ДЕРЖАВНА УСТАНОВА "ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ"

Тимків Марія Михайлівна

УДК: 556.38.2

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ СВЕРДЛОВИН СИСТЕМИ ГІДРОГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ (НА ПРИКЛАДІ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПРИП'ЯТЬ)

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис
Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор геолого-мінералогічних наук, професор
Кузьменко Едуард Дмитрович, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики

Офіційні опоненти:

доктор геологічних наук
Удалов Ігор Валерійович, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, завідувач кафедри гідрогеології

кандидат геологічних наук,
Кошлякова Тетяна Олексіївна, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, старший науковий співробітник

Захист відбудеться "12" травня 2021 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.192.01 у Державній установі «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», за адресою: 03680, м. Київ, пр. Академіка Палладіна, 34-а. Тел./факс: +38 044 502 12 29, Електронна пошта: igns@ukr.net.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», за адресою: 03680, м. Київ, пр. Палладіна, 34-а.

Автореферат розісланий «09» квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.192.01
кандидат геолого-мінералогічних наук Яценко В. Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасна мережа моніторингу за станом підземних вод України, на жаль, знаходиться в критичному стані. Відсутність належного фінансування гідрогеологічних робіт призвела впродовж останніх двох десятиріч до повного занепаду моніторингу підземних вод. У зв'язку з прогресуючим забрудненням поверхневих вод роль підземних у водопостачанні буде зростати. Це зумовлено, перш за все, високою якістю прісних підземних вод та надійнішою їх захищеністю від забруднення. Однак при інтенсивному антропогенному навантаженні на природне середовище поряд із поверхневими до забруднення схильні і підземні води.

Такий стан як поверхневих, так і підземних вод негативно відображається на екологічній безпеці країни в цілому. На сьогоднішній день в Україні вже є регіони, де з кожним днем проблема водопостачання набуває гострішого характеру.

Відновлення старих свердловин та проектування нових дасть змогу швидко та якісно відслідковувати стан підземних вод, їх наявність, якість, хімічний та бактеріологічний склад. Тому слід вважати, що наявність оптимальної мережі свердловин дозволить вирішувати задачі як гідрогеологічного, так і екологічного моніторингу підземних вод.

У роботі використано термін «гідрогеоекологічний моніторинг». В.А. Мироненко вважав, що гідрогеоекологічний моніторинг спрямований на вирішення завдань управління підземними водами, які розглядаються як компонент навколишнього середовища, зокрема, на вивчення зв'язків і взаємодій між підземними водами і екосистемами у межах уособленого річкового басейну як самостійної гідрогеоекологічної системи (на прикладі басейну Прип'ять).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі геотехногенної безпеки та геоінформатики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в рамках держбюджетних тем: «Екологічна безпека і землевпорядне забезпечення територіально-адміністративних одиниць та експлуатаційна надійність промислових об'єктів», (реєстр. № 0110U000339; 2014 р.), «Інженерно-екологічні, геотехногенні, геодезичні та землевпорядні роботи, спрямовані на дотримання екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності», (реєстр. № 0114U004856, 2015 р.); «Дослідження геологічного середовища в зонах розвитку небезпечних процесів із використанням геоінформаційних технологій з метою попередження надзвичайних ситуацій», (реєстр. № 0119U002233, 2018 р.).

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є наукове та методичне обґрунтування основних положень створення системи локального моніторингу поверхневих і підземних вод як складових комплексу заходів щодо екологічної безпеки територій.

Основними задачами є:

– збір, систематизація та комплектація бази даних спостереження за рівнями підземних вод та аналіз існуючої мережі моніторингу гідрогеологічного

режиму території дослідження, зокрема спостереження за рівнями підземних вод;

– вибір методів заповнення рядів даних рівнів підземних вод з пропусками та розробка нового альтернативного методу заповнення рядів таких даних;

– розробка методу оцінки еколого-геологічних ризиків із використанням геоінформаційних систем та побудувати карти розподілу ризиків ураження підземних вод басейну р. Прип’ять;

– розробка методу оптимізації спостережної мережі свердловин на прикладі обраного річкового басейну;

– побудова карти оптимізованої мережі моніторингу гідрогеоекологічного середовища.

Об’єкт досліджень – просторова структура гідрогеоекологічного моніторингу підземних вод басейну річки Прип’ять.

Предметом досліджень є методи еколого-геологічної оцінки ризиків стану підземних вод та проектування гідрогеоекологічної спостережної мережі

Методи досліджень включають в себе загальні підходи до збору, аналізу систематизації та обробки даних; статистичний та математичний аналіз рядів даних; геостатистичний метод крігінгу для розробки схеми мережі спостережних пунктів.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Уперше запропоновано та обґрунтовано алгоритм оптимізації мережі гідрогеоекологічного моніторингу рівнів підземних вод з урахуванням характеристик водоносних горизонтів на прикладі окремих суббасейнів.

2. Подальшого розвитку набула методика заповнення рядів даних із пропусками, яку вперше інтегровано для рівнів підземних вод і за допомогою якої значення рядів з пропусками приведено до еталонного значення.

3. Уперше визначено ступінь впливу полігонів твердих побутових відходів, видобутку бурштину, заболочених земель та боліт на еколого-геологічний стан досліджуваної території, а також здійснено оцінку ризиків безпеки життєдіяльності на імовірнісному рівні.

4. Удосконалено систему гідрогеологічного та екологічного проектування свердловин спостережної мережі моніторингу рівнів підземних вод на основі геостатистичного та геоінформаційного аналізу.

Наукове значення роботи. Робота спрямована на вирішення проблеми оптимізації мережі гідрогеоекологічного моніторингу враховуючи природну та техногенну складову.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що вони відкривають можливості для удосконалення існуючих методик побудови мережі гідрогеологічного та екологічного моніторингу у межах уособленого річкового басейну як самостійної гідрогеоекологічної системи (на прикладі басейну Прип’ять); дозволяють виконати еколого-геологічну оцінку ризиків стану підземних вод із метою визначення екологічної безпеки регіону; розширити склад та підвищити достовірність існуючих картографічних гідрогеологічних просторово-часових моделей.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто вивчено, проаналізовано та систематизовано фактичний матеріал, який був оброблений та згрупований у єдину базу даних. Виконаний детальний аналіз даних із пропусками та запропонована нова методика заповнення таких рядів. Проведено оцінку умов створення гідрогеоекологічної мережі моніторингу за рівнями підземних вод та екологічний аналіз басейну річки Прип'ять. На основі такого аналізу була побудована карта ризиків стану підземних вод досліджуваної території. Кінцевим результатом роботи є представлена оптимізована карта мережі, яку можна використовувати як в гідрогеологічних цілях, так і в екологічних.

Основні результати досліджень відображені у публікаціях [1-15]. Наукові публікації [4,6,8,9] є одноосібними; [1,2,7,8,13,14] реферуються у базі SCOPUS, [3] – WoS. Автор безпосередньо брала участь у постановці задач, розробці алгоритмів, математико-картографічному моделюванні. У роботах [2,6] особисто автором розроблений алгоритм заповнення даних. У працях [1, 3,4,11,12] автору належить проведення комплексу досліджень, починаючи із систематизації вхідних даних режимних спостережень і закінчуючи побудовою картографічних матеріалів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень апробовані на міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях: EAGE Geoinformatics 2014 - 13th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects 2014, 14th EAGE International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics, 2016, Науково-практична конференція «Геоінформаційні технології у територіальному управлінні» (м. Одеса, 11-12 вересня, 2014 р, ОРІДУ НАДУ при Президентові України), Міжнародної науково технічної конференції молодих вчених «GeoTerrace 2018» (м. Львів, Міжнародна науково технічна конференція молодих вчених «GeoTerrace 2016» 15-17 грудня 2016 р.), 12 Міжнародна наукова технічна конференція «Нафтогазова галузь: Перспективи нарощування ресурсної бази» (м. Івано-Франківськ, 23-25 травня 2018 р.), Geoinformatics 2016 – XVth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2018 – XVIIth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 12th Eastern European Young Water Professionals Conference, Riga – Latvia, 31 march - 2 april 2021.

Публікації. Основні положення, викладені у дисертації, опубліковані у 16 працях: з них 2 у збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України; 2 у виданнях Організації економічного співробітництва та розвитку (Q2,Q3); 6 реферується в БД SCOPUS; 1 – WoS.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна роботи складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації – 150 сторінок, них 2 додатки на 16 сторінок. Дисертація містить 26 рисунків, 15 таблиць та посилання на 130 літературних першоджерел на 14 сторінках.

Автор висловлює щиру подяку науковому керівнику, доктору геолого-мінералогічних наук, професору Кузьменку Е. Д., кандидату геологічних наук, доценту Касіянчуку Д. В. та кандидату геологічних наук, доценту Давибіді Л. І. кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики Івано-Франківського національного технічного університете нафти і газу за допомогу та підтримку при виконанні досліджень.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, сформовано мету і завдання досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено загальну характеристику роботи та дані про її апробацію.

У **першому розділі** наведено загальну характеристику особливостей побудови спостережної мережі за рівнями підземних вод. Аналіз системи моніторингу показав, що дана проблема є досить поширена не тільки в Україні, а і за її межами, про що свідчать численні наукові праці. Основоположниками розвитку теоретичних засад побудови спостережної мережі в Україні є Бабинець А.Е., Куделин Б.І., Руденко Ф.А., Зайцев І.К., Рубан С.А., Шинкаревський М.А., Маков К.І., Лучицький В.І., Личков Б.Л., Климентов П. П. Широкого загалу набули картографічні матеріали за редакцією Круглова С.С., Гурського Д.С., Галецького Л.С., Шварца Г.А. Фундаментальними роботами щодо вирішення питань моніторингу за рівнями підземних вод є роботи Феофілактова К.М., Шестопалова В.М., Яковлєва Є.О., Дробнохода М.І., Семенова С.М., Блінова П.В., Рубана С.А. та ін.

Варто також відзначити і роботи іноземних науковців, а саме: Fahimeh Mirzaie-Nodoushan, Omid Bozorg-Haddad, Hugo A. Loáiciga, Kumar Singh Chandan, Bhaskar Katpatal Yashwant, Yangsha Guoa, J. F. Wanga, X. L. Yinb, James M., Leacha Paulin, Coulibalyab, GuoYiping. Перелічені автори вибудували новий підхід до побудови мережі спостережень за підземними водами із використанням новітніх методів.

При опрацюванні літератури були обгрунтовані та використані два основних підходи до організації мереж гідрогеологічного моніторингу: 1) проектування на основі математико-статистичного підходу; 2) проектування на основі гідрогеологічного районування території з урахуванням умов і чинників формування підземних вод та їх режиму.

Із зазначеного огляду можна зробити висновок, що питання моніторингу за рівнями підземних вод є досить актуальним і з кожним роком все більше удосконалюється. Серед основних недоліків існуючих систем є нерівномірне розміщення спостережних пунктів та часто не враховуються геологічні особливості досліджуваної території, що зводиться до співставлення аналізу тільки поверхневих чинників.

Для того, щоб зуміти оптимізувати мережу моніторингу, потрібно буде провести ряд статистичних досліджень із застосуванням геоінформаційних технологій, які допоможуть вирішити питання розміщення проектних

свердловин у межах водообмінних суббасейнів для підвищення якості вирішення задач гідрогеологічного та екологічного моніторингу

У **другому розділі** дисертаційної роботи наведено результати цільового аналізу фізико-географічних особливостей регіону та характеристика умов формування гідрогеологічного режиму території дослідження.

Для дослідження була обрана територія басейну річки Прип’ять (рис.1), яка потребує першочергових заходів для розвитку спостережної мережі враховуючи гідроекологічну вразливість і транскордонний статус.

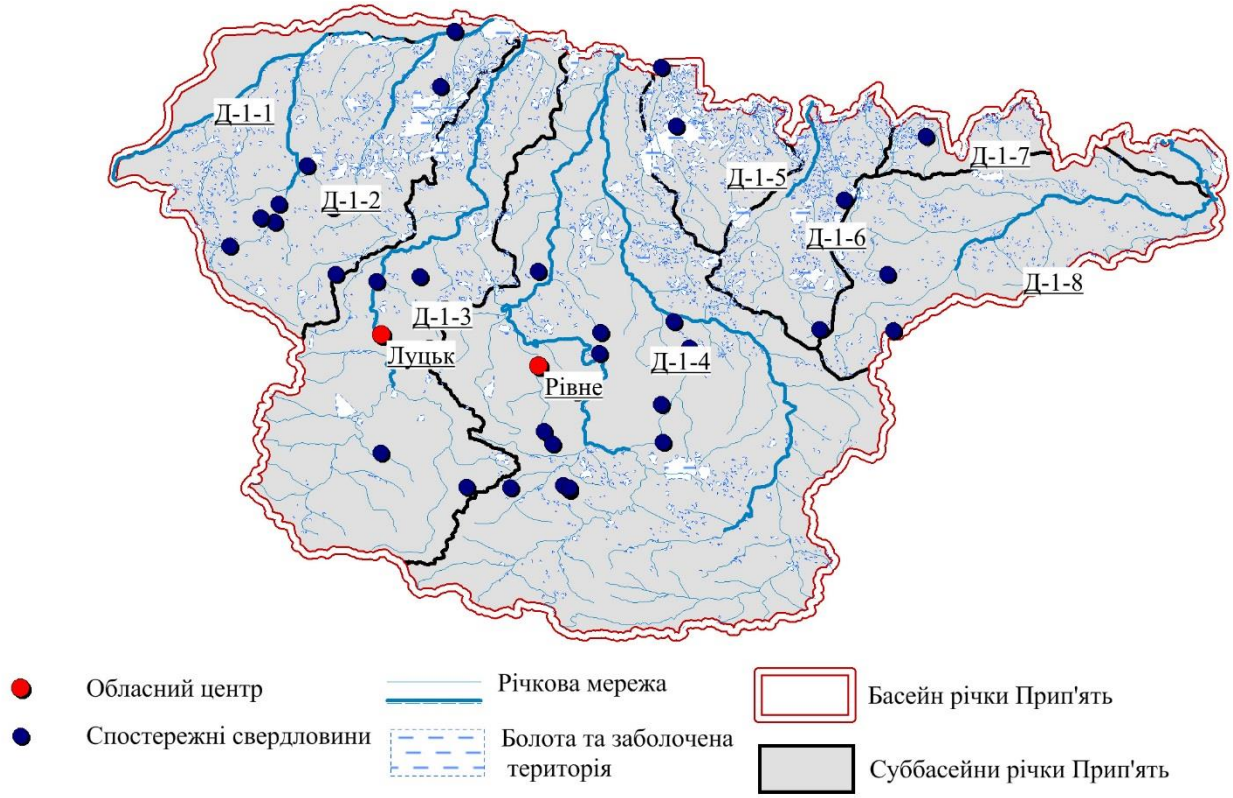

Рис. 1 Територія дослідження басейну р. Прип’ять

Територія дослідження розташована у Поліській низовині, в основі якої лежать різні тектонічні структури: на заході – Волино-Подільська плита, у центральній частині – Український кристалічний щит, а на сході – Дніпровсько-Донецька западина. Більшій частині території характерний гідравлічний зв’язок для напірних підземних вод, внаслідок чого на окремих ділянках утворюються спільні водоносні комплекси. У межах території досліджень поширені п’ять типів рівнинних ЛГГК: 1) 1а(1)1, 2) 1б(2)1, 3) 6а(11)2, 4) 6б(12)2, 5) 13(24)2.

Варто звернути увагу на те, що значна частина території є заболоченою. Болотяні води відрізняються малою мінералізацією - до 0,2 г/дм^3 і значною строкатістю хімічного складу - поряд з гідрокарбонатними, широкий розвиток мають сульфатні та хлоридні води. У воді, у відчутних кількостях містяться продукти органічного розпаду – аміак, нітрати та нітрити; pH ґрунтових вод болотяних відкладів становить 5,0-6,5. Середньо-верхньочетвертинні, озерно-алювіальні, водно-льодовикові і еолово-делювіальні відклади за хімічним складом води в основному гідрокарбонатні, рідше хлоридні і сульфатні

кальцієві, натрієві, магнієві. Мінералізація змінюється від 0,7 до 1 г/дм^3 і більше. У сучасних алювіальних відкладах заплав річок і нижчезалягаючих середньочетвертинних водно-льодовикових утвореннях хімічний склад містить гідрокарбонатні кальцієві, гідрокарбонатно-сульфатні кальцієво-магнієві, з мінералізацією від 0,1 до 0,6 г/дм^3. Загальна жорсткість води коливається від 4 до 6,3 мг·екв, pH – 6,7-7,4. Середньочетвертинні водно-льодовикові відклади мають повсюдне поширення у межах зандрової рівнини. За хімічним складом вони переважно гідрокарбонатні кальцієві, рідше гідрокарбонатні кальцієво-натрієві з мінералізацією від 0,03 до 0,8 г/дм^3 (частіше 0,2-0,4 г/дм^3). Загальна жорсткість води незначна і коливається у межах від 0,2 до 2 мг·екв, pH – 5,6-6,8. У таблиці 1 представлена загальна інформація про територію дослідження.

Таблиця 1 – Характеристика басейну р. Прип’ять за рівнями підземних вод

Код	Назва суббасейну	Середнє значення рівня, м	Середнє мінімальне значення рівня, м	Середнє максимальне значення рівня, м	Середня абсол. висота рівня, м	Середня абсол. відмітка поверхні, м	Кількість свердловин (діючої мережі), шт
Д-1-5	басейн Льви - Ствиги	0,99	-0,25	1,89	150,26	151,24	2
Д-1-6	басейн Уборті - Перги	2,73	0,73	3,94	193,17	195,90	2
Д-1-2	басейн Вижівки - Турії - Стоходу	2,43	1,57	3,43	161,39	163,82	9
Д-1-3	басейн Стирі	5,76	3,52	8,13	194,70	200,46	4
Д-1-4	басейн Горині - Случі	4,62	3,59	5,65	179,13	183,75	14
Д-1-7	басейн Словечни та дрібних річок	2,01	0,54	2,64	151,79	153,80	1
Д-1-8	басейн Ужа	1,88	0,70	3,11	196,43	198,31	2
Д-1-1	басейн озера Турського та Турського каналу	1,45	0,34	3,00	145,70	150,30	0

Беручи до уваги загальні показники стану підземних вод доцільно звернути увагу на техногенну складову забруднення підземних вод. Основними чинниками є: надмірне антропогенне навантаження на водні об'єкти внаслідок інтенсивного способу ведення водного господарства (осушувальної меліорації) з подальшим значним зменшенням самовідтворюючих можливостей річок та виснаженням водних ресурсів; значне забруднення водних об'єктів унаслідок невпорядкованого відведення стічних вод від населених пунктів, господарських об'єктів і сільськогосподарських угідь; широкомасштабне радіаційне забруднення басейнів багатьох річок у зонах Чорнобильської, Рівненської та Хмельницької АЕС; несанкціоноване видобування бурштину, торфу, піщано-гравійних сумішей; відсутність контролю за розміщенням полігонів твердих побутових відходів. Окремо варто звернути увагу на Водний шлях Е40.

У **третьому розділі** запропоновано новий підхід до оптимізації мережі гідрогеоекологічного моніторингу.

Під час розгляду будь-якої території, як полігона для розроблення спостережної мережі, основною передумовою правильності вибору методу побудови або оптимізації моніторингової сітки є врахування природних і техногенних факторів, які зумовлюють гідрогеологічний режим території.

На основі аналізу літературних джерел було запропоновано загальну схему побудови мережі гідрогеологічного моніторингу, що дасть змогу систематизовано підійти до проектування мережі.

На рис. 2 представлено сформований автором алгоритм, який є основою методики побудови мережі спостережень і який дозволить покроково підготувати вихідні дані для подальшого проектування мережі спостережних пунктів.

На перших етапах потрібно здійснити регіональне районування території дослідження. Важливим кроком побудови нової мережі є дотримання головним чином базових вимог Водної Рамкової Директиви (ВРД) ЄС ВРД-2000/60, при цьому можуть бути враховані дані існуючих свердловин державної системи моніторингу.

Рис. 2 Алгоритм відновлення та оптимізації мережі гідрогеоекологічного моніторингу

Водночас підбір станцій моніторингу для підземних вод має ґрунтуватися на наявних регіональних мережах моніторингу. Там, де це можливо, мають бути охоплені всі національно важливі водоносні горизонти.

Таким чином запропонована методика дає змогу комплексно підійти до проектування мережі моніторингу спостережних пунктів за рівнями та складом

підземних вод у межах уособленого річкового басейну як самостійної водо обмінної системи.

У **четвертому розділі** проведено аналіз рядів даних з пропусками, оскільки при формуванні часових рядів даних зазвичай виникають пропуски у зв'язку зі зміною методики спостережень за рівнями підземних вод (РПВ), несвоєчасним заповненням рядів даних, відсутністю можливості проводити подібні спостереження, тощо. Встановлено, що окремі дані спостережень можуть бути точками підтримки прогнозних значень. Тому, повністю виключити ряди з пропусками не можна, оскільки це може призвести до недостовірних даних при розробці прогнозу та побудові прогнозних карт рівнів підземних вод. Основою для розробки методики є роботи американських вчених Літтл Дж., Рубина Л., які і виклали сучасні методи та алгоритми обробки пропущених значень у різних задачах статистичного аналізу. Існуючі підходи до аналізу часових рядів РПВ з пропусками потребують чіткішого структурування для забезпечення достовірної інформативності їх прогнозу. На рис. 3 мною вперше представлена методика аналізу гідрогеологічних та екологічних даних з пропусками, яка не має обмежень як у величині пропусків, так і у їх кількості.

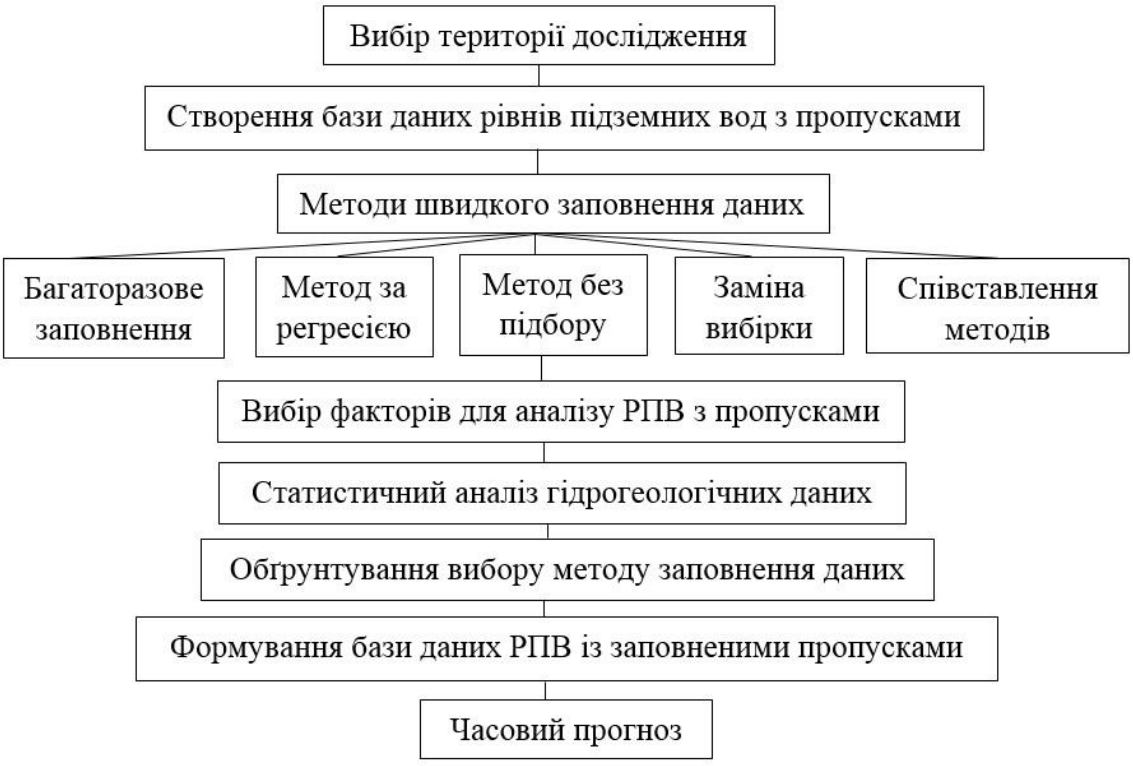

Рис. 3 Методика аналізу гідрогеоекологічних даних з пропусками

Враховуючи значну кількість статистичних методів заповнення часових рядів, слід перш за все сконцентрувати свою увагу на значимості даних пропусків, що були розраховані. Ця проблема є чи не найбільшою, оскільки вчені у більшості випадків, не враховують кореляційно-статистичні порівняльні характеристики, або враховують їх лише у порівнянні з середнім значенням початкового незаповненого ряду, а не рядів даних до та після заповнення.

Для апробації методики нами було обрано свердловини напірного водоносного горизонту на території з непорушеним та порушеним режимом, що знаходять на території Рівненської області. Далі наведений приклад аналізу для свердловини непорушеного режиму, що знаходиться в межах суббасейну Д-1-4 – Горині-Случі. Автором запропоновано ряд формул, які дадуть змогу привести вихідні ряди даних до еталонного значення.

Першим етапом є знаходження середньомісячного значення та стандартного відхилення за цілий період спостережень, які проводились на даній свердловині. Рівняння кривої, що описує річну (багаторічну) усереднену динаміку РПВ з урахуванням сезонних змін рівня підземних вод матиме вигляд:

$$f(x)=a_0x^4+a_1x^3+a_2x^2+a_3x+a_4, \quad (1)$$

де a – коефіцієнт рівняння, x^n – сезонна змінна.

Середньоквадратичне (стандартне) відхилення буде мати вигляд:

$$\delta_{N_i}^m = \sqrt{\frac{(X_{N_i}^m - \bar{X}_{i_N}^m)^2}{n}}, \quad (2)$$

де X – рівень підземних вод, м; m – місяць спостереження за РПВ, час. од;

N – кількість років спостережень за РПВ, час. од; i – значення РПВ N-го року; n – кількість значень РПВ.

Розрахунок функції кривої, яка описує РПВ (еталонний ряд), здійснюється за формулами:

$$f\left(\delta_{my}{}^{12}\right) = a_0 \quad (3)$$

$$f\left(x\left(\delta_y^m\right)\right) = a_0x, \quad (4)$$

З урахуванням наведених формул отримуємо:

$$f\left(x\left(\delta_y^m\right)\right) = a_0(\delta_y^m)^4 + a_1(\delta_y^m)^3 + a_2(\delta_y^m)^2 + a_3(\delta_y^m)^1 + a_4, \quad (5)$$

де y – рік спостереження, m – місяць спостереження, δ – середньоквадратичне відхилення.

Еталонний ряд, який відображає усереднену багаторічну динаміку зміни будь-якого значення і відхилення від його середнього, розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \frac{f\left(x\left(\delta_y^m\right)\right) + \bar{X}_m^y}{2} \quad . \quad (6)$$

Формула (6), виведена нами, представляє розрахунок еталонного ряду (ε) рівня підземних вод як складової вищезазначених статистичних величин.

Аналізуючи результати кореляційного аналізу, варто, перш за все відмітити, що підходи до розрахунку значень пропусків у рядах РПВ мають місце на існування. Кореляційний зв'язок, при будь-якому значенні рівня достовірності (значущості) даних є високим. Однак прослідковується чітка тенденція, яка пояснює правильність вибору методу розрахунку еталонного ряду для даних із пропусками. Як видно із таблиці 2 чим більше пропусків тим значення кореляції для методу п’яти найближчих зменшується і стабільно високим залишається при розгляді еталонних.

Таблиця 2 – Коефіцієнти кореляції величини взаємозв’язку для сп. св.

Відсоток пропусків значень в ряді	Середнє значення вихідного ряду/ середнє значення ряду заповненого еталонним значенням	Середнє значення (метод 5 наближених значень)/середнє значення вихідного ряду	Середнє значення (метод 5 наближених значень)/ середнє значення ряду заповненого еталонним значенням
сп. св. №255310011, непорушений режим (природний)			
10%	0,989698	0,994432	0,9925
30%	0,995704	0,993178	0,993488
50%	0,996030121	0,973488222	0,975916126

У табл. 3 представлені результати кореляційного аналізу взаємозв'язку між відновленими даними, еталонним рядом та усередненими значеннями заповненого ряду по обраній свердловині. Еталонні ряди було побудовано на основі середньорічних значень та побудованої лінії тренду. Значення коефіцієнта детермінації (рис. 4) показує, що лінійне рівняння регресії добре узгоджується з вибірковими даними.

Таким чином, формування еталонного ряду дозволяє чітко описати та прослідкувати зміну динаміки РПВ по місяцях. Такий підхід дає змогу обґрунтовано підійти до аналізу рядів із пропусками і переведення даних по свердловинах до еталонного.

Як показують результати, підбір методів заповнення даних із пропусками є неоднозначний. Зокрема, для порівняння між багаторазовим заповненням даних, еталонним рядом існує статистична кореляційна залежність. Найкращими зі способів є аналіз вибірки заповнення середнім із п’яти значень та значенням еталонного ряду для вибірки по свердловині.

Враховуючи мінливість динаміки зміни РПВ, розрахунок еталонного ряду для свердловини є чи не найоптимальнішим рішенням для проведення аналізу рядів даних. Запропонований підхід до його розрахунку слід розглядати як подальший розвиток інших методів аналізу рядів даних.

Таблиця 3 – Значення кореляції між еталонним рядом, усередненими значеннями та по роках та графік залежності середньорічного та еталонного ряду РПВ

Коефіцієнт кореляції	Еталонний ряд	Усереднені значення	Значення по роках
1996	0,36	0,50	0,44
1997	-0,18	-0,2	0,08
1998	0,41	0,25	0,24
1999	0,85	0,77	0,05
2000	0,90	0,91	0,20
2001	0,73	0,70	0,10
2002	0,89	0,92	0,26
2003	0,94	0,94	0,19
2004	0,85	0,92	0,22
2005	0,62	0,79	0,39
2007	0,46	0,46	0,13
2008	0,35	0,42	0,10
2009	0,31	0,45	0,13
2010	0,34	0,43	0,26
2011	0,56	0,54	0,20
2012	0,60	0,58	0,16
2013	0,94	0,76	0,28
2014	0,93	0,79	1

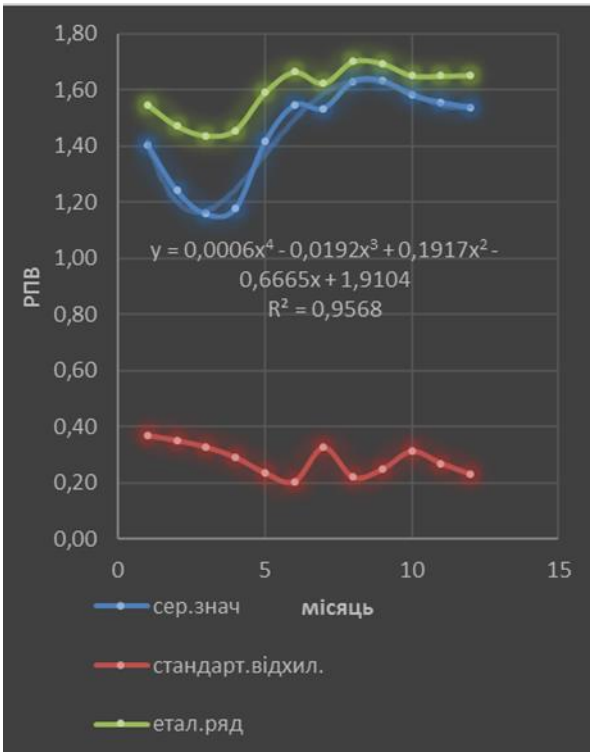

Рис. 4 Графік залежності середньорічного та еталонного ряду рівнів підземних вод

На основі моніторингових досліджень та відновлених рядів даних з пропусками нами вперше побудована карта абсолютних рівнів підземних вод досліджуваної території (рис. 5).

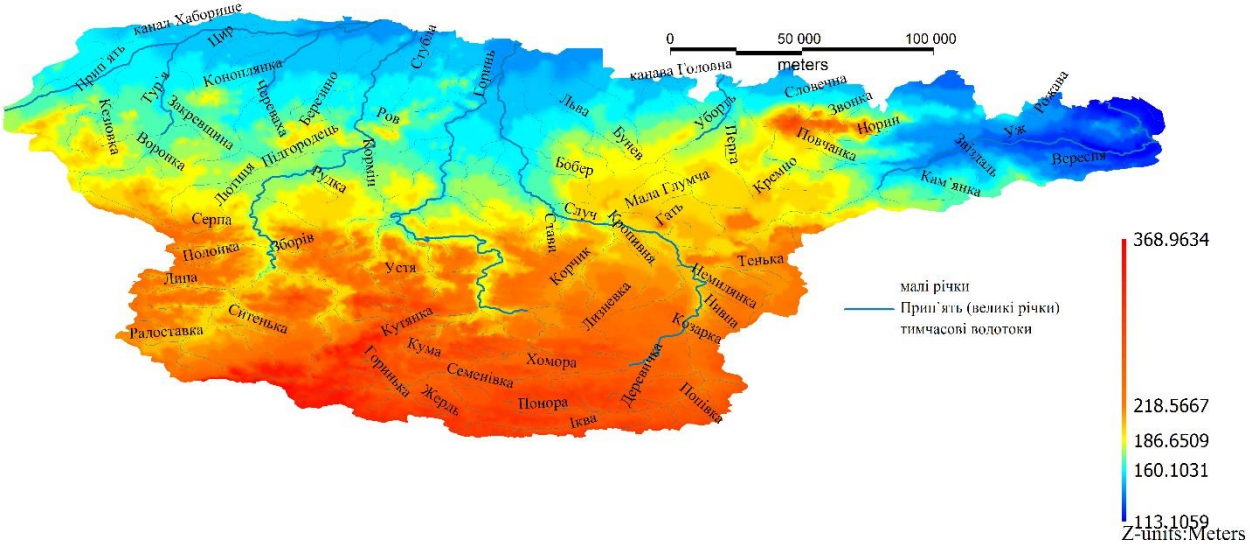

Рис. 5 Карта рівнів поверхні підземних вод для території басейну річки Прип’ять

Для побудови було використано методику В. М. Шестопалова, яка передбачає підвищення достовірності побудови карт на основі використання кореляційних зв'язків між поверхнями водоносних горизонтів і рельєфом території – *Нпов=f(Нвг)*. Встановлено, що дана модель надалі може бути використана з картою водоносних горизонтів як основа для дослідження рівнів підземних вод, довгострокового прогнозування та проектування мережі гідрогеологічного та екологічного моніторингу.

Проте, опрацьовуючи ряди даних РПВ із пропусками, ми стикнулись з такою проблемою, як відсутність рядів даних по екологічних показниках. Тому у наступному розділі автором був проведений екологічний аналіз території дослідження, щоб визначити доцільність побудови спостережної мережі ще і за гідрохімічним та екологічним станом підземних вод.

У **п'ятому розділі** проведено гідрогеоекологічний аналіз басейну річки Прип'ять.

Для екологічної оцінки ризиків проаналізовано дані екологічних паспортів у межах досліджуваного басейну на прикладі 30 підприємств.

Для розрахунку ризику антропогенного впливу на стан суббасейну населення запропоновано формулу:

$$rp = (n/Ni)/(s/S), \quad (7)$$

де n – кількість населення в межах суббасейну (чол.) , N – загальна кількість населення межах басейну (чол.); s – площа суббасейну (км^2); S – площа басейну (км^2).

Просторову ураженість суббасейну розрахуємо за формулою:

$$r = fs/S, \quad (8)$$

$$Ri = \sum ni=1\ ri, \quad (9)$$

де n – кількість факторів, обраних для розрахунку ризику, $\underline{r_i}$ – ризик окремого фактору.

На рис. 6 наведена схематична карта еколого-геологічної оцінки ризиків у межах досліджуваної території. Як видно, найбільш ураженою є територія суббасейнів Д-1-3 та Д-1-7, найменш ураженою є територія суббасейнів Д-1-6 та Д-1-8. В кінцевому результаті на основі карти та вищезазначених формул сформована таблиця 4, яка показує основні розрахункові параметри для оцінки еколого-геологічного ризику в межах басейну річки Прип'ять. Сформований математичний алгоритм для розрахунку еколого-геологічних ризиків дозволив комплексно підійти до оцінки ризику забруднення підземних вод для обраної території. Він враховує середню просторово-часову ймовірність впливу обраних факторів (заболоченість території, видобуток бурштину, наявність небезпечних техногенних споруд) на стан підземних вод, частку сумарної площі забруднення за досліджуваний період на площі басейну, як показника максимального площинного ураження. Такий алгоритм запропоновано та реалізовано вперше.

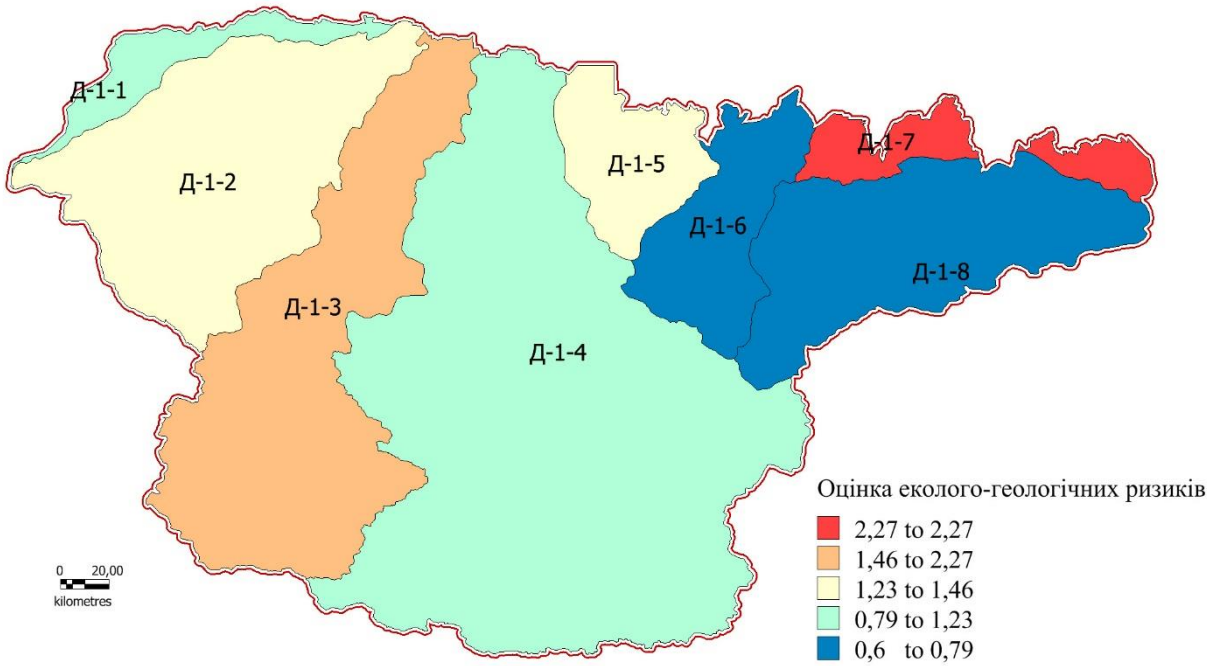

Рис. 6 Карта розподілу забруднення підземних вод басейну р. Прип’ять

Таблиця 4 – Класифікація басейну р. Прип’ять за площами ураження

Код та назва суббасейну → / Основні фактори для розрахунку↓	Д-1-1 басейн озера Турського та Турського каналу	Д-1-2 басейн Вижівки - Турії - Стоходу	Д-1-3 басейн Стирі	Д-1-4 басейн Горині - Случі	Д-1-5 басейн Льви - Ствиги	Д-1-6 басейн Уборті - Перги	Д-1-7 басейн Словечни та дрібних річок	Д-1-8 басейн Ужа
Площа суббасейну, кв.км	1686,57	10498,2	12567,9	27122,5	2991,85	3802,21	1305,03	8049,22
Площа боліт, кв.км	0,934	1168,1	582,153	961,677	685,286	438,149	136,083	201,66
Площа зон ураження локальними видобутками бурштину, кв.км	0	85,73	98,39	104,03	0	0	0	75
Площа зон ураження видобутком бурштину, кв.км	0	2654,02	1602,14	188,9	1035,14	16,254	1284,57	0,001
Площа зон ураження підприємствами, кв.км	0	297	297	189	0	0	27	54
Кількість населення, осіб	45377	295658	536690	1080980	68290	78942	51525	153874
Ураженість болотами	0	0,11	0,05	0,04	0,23	0,12	0,1	0,03
Ураженість видобутком бурштину	0	0,26	0,14	0,01	0,35	0	0,98	0,01
Ураженість підприємствами	0	0,03	0,02	0,01	0	0	0,02	0,01
Антропогенне навантаження	0,79	0,82	1,25	1,17	0,67	0,61	1,16	0,56
Ризик	0,79	1,23	1,46	1,22	1,24	0,73	2,27	0,6

У **шостому розділі** представлені результати опрацювання даних для оптимізації мережі гідрогеоекологічного моніторингу та запропонована карта спостережних свердловин, яка була побудова на основі геостатистичного та

геоінформаційного аналізу. Варто відзначити, що згідно вимог ВРД ЄС, спостережна мережа повинна містити 1 спостережний пункт на 20 км^2. На сьогодні щільність спостережної мережі (з урахуванням усіх діючих спостережних свердловин) для досліджуваної території становить приблизно 1 пункт на 1700 км^2, тоді як для території Білорусі середня щільність – 1 гідрогеологічна свердловина на 500 км^2, а зокрема для білоруської частини басейну Прип'яті – 1 пункт на 700 км^2. Рівномірність розподілу спостережних пунктів по досліджуваній території – це необхідна умова для застосування багатьох видів аналізу і моделювання. Для перевірки рівномірності розподілу точок часто використовується метод найближчого сусідства. Головна перевага методу найближчого сусідства полягає у тому, що він дозволяє, крім оцінки рівномірності, отримати інформацію про природу цієї рівномірності (тобто, встановити, за регулярною чи випадковою схемою розподілені точки) відповідно до значення числового критерію R статистики. Даний критерій враховує як щільність точок мережі для досліджуваної території, так і середнє значення відстані до найближчої сусідньої точки мережі, і теоретично набуває значень в інтервалі від 0 до 2,15.Для виявлення та оцінки впливу локальних геометричних особливостей мережі (наявності кластерних структур і зон низької щільності) на достовірність моделей, побудованих на основі даних моніторингу, виконано аналіз топології мережі за допомогою гістограм відстаней між точками і площ полігонів Вороного-Тіссена.У ході виконання ГІС-аналізу характеру розподілу пунктів гідрогеологічних спостережень у межах території дослідження встановлено середню відстань між сусідніми пунктами D=17,73 км і підтверджено їх відповідність випадковій схемі розташування (R=0,86), що забезпечує певну рівномірність і незалежність вимірів. Гістограму та основні статистичні характеристики отриманої вибірки даних наведено на рисунку 7а. Розподіл є мультимодальним, що може бути пов'язано як із значною варіацією гідрогеологічних і геоморфологічних умов у межах досліджуваної території, наявністю трендів, обумовлених регіональними і локальними напрямками підземного стоку, так і обмеженим обсягом даних. Для оцінки просторової кореляційної структури даних нами побудовано експериментальну і підібрано теоретичну варіограмну модель (рис. 7 б) від якої залежить подальша ефективність застосування методу та величина похибок. Варіограма показує залежність між дисперсією рівня підземних вод у точках спостережень і відстанню між ними.

Для вирішення завдань оптимізації мережі моніторингу застосовано метод крігінгу. Беззаперечною перевагою даного є можливість обчислення і візуалізації просторового розподілу середньоквадратичної похибки інтерполяції. Побудувавши схему просторового розподілу похибки інтерполяції методом крігінгу для діючої мережі гідрогеологічного моніторингу, можна стверджувати, що абсолютна величина похибки інтерполяції (>14 м), яка перевищує стандартне

відхилення результатів кросвалідації спостережень, для північно східної частини території зумовлена відсутністю пунктів моніторингу.

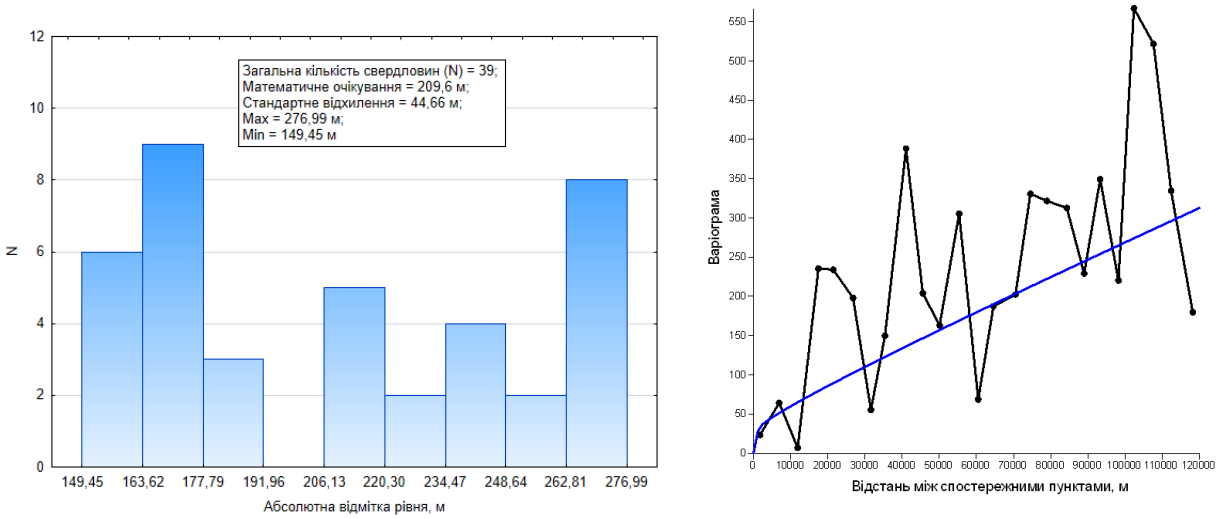

Рис. 7. Графічна візуалізація статистичного (гістограма) (а) і геостатистичного (варіограма) (б) аналізу рівнів підземних вод досліджуваної території

Аналіз взаємного розташування постів моніторингу і контурів просторового розподілу величини похибки свідчить, що в середньому похибка інтерполяції перевищує критичне значення ±14 м на відстані ≈ 28 км від найближчої спостережної свердловини.

Таким чином, для проектування розміщення свердловин побудовано сітку з кроком (28×28) км, яка покриває досліджувану територію, і координати вузлів якої служать для визначення орієнтовних координат додаткових пунктів моніторингу.

Керуючись отриманими результатами аналізу і вищенаведеними принципами оптимізації, можна запропонувати проект оптимізованої державної мережі гідрогеоекологічного моніторингу для української частини басейну річки Прип’яті (рис. 8). Додатково заплановано створити 60 пунктів гідрогеологічного моніторингу. З урахуванням запроектованих свердловин щільність спостережної мережі становитиме приблизно 1 пункт на 690 км^2. Такий показник – практично аналогічний щільності мережі моніторингу підземних вод басейну річки Прип’яті на території Білорусі.

Завершальний етап проектування мережі потребує узгодження проектних координат постів із реальною ситуацією на місцевості, подальшої корекції і повторної геостатистичної оцінки точності моделювання поверхні підземних вод після певного періоду (оптимально 1-2 роки) ведення спостережень за мінливістю рівнів по всіх пунктах моніторингу.

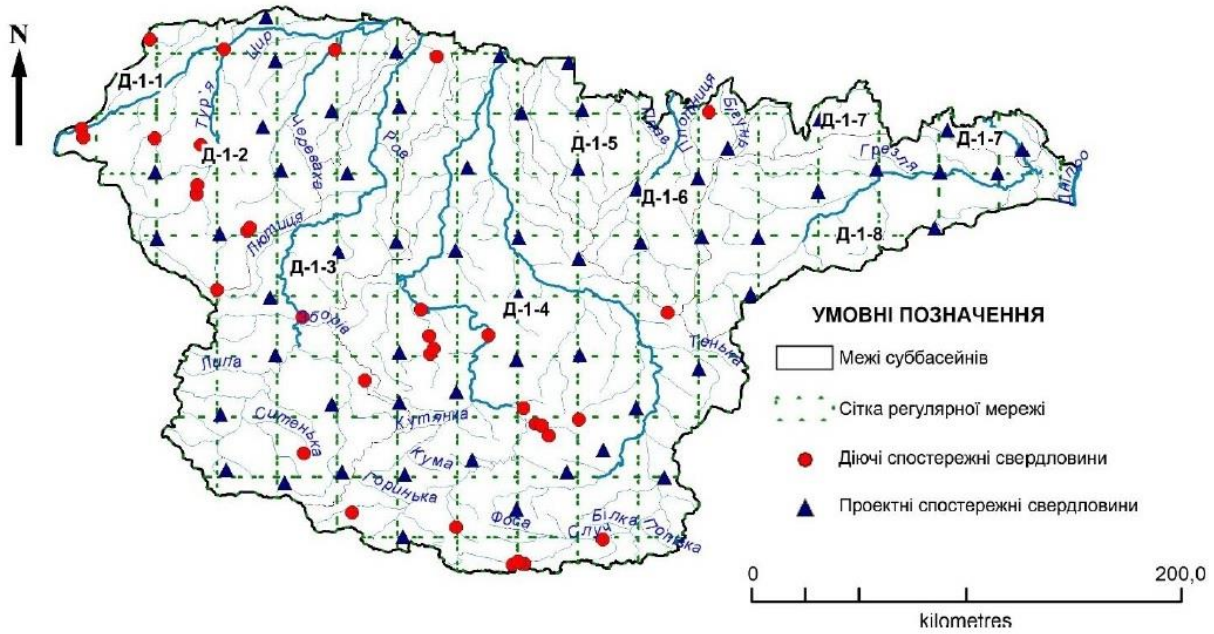

Рис. 8 Проект мережі свердловин гідрогеоекологічного моніторингу

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі висвітлено актуальне наукове питання оптимізації мережі гідрогеоекологічного моніторингу за рівнями підземних вод на території окремого річкового басейну. Теоретичні та експериментальні дослідження, які виконані автором, дозволяють зробити наступні висновки.

1. Проведені дослідження дозволили визначити методичні підходи до науково-методичної оптимізації існуючої мережі спостережних свердловин за станом підземних вод у межах техногенно порушених річкових басейнів (осушувальна меліорація, надрокористування, глобальні зміни клімату і ін.)

2. За результатами авторських досліджень розроблена і вперше для басейну р. Прип’ять побудована детальна картографічна модель рівнів підземних вод. Систематизовано та удосконалено алгоритм побудови мережі гідрогеоекологічного моніторингу на локальному рівні. Розроблена система дозволила виділити окремо природні та техногенні характеристики підземної гідросфери як ландшафтоформуючого фактору.

3. У дисертації представлено новий підхід до заповнення даних із пропусками, а також вперше у межах басейну проведений розрахунок еталонного ряду як функції, що описує рівні підземних вод незалежно від об’єму даних, що дозволило підвищити вірогідність басейнових гідрогеоекологічних прогнозів. Встановлено, що еталонний ряд виступає як основа для заміни деякого ряду, якщо дані по ньому частково відсутні, і дослідження часової динаміки такого ряду з пропусками мали низький рівень достовірності.

4. Проведений аналіз факторів, які впливають на екологічний стан і рівень підземних вод у межах досліджуваної території за сумарним впливом природних і техногенних чинників. На основі цього здійснено оцінку еколого-геологічних ризиків забруднення підземних вод. Загальний ризик розраховувався як сума

ризиків ураження кожного із суббасейнів зонами видобутку бурштину, ураженістю території від діяльності підприємств, населення та природних зон заболочення і в сумі становить 9,54.Найменш уражена територія – басейн річки Ужа (0,6), а найбільше – басейн Словечни (2,27). Ця оцінка дає можливість показати масштаб впливу перелічених факторів на стан підземних вод та в подальшому дозволить проводити аналіз зміни такого впливу.

5. Вперше обґрунтовано удосконалений метод опрацювання даних для оптимізації мережі гідрогеологічного моніторингу на основі геостатистичного аналізу у геоінформаційному середовищі. Важливим етапом є визначення оптимального розташування моніторингових свердловин на основі формальних геостатистичних оцінок просторових характеристик мережі з урахуванням похибки екстраполяції досліджуваних параметрів. Дане завдання вирішене у середовищі ГІС із застосуванням крігінгу із подальшою оцінкою похибок.

6.Кінцевим етапом роботи є оптимізація мережі свердловин системи гідрогеоекологічного моніторингу басейну річки Прип'ять. Керуючись отриманими результатами аналізу і вищенаведеними принципами оптимізації, було запропоновано новий проект державної мережі, яка міститиме 60 пунктів гідрогеоекологічного моніторингу. Розташування свердловин проектної мережі враховує районування території за гідродинамічним принципом і відповідає регулярній схемі розподілу точок спостережень. Такий підхід до розміщення пунктів моніторингу дасть змогу не тільки охопити спостереженнями ділянки із різними умовами формування гідрогеологічного режиму й отримувати більш повну інформацію, але й забезпечить рівномірність і незалежність випробувань і дозволить обґрунтовано застосовувати статистичні моделі випадкових величин для дослідження просторово-часової мінливості елементів режиму підземних вод. Щільність запропонованої мережі обґрунтована мінімальною кількістю точок для забезпечення необхідною інформацією та вирішення задач гідрогеологічного моделювання і прогнозування національного і регіонального рівнів досліджень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Tymkiv, M.** Hydrogeological conditions and natural factors forming the regime of groundwater levels in the Ivano-Frankivsk Region (Ukraine) / Davybida, L., Kasiyanchuk, D., Shtohryn, L., Kuzmenko, E., **Tymkiv, M.** // Journal of Ecological Engineering, 2019, 20(3), pp. 141-151

2 **Tymkiv, M** Research of data sequences of groundwater levels with gaps / **Tymkiv, M**., Kasiyanchuk, D. // Journal of Ecological Engineering, 2019, 20(3), pp. 141-151

3. **Тимків М. М.** Геостатистичний аналіз і оптимізація державної мережі гідрогеологічного моніторингу в межах басейну Прип'яті (Україна) / Давибіда Л., **Тимків М. М.** // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна № 52. – Х. 2020. – С. 35-50.

4. **Тимків М. М.** Особливості проєктування мережі гідрогеологічного моніторингу в межах окремого річкового басейну. / **Тимків М. М.** // Геоінформатика. 2020. № 1. – С. 116-123

5. **Тимків М. М.** Загальна характеристика методів гідрогеологічного моніторингу підземних вод України на прикладі Житомирської області / Л..І. Давибіда, **М.М. Тимків** // Геоінформатика. 2014. № 4 (52). – С. 73-79.

6. **Тимків М. М.** Статистична обробка гідрогеологічних даних з пропусками / Тимків М. М. // International Scientific Journal // № 2, 2016. – С. 22-27.

7. **Tymkiv M.** Overview of methods for hydrogeological monitoring groundwater Ukraine as an example of Zhytomyr Region **/ Tymkiv, M**., Davybida, L. // EAGE Geoinformatics 2014 - 13th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects 2014, 2014, pp. 102-106

8. **Tymkiv, M**. General characteristics of the interconnection regime variability of groundwater and key factors of its formation (natural component) / **Tymkiv, M.** // 14th EAGE International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2015, 2015

9. **Тимків М. М.** Науково-практична конференція «Геоінформаційні технології у територіальному управлінні», м. Одеса, 11-12 вересня, 2014 р, ОРІДУ НАДУ при Президентові України

10. **Тимків М. М**. Геостатистичний аналіз і оптимізація мережі гідрогеологічного моніторингу в межах української частини басейну річки Прип'яті / Давибіда Л.І., **Тимків М.М**.//Матеріали міжнародної науково технічної конференції молодих вчених «GeoTerrace 2018». Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 57 62с.

11. **Тимків М. М.** Аналіз стану державної мережі гідрогеологічного моніторингу території України і можливостей його оптимізації на основі геоінформаційного підходу / **М. М. Тимків**, Л. І. Давибіда, Е. Д. Кузьменко // Міжнародна науково технічна конференція молодих вчених «GeoTerrace 2016» 15 17 грудня 2016 р. / відп. ред. К. Р. Третяк. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. С. 157 160

12. **Тимків М. М.** Аналіз стану мережі моніторингу підземних вод території басейну річки Прип'яті (у межах України) / **М. М. Тимків**, Д. В. Касіянчук, Л. І. Давибіда // Матеріали Міжнародної науково технічної конфе-ренції «Нафтогазова галузь: Перспективи нарощування ресурсної бази», 23 25 травня 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. С. 310 313.

13.Bilinska, Y., **Tymkiv, M**. 2016. GIS modeling of the groundwater levels to the intensive flooded areas (on the example of the Zhytomyr Region). Geoinformatics 2016 – XVth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects

14.**Tymkiv M**., Kasiyanchuk D., Danyliak V., Levitska M. 2018. Study of the series of data of groundwater levels with passes. Geoinformatics 2018 – XVIIth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects.

15. **М.М. Тимків**, Л.І. Давибіда. Проблеми оптимізації гідрогеологічної мережі спостережень за рівнем підземних вод. Geoinformatics 2016 – XVth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects.

16. Kasiyanchuk D. V., **Tymkiv M**. M., Davybida L. I. Analysis of Geo-Ecological Risks of Groundwater Vulnerability within the Pripyat River Basin (Ukraine). 12th Eastern European Young Water Professionals Conference, Riga – Latvia, 31 march - 2 april 2021, p. 44-46.

АНОТАЦІЯ

Тимків М. М. Оптимізація мережі свердловин гідрогеоекологічного моніторингу (на прикладі басейну річки Прип'ять). – На правах рукопису

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидати геологічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», Київ, 2021.

Дисертацію присвячено екологічній проблемі – оптимізації мережі гідрогеологічного та екологічного моніторингу за рівнями підземних вод.

Встановлено, що дослідження стану підземних вод слід здійснювати у межах окремих суббасейнів та з урахуванням гідрогеологічних особливостей досліджуваної території.

У зв'язку із неоднорідністю рядів даних, розроблено методику заповнення пропусків для побудови еталонних рядів рівнів підземних вод.

Виконано аналіз основних чинників забруднення та зміни рівнів підземних вод та побудовано карту ризиків оцінки стану підземних вод.

Створено карту мережі гідрогелогічного та екологічного моніторингу, яка представляє собою сукупність спостережних пунктів, які дадуть змогу якісно та кількісно проводити спостереження у межах окремого басейну.

Ключові слова: моніторинг, рівні підземних вод, спостережні свердловини

АННОТАЦИЯ

Тымкив М. М. Оптимизация сети скважин гидрогеоекологичного мониторинга (на примере бассейна реки Припять). – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 21.06.01 - экологическая безопасность. - Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды Национальной академии наук Украины», Киев, 2021.

Диссертация посвящена экологической проблеме - оптимизации сети гидрогеологического и экологического мониторинга по уровням подземных вод.

Установлено, что исследования состояния подземных вод следует осуществлять в пределах отдельных суббасейнив и с учетом гидрогеологических особенностей исследуемой территории.

В связи с неоднородностью рядов данных, разработана методика заполнения пропусков для построения эталонных рядов уровней подземных вод.

Выполнен анализ основных факторов загрязнения и изменения уровней подземных вод и построено карту рисков оценки состояния подземных вод.

Создана карта сети гидрогелогичного и экологического мониторинга, которая представляет собой совокупность наблюдательных пунктов, которые позволят качественно и количественно проводить наблюдения в пределах отдельного бассейна.

Ключевые слова: мониторинг, уровни подземных вод, наблюдательные скважины

ANNOTATION

Tymkiv M.M. Optimization of the network of wells of hydrogeoecological monitoring (on the example of the Prypiat river basin). – Manuscript copyright

The dissertation on competition of a scientific degree candidates of geological sciences on a specialty 21.06.01 - ecological safety. - State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the ecological problem - optimization of the network of hydrogeological and ecological monitoring by groundwater levels.

The conducted theoretical researches allowed to take a complex approach to the solution of the set tasks. The author has built a detailed cartographic model of groundwater levels in the Prypiat River basin. The algorithm of building a network of hydrogeoecological monitoring at the local level is systematized and improved.

A method of filling in data with gaps is proposed and tested, and the calculation of the reference series as a function describing groundwater levels, regardless of the amount of data being studied, is performed.

The analysis of the factors influencing an ecological condition and level of underground waters within the investigated territory is carried out. Based on this, the ecological and geological risks of groundwater pollution were assessed. The total risk was calculated as the sum of the risks of damage to each of the sub-basins by amber mining zones, the impact of the territory from the activities of enterprises, the population and natural wetlands.

The method of data processing for optimization of the hydrogeological monitoring network on the basis of geostatistical analysis in the geoinformation environment is presented. The final stage of the work is the optimization of the well network of the hydrogeoecological monitoring system of the Pripyat river basin. The results of geoinformation and geostatistical analysis showed the need to increase the number of existing observation wells by 2.5 times (up to 101 monitoring points). The location of the wells of the design network takes into account the zoning of the territory according to the hydrodynamic principle and corresponds to the regular scheme of distribution of observation points..

Key words: monitoring, groundwater levels, observation wells