

УДК 55:502.6

О.С. Аксьом асист.

ОЦІНКА ПРИРОДНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД УМАНСЬКОГО ДЕНДРОПАРКУ "СОФІЇВКА" ЗАСОБАМИ ARCGIS 8.1.

Запропоновано методику просторового ГІС аналізу для оцінки природної захищеності підземних вод на прикладі дендропарку "Софіївка". Наведено алгоритм інтеграції даних в середовище ГІС для проведення просторового аналізу.

It is offered a spatial GIS analysis technique for groundwater natural security estimation for the dendrology park "Sofiivka". The GIS integration data algorithm for spatial analysis is submitted.

Постановка проблеми. Розвиток заповідної справи, створення нових заповідних об'єктів є практичним втіленням екологічної політики держави в напрямку збереження унікальних і типових ландшафтів. В зв'язку з цим, набуває актуальності вивчення і контроль стану підземної гідросфери, тому що підземні води є активним розповсюджувачем забруднюючих речовин на значній території, де розташовані заповідні об'єкти.

Аналіз проблеми. Об'єктом дослідження даної роботи є територія дендрологічного парку "Софіївка" в м. Умань, Черкаської області, який є одним з найвидатніших пам'ятників садово-паркової культури, створений в кінці XVIII — на початку XIX століть. Площа заповідної території в сучасних умовах становить 84,0 га. Територія парку "Софіївка" в сучасних кордонах становить 117,4 га. Вона обмежена садибною забудовою та угіддями Уманської сільськогосподарської академії, відділеними свого часу від паркової території за відомчим принципом.

За довгі роки свого існування ландшафтні умови та біологічне різноманіття дендрологічного парку зазнали значних змін. Цьому у певній мірі сприяло і розташування парку, який знаходиться в північно-східній частині міста, територія якого, відповідно до екологічної специфікації, належить до агломерації промислово-аграрного типу. Звичайно, зростання як промислового так і сільськогосподарського виробництва збільшило техногенне навантаження на довкілля. Промислові підприємства, агропромислові комплекси, об'єкти комунального господарства — основні складові, що впливають на стан навколишнього природного середовища, а отже, відповідно, й на геологічне середовище.

Геологічне середовище є головним накопичувачем забруднюючих речовин (радіонуклідів, важких металів, токсичних органічних сполук і т. д.), які надходять з рідкими та твердими відходами, а також повітряними викидами виробничої діяльності. Починаючи з 80-х рр. минулого століття підприємства та організації колишнього Міністерства геології УРСР, виконали значний обсяг еколого-геологічних робіт в основному на регіональному рівні. Для території України були розроблені критерії порушення екологічного стану геологічного середовища. В результаті проведеного районування виділено наступні території: з дуже несприятливим станом геологічного середовища, з несприятливим станом геологічного середовища та зі сприятливим станом геологічного середовища.

Місто Умань потрапляє в район першої градації, який є аномальним острівцем в західній частині Черкаської області. Окрім цього, м. Умань оковане ореолом з інтенсивним техногенним навантаженням.

В останній час гостро постає питання охорони парків, оскільки, як показують результати гідрохімічної зйомки, існуючі охоронні межі Дендропарку "Софіївка" не забезпечують належного захисту підземних та поверхневих вод.

Згідно Закону України "Про природно-заповідний фонд України" [4], дендрологічні парки створюються з метою збереження і вивчення у спеціально створених умовах різноманітних видів дерев і чагарників та їх композицій для найбільш ефективного наукового, культур-

ного, рекреаційного та іншого використання. Земельні ділянки з усіма природними ресурсами вилучаються з господарського використання і надаються дендрологічним паркам у порядку, встановленому цим Законом та іншими актами законодавства України.

На території дендрологічних парків забороняється діяльність, що не пов'язана з виконанням покладених на них завдань і загрожує збереженню дендрологічних колекцій. На території дендрологічних парків може бути проведено зонування відповідно до вимог, встановлених для ботанічних садів. Проект організації території дендрологічного парку розробляється спеціалізованими науковими та проектними установами і затверджується органом, у підпорядкуванні якого перебуває дендрологічний парк, за погодженням з: центральним органом виконавчої влади в галузі охорони навколишнього природного середовища — щодо дендрологічних парків загальнодержавного значення; органами центрального органу виконавчої влади в галузі охорони навколишнього природного середовища на місцях — щодо дендрологічних парків місцевого значення [4].

Формально ці умови виконуються, але забруднення надходить з прилеглих територій, на котрих проводяться сільськогосподарські роботи, розташовані склади добрив, отрутохімікатів, паливо-мастильних матеріалів, тобто присутні "приховані ризики". Внесення добрив зумовило стійке та довготривале надходження нітратів та пестицидів у підземні води — основного і найбільш стійкого до техногенезу джерела господарсько-питного водопостачання. За таких умов виникає потреба в обґрунтуванні та створенні декількох охоронних меж різного призначення з певними обмеженнями.

Гідрогеологічні умови території парку досить складні. В межах району досліджень виділені наступні водоносні горизонти: водоносний горизонт в сучасних алювіальних відкладах; водоносний горизонт в нерозчленованих середньо-верхньочетвертинних еолово-делювіальних відкладах; водоносний горизонт тріщинуватої зони докембрійських кристалічних порід та їх кори вивітрювання. Живлення водоносних горизонтів відбувається безпосередньо за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, рух вод спрямований в бік сучасної річкової мережі, де в значній мірі відбувається їх розвантаження.

В долині р. Кам'янка верхній водотрив водоносного горизонту в кристалічних породах або відсутній, або невеликої потужності і не витриманий по площі. Тому поверхневі та ґрунтові води алювіальних відкладів гідравлічно взаємозв'язані з підземними водами кристалічних порід.

На вододільних плато з поверхні залягають лесовидні суглинки. В цих суглинках можуть акумулюватися ґрунтові води. Коефіцієнти фільтрації суглинків, за даними дослідно-фільтраційних і лабораторних робіт, змінюються від 0,073 до 1,0 м/добу. Згідно з розрізами експлуатаційних свердловин, лесовидні суглинки залягають на неогенових глинах. Коефіцієнти фільтрації цих глин становлять 10^{-3} – 10^{-4} м/добу. Загальна потужність суглинків разом з глинами досягає 40,0 м, при середній потужності глин близько 12,0 м.

Гідродинамічна ситуація в районі розміщення водо-забірних свердловин на угіддях сільськогосподарської академії наступна: раніше п'єзометричні рівні підземних вод кристалічних порід співпадали в основному з рівнями ґрунтових вод. Зараз, в результаті постійного відбору підземних вод їх п'єзометричні рівні знаходяться нижче рівнів ґрунтових вод.

За результатами гідрохімічної зйомки [5], в районі дендропарку підземні води тріщинуватої зони кристалічних порід (основний водоносний горизонт для господарсько-питного водопостачання), забруднені нітратами (до 3,4 ГДК), важкими металами — барієм, титаном, марганцем (до 3-16 ГДК). Побутові відходи, використання мінеральних добрив у приватному секторі і на ділянках сільськогосподарської академії та учоспу зумовили надмірне накопичення азотних сполук в ґрунтах, які в результаті інфільтрації атмосферних опадів проникають у підземні води. Нітратне і нітритне забруднення спостерігалось в р. Кам'янка, а нітритне і амонійне — в ставі №1. В окремих пробах води із річки й ставів виявлено вміст магнію, марганцю та міді, що перевищує ГДК для водних об'єктів культурно-побутового і рибогосподарського призначення. В мулових розчинах донних відкладів р. Кам'янка й Лісового озера спостерігалось забруднення нітритами й амонійним азотом. Донні відклади забруднені також магнієм, марганцем та міддю.

Постановка завдання. Мета роботи полягає в просторовій оцінці природної захищеності підземних вод в районі дендропарку "Софіївка". Під природною захищеністю підземних вод розуміється сукупність геологічних та гідрогеологічних умов, що перешкоджають проникненню забруднюючих речовин у водоносні горизонти. До таких умов відноситься: глибина залягання підземних вод; літологічний склад порід зони аерації; потужність і водопроникність водотривких та слабопроникних порід, які залягають в покрівлі водоносного горизонту; співвідношення рівнів ґрунтових та міжпластових вод.

Якісна оцінка захищеності напірних вод виконується відповідно до потужності водотриву, чи по відношенню потужності водотриву до його коефіцієнту фільтрації, з використанням даних про співвідношення рівнів підземних вод.

Проф. В.М. Гольдберг, виділяє наступні градації потужності водотриву m_0 : I — $m_0 \leq 5$ м; II — $5 \text{ м} < m_0 \leq 10$ м; III — $10 \text{ м} < m_0 \leq 20$ м; IV — $20 \text{ м} < m_0 \leq 30$ м; V — $30 \text{ м} < m_0 \leq 50$ м; VI — $m_0 > 50$ м.

При використанні двох показників (потужності водотриву m_0 та співвідношення рівнів H_2 напірного горизонту і H_1 верхнього горизонту) виділені основні головні групи захищеності напірних вод:

I "Захищені" — напірні води перекриті витриманим по площі без порушень водотривом при $m_0 > 10$ м та $H_2 > H_1$;

II "Умовно захищені" — напірні води перекриті витриманим по площі без порушень водотривом при $5 \text{ м} < m_0 \leq 10$ м та $H_2 > H_1$ або $m_0 > 10$ м, $H_2 \leq H_1$;

III "Незахищені" — водотриви невеликої потужності $m_0 \leq 5$ м $H_2 \leq H_1$, або водотриви не витримані по площі, є порушення суцільності і $H_2 < H_1$.

Для оцінки природної захищеності підземних вод території, що вивчається, було використано ряд звітів про геологічні та гідрогеологічні роботи, котрі в різний час були виконані на території Умані [2, 5, 6].

Кількісна оцінка захищеності напірних вод може бути виконана за часом фільтрації забруднених вод з горизонту, що залягає вище в горизонт, що досліджується через водотрив, що їх розділює. Час фільтрації залежить від потужності водотриву, коефіцієнту фільтрації водотривких порід та наближено оцінюється за залежністю запропонованою проф. В.М. Гольдбергом [3], ко-

ли рівень підземних вод другого водоносного горизонту нижче ніж в першому:

$$t = \frac{m_0^2 n}{K_0 \Delta H}, \quad (1)$$

де: m_0 — потужність водотриву; n — активна пористість водотривких порід; K_0 — коефіцієнт фільтрації водотривких порід; $\Delta H = H_1 - H_2$ (різниця між рівнями ґрунтових вод та другого водоносного горизонту).

Із параметрів, котрі входять у формулу, найменш вивченим є пористість (активна пористість) слабопроникних порід. Тому в розрахунках часу фільтрації через водотриви пористість може бути прийнята рівною 0,01.

Кількісна оцінка захищеності виконується при $H_2 < H_1$, оскільки в цьому випадку існують гідродинамічні умови для перетікання забруднених вод зверху.

Проф. В.М. Гольдберг запропонував наступні градації часу фільтрації забруднених вод з верхнього горизонту в горизонт напірних вод: $t \leq 1$; $1 < t \leq 5$; $5 < t \leq 10$; $10 < t \leq 20$ та $t > 20$ років.

Виділеним градаціям часу фільтрації відповідають градації захищеності: I — $t \leq 1$ р.; II — $1 \text{ р.} < t \leq 5$ р.; III — $5 \text{ р.} < t \leq 10$ р.; IV — $10 \text{ р.} < t \leq 20$ р.; V — $t > 20$ р. Градація I — відповідає групі "незахищені", градації II-IV — групі "умовно захищені".

Методика та результати досліджень. Для реалізації поставленої мети, був застосований просторовий або оверлейний аналіз [7, 8], котрий дозволяє отримати безперервну поверхню, в нашому випадку карту захищеності підземних вод. Для моделювання був використаний програмний продукт ArcMap 8.1 з пакету ArcGIS™ від ESRI.

Інструмент *Raster Calculator* в модулі *Spatial Analyst* дозволяє проводити операції з формулами, де замість одиничних значень можуть використовуватись растрові моделі поверхонь, а кінцевий результат отримується також у вигляді поверхні, де Z-фактор буде відображати інформацію про час вертикальної фільтрації забруднених вод з верхнього горизонту в горизонт тріщинних вод [1].

В результаті роботи було створено цифрову модель рельєфу, змодельовано поверхні ґрунтових та напірних вод, а також потужності водотриву. Аналіз складався з наступних етапів: оцифровка відповідних карт, прив'язка даних до єдиної координатної системи в середовищі ArcGIS 8.1, побудова цифрових моделей та їх конвертація в растрові моделі. Оцифровка відсканованих паперових носіїв була необхідна для переведення даних у векторний вигляд. Прив'язка до єдиної координатної системи забезпечувала картографічну точність та відповідність реальним умовам (відстані та площі на електронних картах).

Алгоритм створення растрової моделі для аналізу наведено на прикладі шару рельєфу, для чого необхідно наступне.

1. Створити шар ізоліній рельєфу у векторній формі. Для цього були оцифровані ізолінії растрової топооснови (ISOLINE_POLYLINE);

2. На основі шару ізоліній рельєфу, за допомогою модулю *3D Analyst* створити векторну модель рельєфу. У векторних системах представлення поверхні провадиться за допомогою моделі *нерегулярної триангуляційної мережі (triangulated irregular networks (TIN))*, що є одним із засобів представлення Z-величини (TIN_REL).

3. Оскільки на такій моделі незручно проводити розрахункові операції, звичайно її перетворюють у растрову модель. Конвертувати векторну модель в растрову можна за допомогою інструменту *Convert TIN to raster* з модулю *3D Analyst*. В результаті виходить те, що називають *дискретною матрицею ви-*

сот. Ця матриця відповідає методу растрового зображення поверхні, коли кожна точка несе лише одне значення висоти [GRID_REL]. Растрові моделі рівнів підземних вод першого та другого водоносних горизонтів, а також потужності водотривкого шару були отримані подібним чином.

Заключний етап полягав у використанні так званої "алгебри карт", серії просторових запитів за допомогою інструменту Raster Calculator з модулю Spatial Analyst для обрахування захищеності підземних вод за залежністю, запропонованою проф. В.М. Гольдбергом [3] (рис. 1).

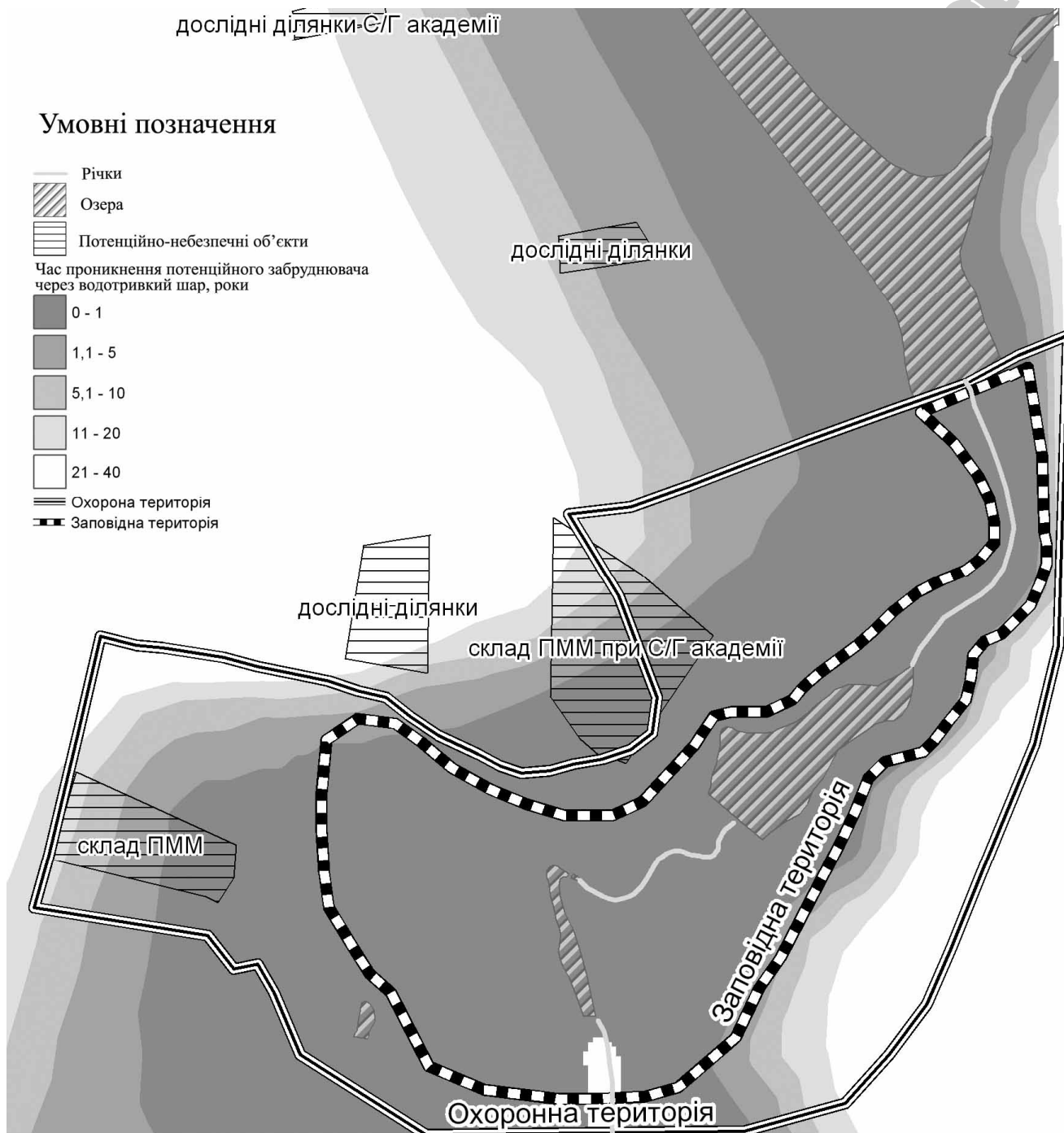


Рис. 1. Карта захищеності підземних вод парку "Софіївка"

Використовуючи залежність 1 в інструменті *Raster Calculator*, необхідно зробити заміну, підставляючи у замість значень m_0 — шар потужності водотриву [GRID_BED], а замість $\Delta H = H_1 - H_2$ — різницю між поверхніми рівнів ґрунтових вод та тріщинних вод [GRID_GRW1] – [GRID_GRW2]:

$$t = \frac{[\text{grid_bed}]^2 * n}{K_0 * ([\text{grid_grw1}] - [\text{grid_grw2}])}, \quad (2)$$

де: [GRID_BED] — шар потужності водотриву; n — активна пористість водотривких порід; K_0 — коефіцієнт фільтрації водотривких порід; [GRID_GRW1]–[GRID_GRW2] — різниця між рівнем ґрунтових вод та напором тріщинних вод. Після класифікації, на карті були виділені зони відповідної захищеності (рис. 1).

Висновки

За результатами аналізу встановлено, що підземні води тріщинуватої зони кристалічних порід (основний водоносний горизонт для господарсько-питного водопостачання), **не захищені зовсім або умовно захищені**, існуючі охоронні межі були створені без врахування гідрогеологічних умов і, на теперішній час, не є ефективні. Беручи до уваги сучасну забудову прилеглої території парку, розширення його охоронних меж практично неможливе. В даному випадку рекомендується організувати систему моніторингу.

Приклад дендрологічного парку "Софіївка" доводить, що в майбутньому має бути вдосконалена методика обґрунтування вибору охоронних меж заповідних територій, перш за все з огляду на особливості гідрогеологічної (оцінити захищеність підземних вод), та геологічної будови району, а при необхідності – створення додаткових поясів обмеженої діяльності, з відповідним затвердженні в чинному законодавстві.

1. Аксьом О.С. Реалізація можливостей оверлейного аналізу засобами ArcGis 8.1 для оцінки природної захищеності підземних вод в районі дендропарку "Софіївка" // Труды міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні проблеми охорони довкілля, раціонального використання водних ресурсів та очистки природних і стічних вод". 20-23 квітня 2004 р., м. Миргород К.: Т-во "Знання" України, 2004 р. –с. 125-129.
2. Бондаренко В. И., Сухова Л. Л. Отчет о результатах поисков и предварительной разведки подземных вод на Бабановском и Янтранском участках для водоснабжения г. Умани Черкасской обл. УССР. Подсчет запасов на 01.09.78 г.3) — Киев: "Киевгеология", 1978. 255 с.
3. Гольдберг В. М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. — Л.: Гидрометиздат, 1987. 120с.
4. Збірник законодавчих актів України про охорону навколишнього природного середовища. В 3-х томах. Т. 1. Чернівці, 1996р. -340с.
5. Звіт про науково-дослідну роботу по темі: "Розробка системи моніторингу геологічного середовища в районі дендрологічного парку "Софіївка" (м. Умань)". Київ, 2001р. -59с.
6. Рослий А. Г. Отчет о разведке Пиковецкого уч-ка Уманского месторождения подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. — Киев: "Киевгеология", 1971. 170 с.
7. Introduction to ArcGIS™ (for ArcView 8, ArcEditor 8, and ArcInfo 8). Copyright © 2001 ESRI. -174p.
8. Shaner J. & Wrightsell J. Editing in ArcMap™ Tutorial. Copyright © 2000 ESRI. 40p.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.837

М.В. Рева, канд. фіз.-мат. наук
Т.В. Руденко, пров. інж.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕТЛИ, РОЗТАШОВАНОЇ НАД БАГАТОШАРОВИМ ПРОВІДНИМ НАПІВПРОСТОРОМ

В статті виконаний розв'язок задачі про інтегральні характеристики індукційної петлі, розташованої над шаруватим провідним напівпростором. Принципова розробка встановлює зв'язок параметрів багатопшарового електричного розрізу з інтегральними характеристиками індукційної петлі, що живиться гармонійним струмом, і цим самим забезпечує теоретичне підґрунтя нового методу електрометричних досліджень, названого інтегральними індукційними зондуваннями.

The paper presents a completed solution for the task about integral characteristics of an induction loop situated above a layered conductive half-space. The principal development sets up relation between multilayers electric section parameters and integral characteristics of an induction loop feeded with harmonic current. This is to provide theoretical ground for a new electromagnetic exploration technique, being named integral induction sounding.

В роботах [1,2] запропонований і висвітлений новий принцип електромагнітних досліджень земних надр, названий інтегральним. Цей принцип ґрунтується на тому, що в ньому за інформативні характеристики використовуються не диференціальні параметри електромагнітного поля, зокрема напруженість магнітного поля, а частотні залежності інтегральних характеристик самого джерела збудження – його активний опір і індуктивність. Отже, як за способом виміру, так і за фізичною сутністю вимірюваних параметрів цей принцип, на відміну від відомих, що використовуються в практиці електрометричних досліджень, є інтегральним.

В методі інтегральних індукційних зондувань в якості джерела збудження використовується індукційна незаземлена петля, що живиться гармонійним електричним струмом. В статтях [2,3] виконані принципові розробки теорії нового методу для двох важливих в електрометрії моделей – тонкого провідного шару та однорідного провідного напівпростору, які, як правило, є еталонними і використовуються для нормування вимірюваних експериментальних даних. В даній статті виконаємо розв'язок основної задачі теорії інтегральних індукційних зондувань в рамках прийнятої в електрометрії класичної моделі багатопшарового розрізу.

Отже, розглянемо індукційну круглу петлю радіусом r_0 (рис.1), яка живиться гармонійним струмом сили I , розташовану на висоті h над горизонтально-шаровим напівпростором з електропровідністю провідного довільного пласта $\gamma = 1/\rho_i$ і потужністю h_i ($i=1,2,...,p$). Припускаємо також, що

магнітна проникність цих пластів рівна магнітній проникності непровідного напівпростору ($\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м). Необхідно визначити квазістаціонарне магнітне поле у верхньому напівпросторі та інтегральні характеристики петлі.

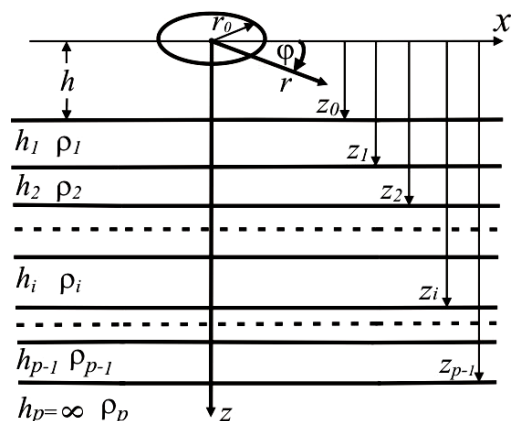


Рис.1. Індукційна петля над багатопшаровим розрізом.

При вирішенні даної задачі можна скористатися результатами робіт [2,3] і визначити магнітне поле $\mathbf{H}^{(0)}$ у верхньому напівпросторі через його скалярний потенціал ($\mathbf{H}^{(0)} = -\text{grad}U$), який задовольняє рівнянню Лапласа ($\Delta U = 0$). Оскільки вихідні рівняння, умови симетрії та