-14.*
 112. *Samoilenko V., Dibrova I. et al.* Procedure of Landscape Anthropization Extent Modeling: Implementation for Ukrainian Physic-Geographic Taxons // *Environmental Research, Engineering and Management. – 2018. – Vol. 74. – No 2. – P.67-81. – Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.irem.74.2.20646>.*
 113. *Samoilenko V., Dibrova I.* Geocological Situation in Land Use// *Environmental Research, Engineering and Management. – 2019. – Vol. 75. – No 2. – P.36-46. – Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.irem.75.2.22253>.*
 114. *Spatial Data Infrastructure Cookbook: Manual. – GSDI Association, 2009. – 150 p.*
 115. *Terrestrial habitat mapping in Europe: an overview. – EEA, 2014. – 152 p.*
 116. *The European Environment State and outlook 2005. – Copenhagen: European Environmental Agency, 2005. – 570 p.*
 117. *Turner M.G. et al.* Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. – *Berlin: Springer, 2001. – 417 p.*
 118. *UNEP project manual: formulation, approval, monitoring and evaluation. – UNEP, 2005. – 126 p.*
 119. *Walz U., Stein C.* Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany // *Journal for Nature Conservation. – 2014. – Vol.22. – P.279-289.*
 120. *Winter S.* Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management // *Forestry. – 2012. – Vol.85, No.2. – P.293-304.*
 121. *Wrbka T. et al.* Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators // *Land Use Policy. – 2004. – V.21(3). – P.289-306.*
 122. *Zebisch M. et al.* Landscape response functions for biodiversity – assessing the impact of land-use changes at the county level // *Landscape and Urban Planning. – 2004. – V.67. – P.157-172.*

Веб-джерела

123. <http://www.goldensoftware.com>
124. <http://www.esti-map.com>
125. <http://pcraster.geo.uu.nl>
126. <http://www.esri.com>
127. <http://www.earth.google.com>
128. <http://www.gsdi.org>

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВЕ ВИДАННЯ

САМОЙЛЕНКО Віктор Миколайович
ДІБРОВА Іван Олександрович

ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Підручник

Текст наведено в авторській редакції

Підписано до друку 25.09.2019. Папір офсетний. Друк офсетний.
Обл.-вид. арк. 27,17. Умовн. друк. арк. 35,05. Формат 70x100/16.
Наклад 300 пр.

Видавництво «Ніка-Центр». 03142, Київ, вул. Кржижановського, 4.
т./ф. (044) 39-011-39; e-mail: psyhea9@gmail.com; www.nika-centre.kiev.ua
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК №5368 від 27.06.2017

Віддруковано у ТОВ «ДІА». 03022, Київ, вул. Васильківська, 45.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК №1149 від 12.12.2002