

## **СТВОРЕННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ПРОГНОСТИЧНИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ГЛИБИНИ ЗАЛЯГАННЯ РІВНІВ ГРУНТОВИХ ВОД**

*Л.І. Давибіда*

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342) 504761;  
e-mail: *davybida@yandex.ua*

*Розроблено методологію довгострокового регіонального прогнозування природного режиму ґрунтових вод на основі геоінформаційного підходу. Для досліджуваних територій Житомирської та Дніпропетровської областей створено бази картографічних та фактографічних даних, які характеризують природний багаторічний режим ґрунтових вод. Виділення районів, де слід очікувати однозначних змін положень рівня ґрунтових вод, проведено на основі ГІС-технологій інформаційного та просторового аналізу з урахуванням розміщення груп свердловин-аналогів та існуючих схем гідрогеологічного районування території України.*

*Кінцевим результатом досліджень є прогнозні ряди забезпеченості рівнів ґрунтових вод, представлені у вигляді серій картограм по виділених районах. Для років максимальної на прогнозний період водності на основі відповідних картограм створено геоінформаційні моделі абсолютних глибин залягання рівнів ґрунтових вод досліджуваних територій. Додатково побудовано картографічні регіональні моделі прогнозної забезпеченості рівнів у вигляді картодіаграм, що дозволяють візуалізувати територіальний розподіл прогнозної забезпеченості рівнів ґрунтових вод та її мінливість протягом певного часового інтервалу.*

*Результати досліджень є основою для побудови геоінформаційної системи прогнозування режиму рівнів ґрунтових вод та її адаптації для інших територій при збереженні запропонованої методології досліджень.*

Ключові слова: гідрогеологічне районування, інформаційний аналіз, просторовий аналіз, ґрид.

*Разработана методология долгосрочного регионального прогнозирования естественного режима ґрунтовых вод на основе геоинформационного подхода. Для исследуемых территорий Житомирской и Днепропетровской областей созданы базы картографических и фактографических данных, характеризующие естественный многолетний режим ґрунтовых вод. Районы ожидаемых изменений уровня ґрунтовых вод выделены на основе геоинформационных технологий информационного и пространственного анализа с учетом размещения групп скважин-аналогов и существующих схем гидрогеологического районирования территории Украины.*

*Конечным результатом исследований являются прогнозные ряды обеспеченности уровней ґрунтовых вод, представленные в виде серий картограм по выделенным районам. Для годов максимальной на прогнозный период водности на основе соответствующих картограм созданы геоинформационные модели абсолютных глубин залегания уровней ґрунтовых вод исследуемых территорий. Дополнительно построены картографические региональные модели прогнозной обеспеченности уровней в виде картодиаграмм, позволяющие визуализировать территориальное распределение прогнозной обеспеченности уровней ґрунтовых вод и ее изменчивость в определенном временном интервале.*

*Результаты исследований являются основой для построения геоинформационной системы прогнозирования режима уровней ґрунтовых вод и ее адаптации для остальных территорий при сохранении предложенной методологии исследований.*

Ключевые слова: гидрогеологическое районирование, информационный анализ, пространственный анализ, ґрид

*The methodology of the long-time regional prediction of the groundwater natural drive based on the geoinformation approach was developed. For the investigated areas of Zhytomyr and Dnipropetrovsk regions cartographic and factographic databases, characterizing the natural long-term groundwater drive were worked out. The areas of the anticipated change in the groundwater level were singled out on the basis of GIS-technology of the information and spatial analysis, considering the location of analogous wells and hydrogeological zoning of the territory of Ukraine.*

*The final research result is presented by the predictive rows of groundwater level content, presented as a series of cartograms according to the selected zones. For years with the maximum water content for the forecast period, the geoinformation models of groundwater levels for the analyzed territories were developed based on the relevant cartogram of the absolute depth of occurrence. Besides, the regional cartographic models of the predictive content of levels were developed as diagrammatic charts allowing visualizing the spatial distribution of the predictive content of groundwater levels and its variability over a certain time interval.*

*The research results serve as the basis for developing of the geoinformation system for prediction of the groundwater level drive and its adaptation to the other areas with application of the proposed research technique.*

Keywords: hydrogeological zoning, information analysis, spatial analysis, ґрид.

Дефіцит у світі (і в Україні зокрема) якісних водних ресурсів і розвиток негативних екогенних геологічних процесів, пов'язаних із діяльністю підземних вод, є основними чинни-

ками, що зумовлюють необхідність постійного моніторингу і вивчення закономірностей природного й техногенного рівнів розвитку підземної гідросфери, прогнозування її можливих

змін. На особливу увагу заслуговують ґрунтові води, які характеризуються інтенсивним водообміном і найбільш тісним зв'язком із зовнішніми чинниками формування, живлення та розвантаження.

Важливість вказаних проблем зумовлює значну зацікавленість з боку численних дослідників. Фундаментальними роботами щодо вирішення питань вивчення закономірностей і умов формування природного режиму ґрунтових вод, складання різнопланових гідрогеологічних прогнозів є роботи таких авторів: М.Е. Альтовського [1], А.А. Коноплянцева [2], В.С. Ковалевського [3, 4], Г.Шинкаревського [5, 6]. Про актуалізацію проблем вивчення і прогнозування гідрогеологічного режиму в останні роки свідчить також велика кількість науково-дослідних фундаментальних та прикладних робіт, серед яких варто згадати праці вітчизняних та зарубіжних науковців В.М. Шестопалова [7], Є.О. Яковлева [8, 9], С.М. Семенова [10], С.А. Рубана [11], О.Є. Кошлякова [12], М. Kabir, G. Mudd [13] та ін.

Аналіз існуючих досліджень у сфері гідрогеологічного прогнозування свідчить, що проблема складання достовірних довгострокових регіональних прогнозів природного режиму рівнів ґрунтових вод залишається невирішеною. Дослідники даної тематики відзначають багатофакторність багаторічного природного гідрогеодинамічного режиму, визначаючи його як інтегральну функцію впливу комплексу динамічних режимоутворювальних чинників, який проявляється у специфічних умовах формування режиму. Багаторічна мінливість рівнів ґрунтових вод характеризується наявністю циклічних коливань, пов'язаних зі зміною умов живлення і розвантаження підземних вод у багаторічному плані, відповідно до динаміки режимоутворювальних чинників. Такі особливості формування багаторічного природного режиму рівнів обумовлюють доцільність використання для його аналізу і прогнозування комплексу ймовірно-статистичних методів [14, 15]. Особливості клімату, тектоніки, геологолітологічної будови, рельєфу і гідрографічної мережі є чинниками, які визначають закономірності поширення, режиму та формування підземних вод. Необхідним етапом узагальнення регіональних досліджень, на якому відбувається систематизація різнопланових матеріалів для найбільш повного і логічного подання гідрогеологічних закономірностей будови, розвитку та просторового розміщення підземних вод, є гідрогеологічне районування [11]. Існуючі схеми районування України побудовані за принципом структурної однорідності гідрогеологічних районів або ж за принципом фізичної аналогії й спрямованості гідрогеофільтраційних процесів, що розглядаються. Відмітимо, що гідрогеологічного районування території України у відповідності до гідрогеодинамічної аналогії багаторічних коливань рівня підземних вод на сьогодні не існує. Тому актуальними також залишаються проблеми дослідження закономірностей змін у часі та просторі режимоутворювальних чинни-

ків, перш за все кліматичних (гідрометеорологічних), і аналізу однорідності просторово-часової мінливості елементів гідрогеологічного режиму. Для підвищення ефективності моніторингових гідрогеологічних досліджень, урахування просторової неоднорідності режимоутворювальних умов і чинників, вирішення завдання екстраполяції результатів прогнозу, отриманого для локального пункту спостереження, на оточуючі території є необхідним проведення просторового аналізу з використанням геоінформаційних технологій [16, 17].

Метою даного дослідження є реалізація регіонального довгострокового (до 10-15 років) прогнозу природного режиму рівнів ґрунтових вод для територій із різними умовами формування режиму і створення прогнозних картографічних моделей на основі використання геоінформаційних технологій.

Для досягнення поставленої мети було виокремлено наступні завдання:

- удосконалити методологію регіонального довгострокового прогнозування природного режиму рівнів ґрунтових вод на основі застосування геоінформаційного підходу і здійснити її апробацію для досліджуваних регіонів;
- враховуючи синхронність багаторічного режиму рівнів ґрунтових вод досліджуваних територій, встановити межі районів із однорідним режимом;
- відобразити результати прогнозування природного режиму рівнів ґрунтових вод досліджуваних регіонів у вигляді геоінформаційних моделей.

Для реалізації зазначених завдань було застосовано методи інформаційного і просторового аналізу, математичного і картографічного моделювання з використанням ГІС-технологій.

Як модельні полігони обрано території Житомирської та Дніпропетровської областей.

Вибір полігонів диктувався, перш за все, наявністю достатньо тривалих рядів (не менше 25-30 років) безперервних спостережень за багаторічними коливаннями рівня підземних вод, а також достатнім вивченням територіальних умов і чинників формування гідрогеологічного режиму. Важливою умовою для підтвердження універсальності запропонованого алгоритму досліджень є розташування досліджуваних територій у різних геологоструктурних і ландшафтно-кліматичних зонах. Додатковою обставиною, яка визначає необхідність вивчення динамічного режиму ґрунтових вод модельних полігонів, є актуальність таких досліджень для України та її окремих регіонів. Таким чином, для розробки і відпрацювання методики довгострокового прогнозування природного режиму рівнів залежно від мінливості комплексу природних режимоутворювальних чинників обрано адміністративні регіони з різними рівнями техногенного навантаження на геологічне середовище, територіально розташовані в основному у зонах надмірного (Житомирська область) і нестійкого зволоження (Дніпропетровська область).

Суттєві відмінності умов формування режиму і режимоутворювальних чинників дають змогу підтвердити універсальність запропонованого алгоритму, а його реалізація для досліджуваних територій – започаткувати вирішення проблем регіонів, пов'язаних із необхідністю врахування мінливості рівнів ґрунтових вод, зокрема прогнозування періодів активізації зумовлених природними чинниками процесів підтоплення, переоцінки ресурсів підземних вод і планування їх експлуатації для господарсько-питного і промислового водопостачання.

У даній публікації за початкову просторову основу, яка характеризує режимоутворювальні умови територій досліджуваних регіонів, вибрано:

1) схему районування за умовами формування ґрунтових вод (розроблену в ДВ УкрДГРІ і докладно описану в роботі [11]) відповідно до геолого-структурного принципу гідрогеологічного районування, який враховує неоднорідність земної кори за складом і будовою. Цей вид районування безпосередньо використовується для роботи служби моніторингу підземних вод, зокрема для складання різного роду гідрогеологічних оцінок і прогнозів. В основу цієї схеми покладено виділення регіонів, що охоплюють найбільші геоструктурні одиниці – гідрогеологічні масиви (басейни пластово-блокових і тріщинно-жильних вод) і артезіанські басейни (басейни пластових вод). Дрібнішими таксономічними одиницями є гідрогеологічні райони, які являють собою територіально виражену частину басейну підземних вод, яка характеризується специфічним поєднанням геологічної будови, рельєфу, кліматичних, гідрологічних та в кінцевому підсумку гідрогеологічних умов [11];

2) схему функціонального районування за басейновим принципом (за умовами формування водообміну у верхньому гідрогеологічному поверсі), розроблену дослідниками ІГН НАНУ [18, 19]. Система вивчення підземного стоку ґрунтується на динамічних особливостях об'єктів, виділених за принципом єдності потоків підземних вод від областей формування стоку до його основного розвантаження, яке контролюється єдиним замкненим балансом підземних вод. У межах гідрогеологічних структур виділяють водообмінні басейни першого порядку, які характеризуються єдиним або близьким трендовим напрямком регіонального водообміну. Ієрархія даного районування наступна: виділяють басейни стоку морів (регіони) і основних річок, що впадають у моря (провінції). Наступний рівень районування враховує особливості гідрогеологічних умов і близькі трендові напрямки латерального водообміну, завдяки чому об'єднують басейни підземного стоку річок у рамках єдиних одиниць районування (округів), в межах яких виділяють підокруги, що відповідають водообмінним басейнам приток головних річок різних рангів. Водообмінні басейни, розміри і межі яких у природних умовах, як правило, визначаються розмірами та конфігурацією річкових басейнів, доцільно роз-

глядати як характерні системи із однорідним режимом при прогнозуванні змін рівня ґрунтових вод – частини підземної гідросфери, яка найбільш тісно пов'язана із зовнішніми поверхневими чинниками формування живлення та розвантаження підземних вод.

Обрані регіони (особливо Дніпропетровська область) відзначаються значною складністю геологічної будови і диференціацією ландшафтно-кліматичних умов, що, у свою чергу, позначається на гідрогеологічних умовах, регіональних водообмінних процесах, а отже, й на режимі ґрунтових вод. Зазначені особливості відображаються як у статичній схемі гідрогеологічного районування за умовами формування підземних вод відповідно до геолого-структурного принципу, так і в динамічній схемі функціонального районування за басейновим принципом (за умовами формування водообміну у верхньому гідрогеологічному поверсі).

Як просторову основу гідрогеологічного моделювання і прогнозування взято розроблену картографічну базу даних регіонального масштабу 1:1 000 000 у середовищі ГІС MapInfo Professional (картографічна проекція Гаусса-Крюгера; Пулково, 1942, зона 6). Геобаза включає цифрові картографічні шари топографічної основи Житомирської і Дніпропетровської областей, кліматичного зонування, гідрогеологічного районування за геологоструктурним і водообмінним принципами, а також шари точкових об'єктів – постів моніторингу режиму ґрунтових вод і мінливості метеорологічних і гідрологічних режимоутворювальних чинників. Для схем гідрогеологічного районування в межах досліджуваних полігонів індексация районів наведена відповідності до [11, 19].

Зіставлення схем гідрогеологічного районування (рис. 1, 2) свідчить про суттєву невідповідність контурів районів, виділених за різними принципами в межах досліджуваних областей, що підтверджується шляхом проведення інформаційного аналізу, який базується на використанні основної функції теорії інформації – ентропії [20]. Головним засобом оцінки ентропії картографічних об'єктів є коефіцієнт взаємної відповідності  $K(AB)$ . Коефіцієнт взаємної відповідності ареалів гідрогеологічних районів на картах  $A$  і  $B$ , побудованих за різними принципами районування, визначається за формулою:

$$K(AB) = \frac{T(AB)}{E(AB)}, \quad (1)$$

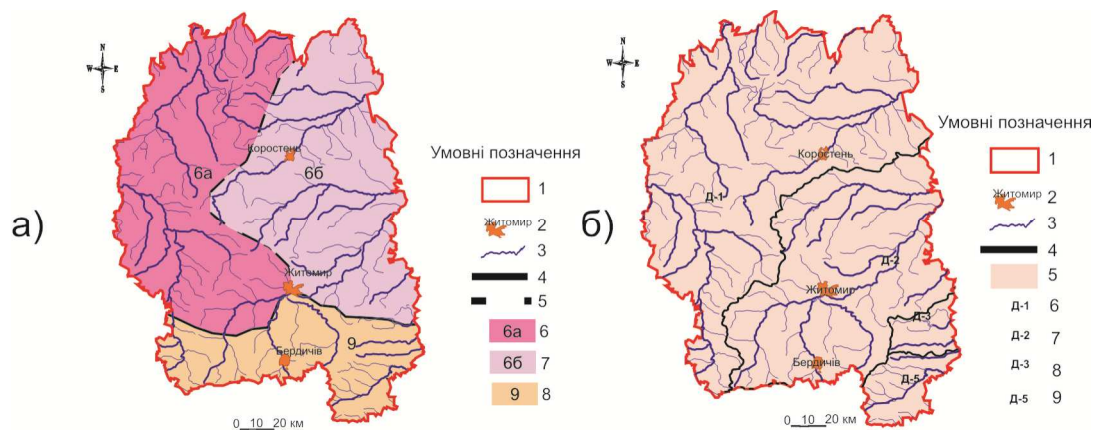
де  $T(AB)$  – показник зменшення сумарної неоднорідності просторового розподілу показників  $A$  і  $B$  при їх суміщенні, що описується виразом:

$$T(AB) = E(A) + E(B) - E(AB), \quad (2)$$

де  $E(A)$  і  $E(B)$  – значення ентропії для кожної з карт;

$E(AB)$  – ентропія суміщеного зображення.

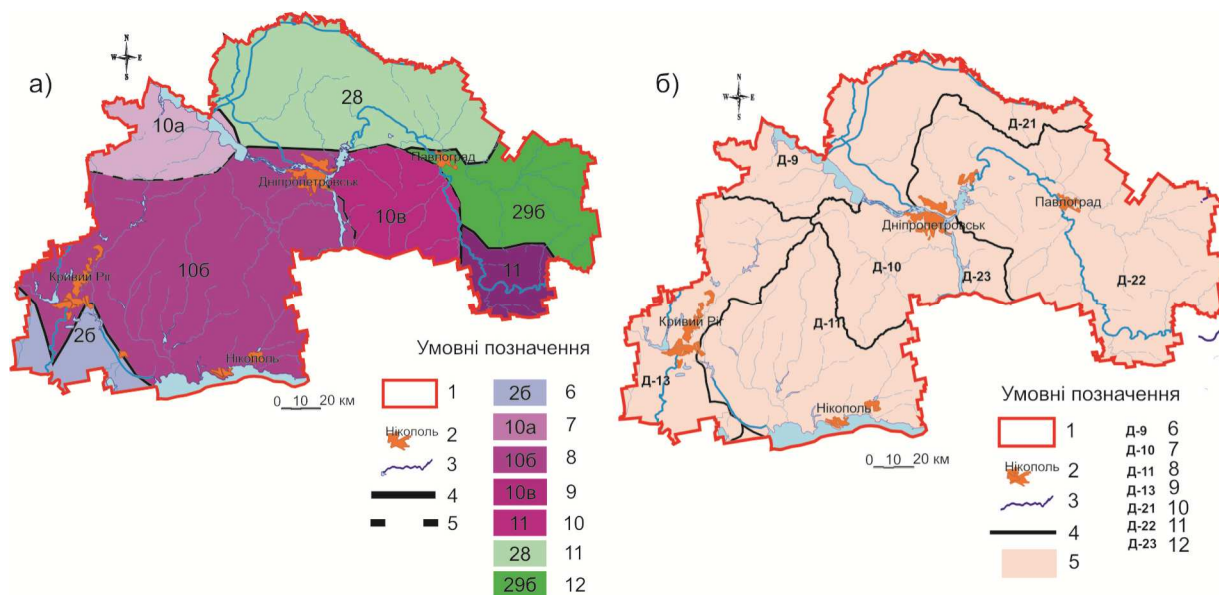
Наведені складові визначаються у відповідності до відомої формули Шенона:



а) геолого-структурне районування за умовами формування ґрунтових вод: 1 – межі адміністративного регіону; 2 – населені пункти; 3 – річки і водотоки; 4 – межі гідрогеологічних районів; 5 – межі гідрогеологічних підрайонів; 6 – Житомирсько-поліський район; 7 – Західний підрайон; 8 – Східний підрайон; 9 – Північнопридніпровський район

б) функціональне районування за басейновим принципом (за умовами формування водообміну у верхньому гідрогеологічному поверсі): 1 – межі адміністративного регіону; 2 – населені пункти; 3 – річки і водотоки; 4 – межі гідрогеологічних округів (районів II рівня); 5 – гідрогеологічна провінція (район I рівня) р. Дніпро; 6 – водообмінний басейн р. Прип'яті; 7 – водообмінний басейн р. Тетерів; 8 – водообмінний басейн р.Ірпінь; 9 – водообмінний басейн р. Рось

Рисунок 1 – Гідрогеологічне районування Житомирської області



а) геолого-структурне районування за умовами формування ґрунтових вод: 1 – межі адміністративного регіону; 2 – населені пункти; 3 – річки і водотоки; 4 – межі гідрогеологічних районів; 5 – межі гідрогеологічних підрайонів; 6 – межі гідрогеологічних басейнів; 7 – Український басейн напірних тріщинно-жильних вод; 8 – Донецький басейн пластово-блокових напірних вод; 9 – Причорноморський басейн пластових напірних вод; 10 – Бузько-Дніпровський район; 11 – Східнопридніпровський район; 12 – Середньопридніпровський підрайон;

13 – Інгуло-інгулецький підрайон; 14 – Задніпровський підрайон; 15 – Гуляйпільський район; 16 – Орільсько-Самарський район; 17 – Кальміус-Торецький підрайон Західнодонецького району  
 б) функціональне районування Дніпропетровської області за басейновим принципом (за умовами формування водообміну у верхньому гідрогеологічному поверсі): 1 – межі адміністративного регіону; 2 – населені пункти; 3 – річки і водотоки; 4 – межі гідрогеологічних округів (районів II рівня); 5 – гідрогеологічна провінція (район I рівня) р. Дніпро; 6 – водообмінний басейн правобережжя Кременчуцького водосховища; 7 – водообмінний басейн р. Мокра Сура; 8 – водообмінний басейн рр. Базавлука – Томаківки; 9 – водообмінний басейн р. Інгулець; 10 – водообмінний басейн р. Оріль; 11 – водообмінний басейн р. Самари; 12 – водообмінний басейн лівобережжя Дніпровського водосховища

Рисунок 2 – Гідрогеологічне районування Дніпропетровської області

$$E(A) = -\sum_{i=1}^n \omega_{a_i} \cdot \log_2 \omega_{a_i}, \quad (3)$$

$$E(B) = -\sum_{j=1}^m \omega_{b_j} \cdot \log_2 \omega_{b_j}, \quad (4)$$

$$E(AB) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_{ab_{ij}} \cdot \log_2 \omega_{ab_{ij}}, \quad (5)$$

де  $\omega_{a_i}$  – частота ареалів районів на карті *A*;  
 $\omega_{b_j}$  – частота ареалів районів на карті *B*;  
 $\omega_{ab_{ij}}$  – частота співпадіння ареалів районів при суміщенні карт *A* і *B*.

Значення коефіцієнта взаємної відповідності змінюються від 0 до 100%. Якщо  $K(AB) = 100\%$ , то явища, зображені на картах *A* і *B*, повністю відповідають одне одному за властивостями їх просторового поширення. Якщо ж  $K(AB) = 0\%$ , то явища не пов'язані між собою [20].

Коефіцієнт взаємної відповідності є кількісним критерієм відповідності гідрогеологічних районів, виділених за різними принципами, на картах. Його розрахунок здійснено з використанням можливостей ГІС. Першочергово була побудована інформаційна сітка (грід) з кроком 2×2 км. Таким чином, ми отримали для Житомирської області 7754, а для Дніпропетровської 8327 вузлів-точок. Потім для кожного вузла сітки з використанням оверлейного аналізу в середовищі ГІС була визначена приналежність до конкретних районів, виділених за різними принципами. Надалі були розраховані значення ентропії окремих схем і їх суміщень за формулами (2)–(5), а також коефіцієнта взаємної відповідності за формулою (1). При цьому частоти ареалів визначаються відповідно як

$$\omega_{a_i} = \frac{N_{a_i}}{N}, \quad (6)$$

$$\omega_{b_j} = \frac{N_{b_j}}{N}, \quad (7)$$

$$\omega_{a_i b_j} = \frac{N_{a_i b_j}}{N}, \quad (8)$$

де  $N$  – загальна кількість точок грід-сітки для досліджуваної території,

$N_{a_i}$  – кількість точок, які за результатами оверлейного аналізу належать *i*-ому району карти *A*,

$N_{b_j}$  – кількість точок, які за результатами оверлейного аналізу належать *j*-ому району карти *B*,

$N_{a_i b_j}$  – кількість точок, які за результатами оверлейного аналізу при суміщенні карт *A* і *B* є спільними для *i*-ого та *j*-ого районів.

Для досліджуваних територій Дніпропетровської та Житомирської областей коефіцієнти взаємної відповідності, розраховані з використанням функції ентропії, становлять 38% і 32% відповідно. Тобто через застосування різних принципів (статичного і динамічного) до районування за умовами формування ґрунтових вод,

взаємозв'язок між схемами слабкий [21], хоча деяка відповідність простежується. Відсутність детермінованих зв'язків просторового розміщення і конфігурації районів, виділених за різними принципами, зумовлює необхідність урахування обох згаданих схем гідрогеологічного районування в якості початкової просторової основи для комплексної оцінки умов формування режиму підземних вод.

Для екстраполяції результатів прогнозування, отриманих для окремого спостережного пункту, необхідно провести уточнення існуючих схем гідрогеологічного районування з урахуванням територіальної синхронності режиму.

Об'єктивний аналіз багаторічних змін рівня ґрунтових вод і встановлення територіальної однорідності при гідрогеологічному районуванні, прогнозуванні та виявленні територіальних закономірностей гідрогеодинамічного режиму передбачає застосування кількісних методик оцінки, перш за все кореляційного аналізу зв'язків мінливості рівнів і режимоутворювальних чинників, що її обумовлюють. Отримані результати й аналіз розташування спостережних пунктів по території дослідження дали змогу виділити групи свердловин-аналогів, близьких за багаторічною мінливістю рівнів, і намітити межі ділянок з умовно однорідним багаторічним режимом, де слід очікувати синхронності в коливаннях рівня ґрунтових вод [16, 17].

Для зонування територій і встановлення найбільш вірогідних границь багаторічної синхронності використано метод полігонів Тіссена-Вороного із застосуванням вбудованої функції ГІС MapInfo Professional для множини свердловин у межах досліджуваних регіонів. Цей метод дозволяє визначити геометричну сукупність точок, відстань яких до конкретного спостережного пункту менша, ніж відстань до будь-якого іншого. Полігони Тіссена-Вороного, побудовані для точок із аналогічним режимом, об'єднуються. Таким чином, виділяємо зони, які з найбільшою вірогідністю характеризуються однорідними гідрогеологічними умовами і впливом режимоутворювальних чинників. Початкову робочу карту отримуємо з урахуванням зонування територій за ступенем зволоження і конфігурації гідрографічної мережі.

Результати обчислення за формулами (1) – (8) коефіцієнтів взаємної відповідності між картами зон імовірної однорідності багаторічного режиму і схемами районування за умовами формування ґрунтових вод, наведені у табл. 1, свідчать про відсутність детермінованих зв'язків між багаторічною синхронністю режиму та гідрогеологічними умовами, що підтверджує гіпотезу про обумовленість багаторічної синхронності перш за все явищами атмосферної циркуляції [2-4, 10]. Результуючі схеми територіальної синхронності побудовані шляхом послідовного накладання і генералізації картографічних шарів ділянок, де найімовірніше слід очікувати однорідності у багаторічній мінливості рівнів, і схем гідрогеологічного районування.

Таблиця 1 – Оцінка взаємної відповідності між зонами синхронності багаторічної мінливості природного режиму і картами гідрогеологічного районування у межах досліджуваних територій

Принцип районування	E(A)	E(B)	E(AB)	T(AB)	K(AB), %
	Житомирська область				
Зони синхронності – гідрогеологічні райони, виділені за геолого-структурним принципом	1,54	1,33	2,15	0,72	33,5
Зони синхронності – гідрогеологічні райони, виділені за водообмінним принципом	1,54	1,49	2,36	0,67	28,4
Дніпропетровська область					
Зони синхронності – гідрогеологічні райони, виділені за геолого-структурним принципом	2,35	2,26	3,56	1,05	29,5
Зони синхронності – гідрогеологічні райони, виділені за водообмінним принципом	2,35	2,15	3,28	1,22	37,2

Таким чином, для території Житомирської області виділено три райони із суттєвими для регіонального рівня досліджень відмінностями у формуванні режиму рівнів ґрунтових вод (рис. 3).

За багаторічною синхронністю режиму рівнів ґрунтових вод територію Дніпропетровської області розділено на шість районів, кожен з яких має свої характерні риси формування режиму (рис. 4).

Для виділених, умовно однорідних за багаторічним природним режимом рівнів ґрунтових вод районів, які є геоінформаційною основою для аналізу і прогнозування природного гідрогеодинамічного режиму, розраховано регіонально узагальнені ряди мінливості положення рівня ґрунтових вод [22, 23], що є вхідними даними для складання довгострокових прогнозів положення рівня ґрунтових вод досліджуваних територій.

Заключним етапом проведеного аналізу є візуалізація результатів довгострокового прогнозу шляхом складання регіональних карт прогнозної забезпеченості глибини залягання рівнів ґрунтових вод з використанням засобів геоінформаційного моделювання (насамперед рангових картограм і картодіаграм) у середовищі інструментальної ГІС MapInfo.

Метод рангових картограм базується на класифікації виділених районів за заданим атрибутом (прогнозній забезпеченості рівнів ґрунтових вод). Райони, що відносяться до одного класу, виводяться на карту однотипно. Візуалізація за допомогою картограм природним чином вирішує проблему зонування території, виділення груп районів із близькими значеннями прогнозного параметра. Серії картограм можуть слугувати часовою складовою для створення аналітичної геоінформаційної системи довгострокового прогнозування режиму рівнів підземних вод.

Картодіаграми відображають розподіл прогнозних даних за допомогою діаграм, локалізованих по виділених одиницях територіального розподілу. Побудова синтетичних карто-

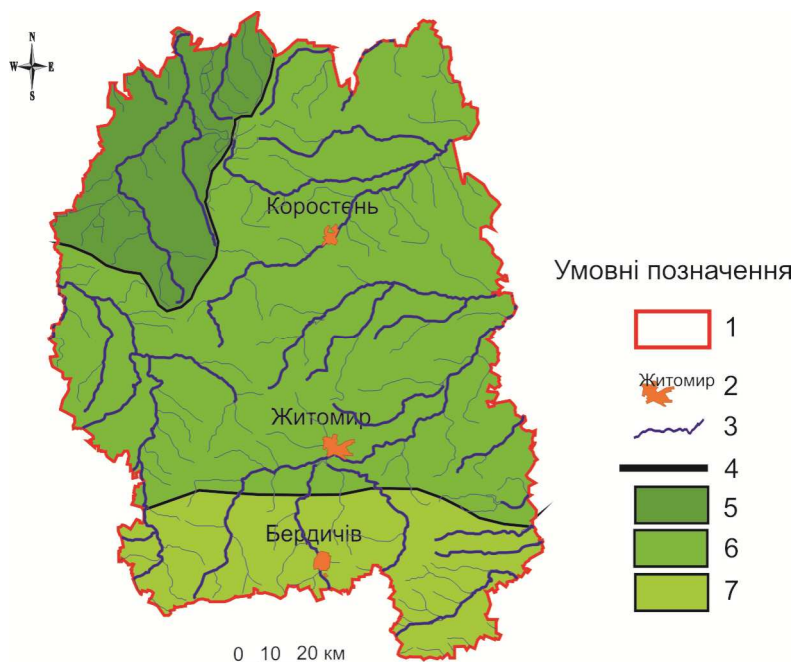
графічних моделей з використанням картограм і картодіаграм дозволяє відображати множини прогнозних характеристик на одній карті, а також відображати їх просторово-часовий взаємозв'язок [24]. Додатково були створені динамічні геоінформаційні прогнозні моделі, що дають наочне відображення територіального розподілу прогнозованої забезпеченості рівнів ґрунтових вод та її мінливості протягом визначеного часового інтервалу (2011-2017 рр.).

Отримані часові прогнози, відображені у вигляді просторових геоінформаційних моделей, дають змогу оцінити тенденції мінливості рівнів і тим самим підвищити достовірність прогнозного картографування рівнів ґрунтових вод. Так, у даному дослідженні як просторова основа використані векторизовані карти середньобагаторічного положення рівнів ґрунтових вод (для прогнозованої оцінки) Житомирської і Дніпропетровської областей у масштабі 1:750 000 (Жукова В.І., Николишина А.В., Матяш В.О., 1997). Досліджувані території було розділено на квадрати 1000×1000 м. Із вузлів квадратів створено нові картографічні шари (грід-сітки), що містили 121 692 точки для Житомирської області і 130 148 точки – для Дніпропетровської. Для кожної точки із застосуванням оверлейного аналізу з векторних шарів карт прогнозованої оцінки рівнів ґрунтових вод досліджуваних регіонів зняті значення середньобагаторічного положення рівня ґрунтових вод (50% норма) і граничних відхилень рівня від норми, а з шару гідрогеологічних районів із однорідним режимом – прогнозні значення забезпеченості рівнів.

Для локальних точок грід-сітки для переведення значень рівнів, поданих у відсотках забезпеченості, в абсолютні величини (м) використано формулу

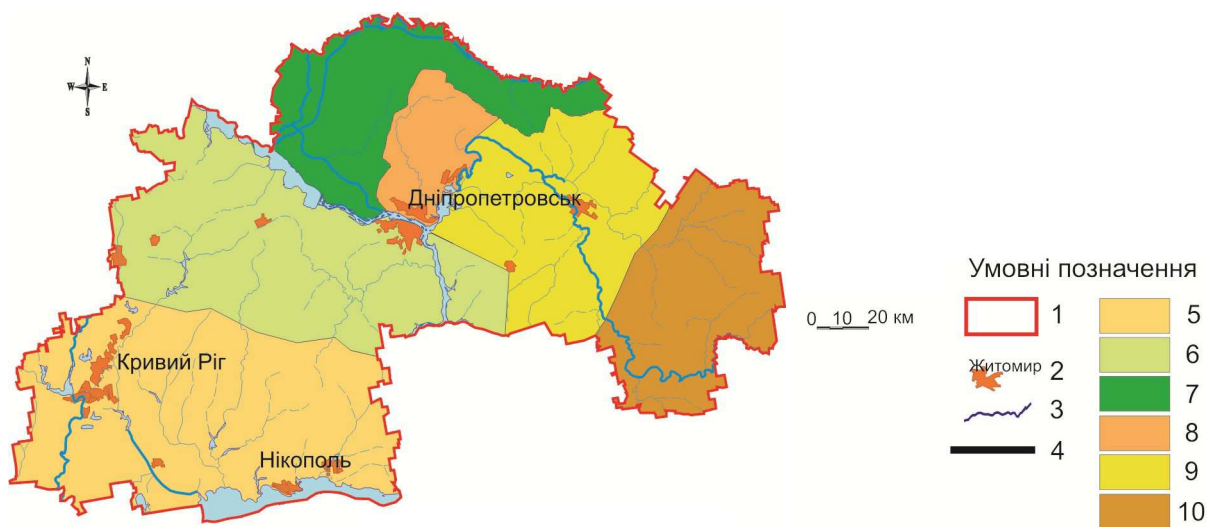
$$H_p = H_{сер.} - \Delta H_{сер.} \left( 1 - \frac{2P}{100} \right), \quad (9)$$

де  $H_p$  – прогнозна глибина залягання рівня, м;  
 $H_{сер.}$  – середньобагаторічне положення рівня, м;



1 – межі адміністративної області; 2 – населені пункти; 3 – річки і водотоки; 4 – умовні межі районів, де спостерігається багаторічна синхронність мінливості рівнів ґрунтових вод; 5 – район північно-західної окраїни Житомирського Полісся в умовах надмірного зволоження; 6 – район Центрального Полісся в умовах достатнього зволоження; 7 – перехідний район до зони лісостепу

**Рисунок 3 – Схема районування території Житомирської області за синхронністю багаторічного режиму рівнів ґрунтових вод**



1 – межі адміністративної області; 2 – населені пункти; 3 – річки і водотоки; 4 – умовні межі районів, де спостерігається багаторічна синхронність мінливості рівнів ґрунтових вод; 5 – район північної окраїни Причорноморської низовини та Базавлуцького хвилясто-височинного району в умовах значно посушливого клімату; 6 – перехідний район побережжя Дніпра в умовах посушливого клімату; 7 – район Придніпровської низовини в межах терас Дніпра й Орлі з вологим прохолодним кліматом; 8 – район межиріччя Самари і Кільчєня на території Орільсько-Самарського підвищення з порівняно посушливими кліматичними умовами; 9 – район Придніпровської височини та Придніпровської низовини в районі річок Самара і Вовча з недостатньо вологим кліматом; 10 – район північно-західної частини Приазовської височини в умовах посушливого клімату

**Рисунок 4 – Схема районування території Дніпропетровської області за синхронністю багаторічного режиму рівнів ґрунтових вод**

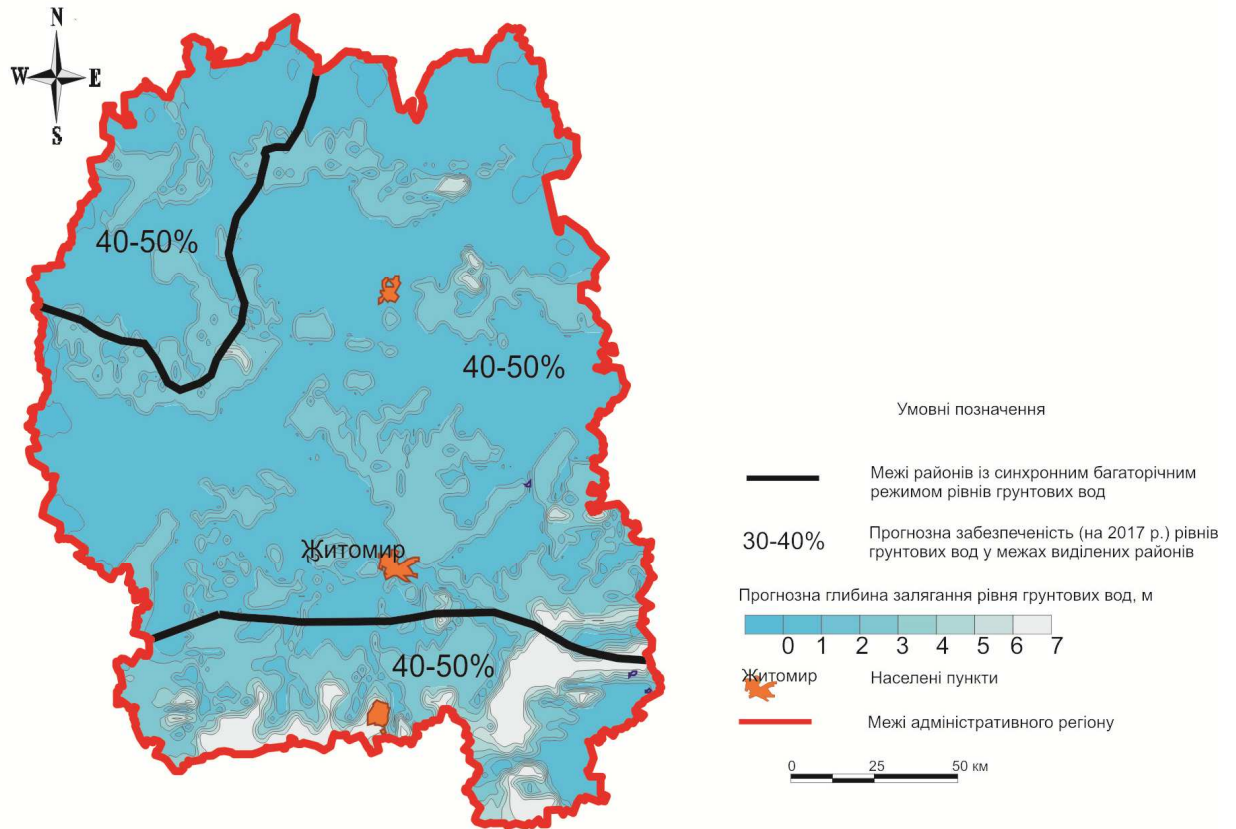


Рисунок 5 – Прогнозна модель глибини залягання рівнів ґрунтових вод території Житомирської області станом на 2017 р.

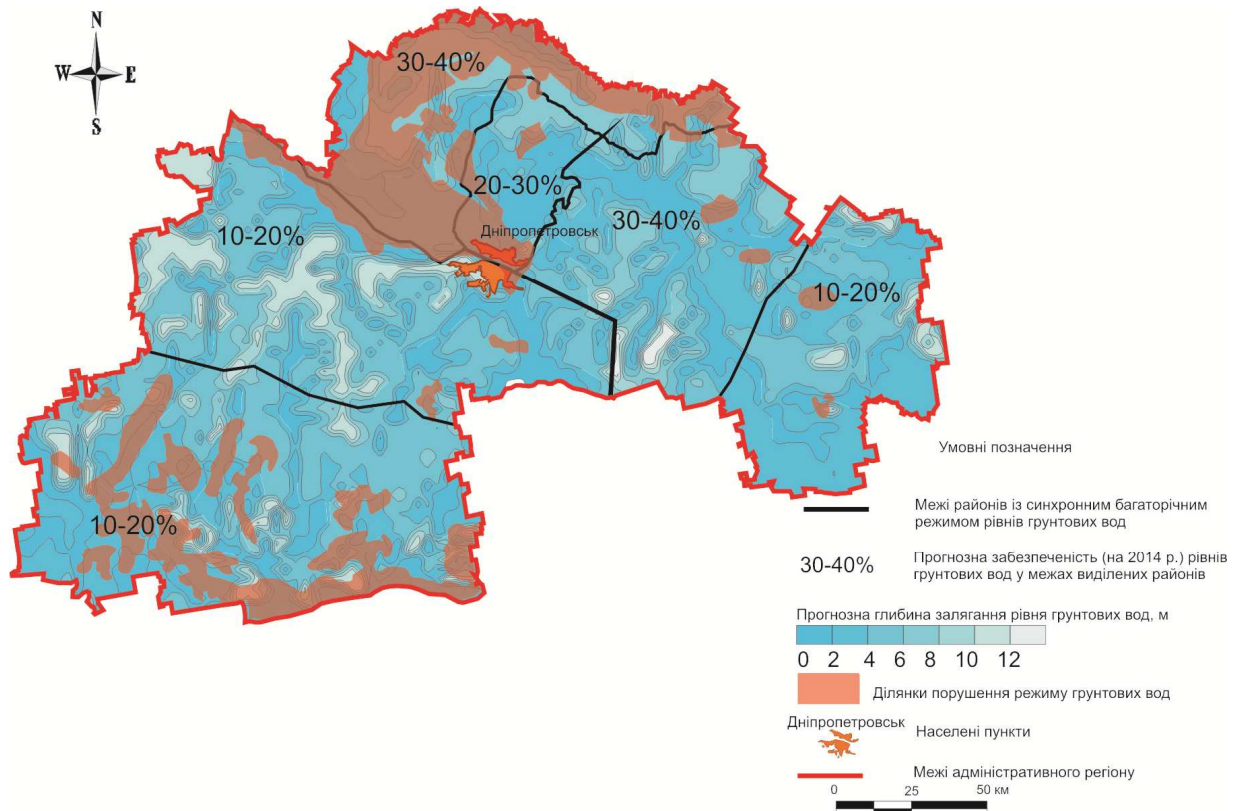


Рисунок 6 – Прогнозна модель глибини залягання рівнів ґрунтових вод території Дніпропетровської області станом на 2014 р.



$\Delta H_{сер.}$  – граничне відхилення середньорічного рівня від середньобагаторічного, м;

$P$  – прогнозна забезпеченість рівня, %.

Як приклад реалізації запропонованої методології довгострокового регіонального прогнозу природного режиму рівнів ґрунтових вод на основі геоінформаційних технологій шляхом інтерполяції методом крігінгу створено прогностичні моделі глибин залягання рівнів ґрунтових вод досліджуваних територій Житомирської і Дніпропетровської областей (рис. 5, 6) для років максимальної на прогностичний період водності, встановлених в результаті раніше опублікованих досліджень [22, 23].

Реалізований алгоритм дозволяє також виконувати ретроспективний прогноз на будь-який момент часу в минулому для оцінки його ефективності, проводити нарощування рядів спостережень за рівнем ґрунтових вод у випадку відсутності свердловин-аналогів та репрезентативних спостережних пунктів. Отримані результати довгострокового прогнозу не суперечать фактичним даним і даним, отриманим за допомогою існуючих методик короткострокового прогнозування (із завчасністю до 1 року), щодо тенденцій зміни рівнів ґрунтових вод на території досліджуваного регіону на період 2008-2011рр. [25, 26], що підтверджує адекватність побудованих прогностичних моделей.

### Висновки

Для апробації методики часового довгострокового прогнозування природного режиму рівнів ґрунтових вод на основі геоінформаційного підходу обрано території Житомирської і Дніпропетровської областей. Суттєві відмінності умов формування режиму і режимоутворювальних чинників дають змогу підтвердити універсальність запропонованого алгоритму, а його реалізація для досліджуваних територій, у свою чергу, започаткувати вирішення проблем регіонів, пов'язаних із необхідністю врахування мінливості рівнів ґрунтових вод, зокрема прогнозування періодів активізації несприятливих природно обумовлених процесів підтоплення, переоцінки ресурсів підземних вод і планування їх експлуатації для господарсько-питного та промислового водопостачання.

Для досліджуваних регіонів на основі використання ГІС-технологій вперше виділено зони однорідного режиму відповідно до задач гідрогеологічного районування території України. Часові багаторічні закономірності формування природного режиму рівнів ґрунтових вод для територій Дніпропетровської і Житомирської областей відображені за допомогою прогностичних геоінформаційних моделей, що враховують комплексний вплив природних режимоутворювальних чинників і є основою для складання довгострокових прогнозів.

Отримані результати в сукупності дають змогу вирішити конкретну наукову задачу для геологічних наук, а саме: визначити багаторічні просторово-часові тенденції мінливості рівнів ґрунтових вод.

Проведені дослідження спрямовані на вирішення комплексу задач охорони природного середовища, на підвищення вірогідності та оперативності довгострокових прогнозів режиму ґрунтових вод. Результати робіт дають змогу автоматизувати процеси довгострокового прогнозування режиму рівнів, а також виконувати тематичне і статистичне узагальнення накопиченої інформації у вигляді тематичних карт та відповідних вихідних даних для аналітичних досліджень.

Використання результатів прогнозування здійснюватиметься при визначенні запасів та вивченні балансу родовищ підземних вод, при проектуванні експлуатації підземних вод для водопостачання, при розробленні заходів з охорони підземних вод та розв'язанні проблеми підтоплення земель, при проектуванні будівництва та експлуатації інженерних споруд. Отримані результати також є основою для створення геоінформаційної системи прогнозування режиму рівнів ґрунтових вод та її адаптації для будь-яких територій при збереженні запропонованої методології, що є завданням наступних досліджень.

### Література

- 1 Альтовский М.Е. Методическое руководство по изучению режима подземных вод / М.Е. Альтовский, А.А. Коноплянцев. – М.: Госгеолтехиздат, 1954. – 196 с.
- 2 Коноплянцев А.А. Естественный режим подземных вод и его закономерности / А.А. Коноплянцев, С.М. Семенов. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 231 с.
- 3 Ковалевский В.С. Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод / В. С. Ковалевский. – М.: Недра, 1973. – 152 с.
- 4 Ковалевский В.С. Многолетняя изменчивость ресурсов подземных вод / В.С. Ковалевский. – М.: Наука, 1983. – 205 с.
- 5 Шинкаревский М.А. Районирование территории Украины по особенностям формирования режима грунтовых вод / М.А. Шинкаревский // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Украины. – 1969. – Вып. 2. – С. 19–24.
- 6 Шинкаревский М.А. Прогноз уровня грунтовых вод на основе площадной оценки закономерностей режима / М.А. Шинкаревский // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Украины. – 1973. – С. 22 – 30.
- 7 Підземні води як стратегічний ресурс / В.М. Шестопапов, В.Д. Лялько, В.М. Гудзенко [та ін.] // Вісник НАН України. – 2005. – № 5. – С. 32 – 39.
- 8 Яковлев Є.О. Нові питання регіональної переоцінки та охорони прісних підземних вод України як чинника стратегічної безпеки питного водопостачання / Є.О. Яковлев // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2009. – № 3. – С. 30-36.

- 9 Стратегія використання ресурсів питних підземних вод для водопостачання: [у 2 т.]. / [за ред. Е.А. Ставицького, Г.І. Рудька, С.О. Яковлева]. – Чернівці: Букрек, 2011. – Т.1. – 2011. – 348 с.
- 10 Семенов С.М. Гидрогеологические прогнозы в системе мониторинга подземных вод / Семенов С. М. – М.: Наука, 2005. – 131 с.
- 11 Рубан С.А. Гидрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України: Монографія / С.А. Рубан, М.А. Шинкаревський. – К.: УкрДГРІ, 2005. – 572 с.
- 12 Кошляков О.Є. Моніторинг гідрогеодинамічної складової геологічного середовища урбанізованих територій (на основі ГІС): авторефер. дис. на здобуття наук. ступеня. д. геолог. наук: спец. 04.00.05 «Геологічна інформатика» / О.Є. Кошляков. – К., 2011. – 32 с.
- 13 Kabir M. Groundwater-Climat Relationships, Ranger Uranium Mine, Australia: Time Series Statistical Analyses / M. Kabir, M. Hamza, K. Mudd // Uranium, Mining and Hydrogeology: 5th International Conference, Freiberg, Germany, 2008. – Freiberg, 2008. – P. 70 – 72.
- 14 Давибіда Л.І. Оцінка відповідності багаторічних закономірностей коливань рівнів підземних вод критеріям природності режиму (на прикладі спостережних свердловин Дніпропетровської області) / Л.І. Давибіда // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2011. – № 1. – С.117 – 127.
- 15 Давибіда Л.І. Закономірності динаміки рівнів підземних вод і чинників їх формування в межах території Дніпропетровської області / Л.І. Давибіда, Е.Д. Кузьменко // Геодинаміка. – 2011. – № 1(10). – С.84 – 94.
- 16 Давибіда Л.І. Дослідження геоінформаційної структури синхронності багаторічного природного режиму рівнів ґрунтових вод як основа підвищення вірогідності довгострокових прогнозів (на прикладі території Дніпропетровської області) / Л.І. Давибіда, Е.Д. Кузьменко // Геоінформатика. – 2011. – № 2. – С.68 – 80.
- 17 Кузьменко Е.Д. Дослідження синхронності багаторічного режиму рівнів ґрунтових вод як основа довгострокових прогнозів [Електронний ресурс]: матеріали 10-ї Міжнар. конф. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» / Е.Д. Кузьменко, Л.І. Давибіда. – Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики, 2011. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см; - Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; MS Word 97-2003. – Назва з титул. екрану.
- 18 Атлас України. Версія 1.0: Пілотний проект Національного атласу України [Електронний ресурс] / Л.Г. Руденко, В.С. Чабанюк та ін. – К.: Ін-т географії НАНУ, Інтелектуальні Системи ГЕО, 1999. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см; Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; MS Word 97-2003. – Назва з титул. екрану.
- 19 Сучасні принципи гідрогеологічного районування / В.М. Шестоपालов, П.В. Блінов, Г.Г. Лютий [та ін.] // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2010. – № 3–4. – С. 147 – 157.
- 20 Геоінформатика / [А.Д. Іванников, В.П. Кулагин, А.Н. Тихонов, В.Я. Цветков]. – М.: МаксПресс, 2001. – 349 с.
- 21 Кошляков О.Є. Гідрогеологічне моделювання / Кошляков О.Є. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2003. – 79 с.
- 22 Давибіда Л.І. Довгостроковий регіональний прогноз і картування природного режиму рівнів ґрунтових вод (на прикладі територій окремих адміністративних областей) / Л.І. Давибіда // Науковий вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Серія «Геологія». – 2012. – Вип. 56. – С.45-48.
- 23 Давибіда Л.І. Довгострокове прогнозування природного режиму рівнів ґрунтових вод на прикладі території Дніпропетровської області / Л.І. Давибіда, Е.Д. Кузьменко // Геоінформатика. – 2012. – № 2. – С.67-76.
- 24 Сарычева Л.В. Компьютерный эколого-социально-экономический мониторинг регионов. Геоинформационное обеспечение / Сарычева Л.В. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2003. – 174 с.
- 25 Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП / [Н.Г. Пишна, О.А. Лихацька, Л.В. Бабіченко та ін.]. – К.: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2011. – 88 с.
- 26 Прогноз рівнів ґрунтових вод на території України на 2011 рік / [Н.Г. Пишна, О.А. Лихацька, Л.В. Бабіченко та ін.]. – К.: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2010. – 43 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*03.01.14*

*Рекомендована до друку*

*професором Кузьменком Е.Д.*

*(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)*

*канд. геол.-мінерал. наук Руденком Ю.Ф.*

*(Науково-інженерний центр радіогідро-*

*екологічних полігонних досліджень*

*НАН України, м. Київ)*