# ВІСНИК
## КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ISSN 1728–2713

**ГЕОЛОГІЯ** 1(60)/2013

Засновано 1958 року

УДК 504+550+551+552+624



Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних та геоінформаційних досліджень викладачів та наукових співробітників геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Приведены результаты геологических, стратиграфических, палеонтологических, гидрогеологических, геофизических и геоинформационных исследований преподавателей и научных сотрудников геологического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Visnyk deals with results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformational investigations carried out by lectures and scientific researches of geological faculty, Kyiv Taras Shevchenko University.

For scientists, proffessors, aspirants and students.



Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

| | |
|---|---|
| ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР | В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф. |
| РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ | І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; В.Ф. Грінченко, д-р геол. наук, проф.; В.М.Гулій, д-р геол. наук, проф.; М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, доц.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, доц.; В.М. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.І. Лукієнко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.В.Митрохин, д-р геол. наук, доц.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, доц.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; В.І. Павлишин, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Г.Т. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.І. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Ю.К. Тяпкін, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; С.Є. Шнюков, д-р геол. наук, доц.; В.М. Шуман, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.А. Якимчук, чл.-кор. НАН України, д-р фіз.-мат. наук, проф. |
| Адреса редколегії | 03022, Київ-22, ГСП-1, вул. Васильківська, 90; ☎ (38044) 259 70 30 |
| Затверджено | Вченою радою геологічного факультету<br>10 квітня 2013 року (протокол № 12) |
| Атестовано | Вищою атестаційною комісією України.<br>Постанова Президії ВАК України<br>№ 1–05/6 від 12.06.02 |
| Зареєстровано | Міністерством юстиції України.<br>Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 16181–4653Р від 25.12.09 |
| Засновник та видавець | Київський національний університет імені Тараса Шевченка,<br>Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"<br>Свідоцтво внесено до Державного реєстру<br>ДК № 1103 від 31.10.02 |
| Адреса видавця | 01601, Київ-601, б-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43<br>☎ (38044) 239 3172, 239 3222; факс 239 3128 |



© Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2013

# ЗМІСТ

## ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

**Шевчук В., Кравченко Д., Мазко А., Хабанець І.**
Первомайська граніто-гнейсова монокліналь у розрізі вздовж р. Південний Буг ..... 5

## МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

**Дубина О., Кривдік С.**
Геохімія грорудитів Східного Приазов'я ..... 8

## ГЕОФІЗИКА

**Бурахович Т., Кушнір А., Зайцев Г., Ширков Б.**
Аномальна електропровідність земної кори східної частини Приазовського мегаблоку ..... 12
**Камілова О., Кулик В., Бондаренко М., Кетов А., Дейнеко С.**
Визначення параметрів техногенних залізовмісних порід комплексом радіоактивного каротажу (на прикладі хвостосховища Північного ГЗК) ..... 16
**Солодкий Є., Карпенко О.**
Пористість газонасичених колекторів за даними ГДС ..... 20
**Безродний Д.**
Дослідження впливу кристалографічної орієнтації мінералів на параметри пружної і акустичної анізотропії біотитових сланців Криворіжжя ..... 24
**Меньшов О.**
Магнетизм верхньої частини розрізу земної кори: природна та техногенна складові ..... 28
**Безродна І.**
Оцінка структури пустотного простору та типів порід-колекторів свердловини № 1 Ліщинської площі Волино-Поділля ..... 32
**Малицький Д., Грицай О., Муйла О.**
Особливості побудови механізмів місцевих землетрусів на прикладі Берегівської події 23.11.2006 р. ..... 37
**Бублясь В., Бублясь М.**
Процеси і явища в мікрогеодинамічних зонах покривних відкладів рівнинних територій ..... 42
**Бондар К., Ерліх В., Віршило І., Кравченко Д.**
Просторова структура Ешерського городища античної доби за даними високоточної магнІторозвідки ..... 47
**Решетник М.**
Малоглибинна магнітометрія у польових дослідженнях геологічної структури докембрійського фундаменту ..... 51

## ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

**Андрєєва О., Курило М.**
Використання сучасних класифікацій запасів і ресурсів при оцінках вітчизняних родовищ бентонітових глин ..... 56

## ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

**Щербак О.**
Методичні аспекти оцінки антропогенного впливу на підземну гідросферу на прикладі Херсонської області ..... 59
**Шевченко О.**
Ретроспективний аналіз пріоритетності чинників мобілізації забруднюючих речовин ..... 63

## ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

**Вижва З.**
Статистичне моделювання сейсмічного шуму у тривимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища ..... 69
**Міненко П.**
Теоретичні основи ітераційних методів оптимізації стійких розв'язків обернених задач гравіметрії та магнітометрії ..... 73
**Остроух О.**
Науково-методичний підхід до опрацювання гідрогеологічної інформації з використанням геоінформаційних технологій (на прикладі хімічного складу підземних вод південно-західної частини Закарпатської області) ..... 75
**Цибульський В., Трипільський О., Кузьменко П.**
Концептуальна модель як складова процесу інтерпретації сейсмічних даних ..... 79

# СОДЕРЖАНИЕ

## ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

**Шевчук В., Кравченко Д., Мазко А., Хабанець И.**
Первомайская гранито-гнейсовая моноклиналь в разрезе вдоль р. Южный Буг ..... 5

## МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

**Дубина А., Кривдик С.**
Геохимия грорудитов Восточного Приазовья ..... 8

## ГЕОФИЗИКА

**Бурахович Т., Кушнир А., Зайцев Г., Ширков Б.**
Аномальная электропроводность земной коры восточной части Приазовского мегаблока ..... 12
**Камилова А., Кулик В., Бондаренко М., Кетов А., Дейнеко С.**
Определение параметров техногенных железосодержащих пород комплексом радиоактивного каротажа (на примере хвостохранилища Северного ГОК) ..... 16
**Солодкий Е., Карпенко А.**
Пористость газонасыщенных коллекторов по данным ГИС ..... 20
**Безродный Д.**
Исследование влияния кристаллографической ориентации минералов на параметры упругой и акустической анизотропии биотитовых сланцев Криворожья ..... 24
**Меньшов А.**
Магнетизм верхней части разреза земной коры: естественная и техногенная составляющие ..... 28
**Безродная И.**
Оценка структуры пустотного пространства и типов пород-коллекторов скважины № 1 Лищинской площади Волыно-Подолья ..... 32
**Малицкий Д., Грицай О. Муйла О.**
Особенности построения механизмов местных землетрясений на примере Береговского события 23.11.2006 г. ..... 37
**Бублясь В., Бублясь М.**
Процессы и явления в микрогеодинамических зонах покровных отложений равнинных территорий ..... 42
**Бондарь К., Эрлих В., Виршило И., Кравченко Д.**
Пространственная структура Эшерского городища античной эпохи по данным высокоточной магниторазведки ..... 47
**Решетник М.**
Малоглубинная магнитометрия в полевых исследованиях геологической структуры докембрийского фундамента ..... 51

## ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Андреева Е., Курило М.**
Использование современных классификаций запасов и ресурсов при оценках отечественных месторождений бентонитовых глин ..... 56

## ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

**Щербак О.**
Методические аспекты оценки антропогенного воздействия на подземную гидросферу на примере Херсонской области ..... 59
**Шевченко А.**
Ретроспективный анализ приоритетности факторов мобилизации загрязняющих веществ ..... 63

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

**Выжва З.**
Статистическое моделирование сейсмического шума в трехмерной области переменных для определения частотных характеристик геологической среды ..... 69
**Миненко П.**
Теоретические основы итерационных методов оптимизации устойчивых решений обратных задач гравиметрии и магнитометрии ..... 73
**Остроух О.**
Научно-методический подход к обработке гидрогеологической информации с использованием геоинформационных технологий (на примере химического состава подземных вод юго-западной части Закарпатской области) ..... 75
**Цибульский В., Трипольский А., Кузьменко П.**
Концептуальная модель как составляющая процесса интерпретации сейсмических данных ..... 79

# CONTENTS

## GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

**Shevchuk V., Kravchenko D., Mazko A., Khabanets I.**
Pervomayskaya granite-gneiss monocline in the section along river South Bug ....5

## MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

**Dubyna O., Kryvdik S.**
Geochemistry of grorudites from the East Azov area ....8

## GEOPHYSICS

**Burahovich T., Kushnir A., Zaitsev G., Shyrkov B.**
Anomalous Electrical Conductivity of the Crust of Easten Part of Preasov Megablock ....12
**Kamilova O., Kulyk V., Bondarenko M., Ketov A., Deineko S.**
Determination of parameters of technogenic iron-bearing rocks by complex radioactive logging (by the example of tailing dump of Northern mine and concentrator complex) ....16
**Solodkiy E., Karpenko O.**
The porosity of gas-saturated reservoirs on GIS data ....20
**Bezrodny D.**
Influence crystallographic orientation of minerals on the elastic parameters and acoustic anisotropy of biotite schists Kryvorizhzhya....24
**Menshov O.**
Magnetism of the Earth's crust upper part: natural and technogenic components....28
**Bezrodna I.**
Evaluation of structure of empty space and types of rock-reservoirs borehole № 1 Lishchynska area Volyno-Podillya....32
**Malytskyy D., Hrytsai O., Muyla O.**
The features of the construction of the focal mechanisms of local earthquakes using the example of an event near Beregovo 23.11.2006....37
**Bublyas V., Bublyas M.**
Processes and phenomena in the microdynamic zones of covering deposits within the plain territories....42
**Bondar K., Erlikh V., Virshylo I., Kravchenko D.**
Space structure of antique Eshera settlement from high-presicion magnetic prospecting....47
**Reshetnyk M.**
Small deep magnetometric on field investigation of geological structure of Precambrian basement ....51

## MINERAL RESOURCES

**Andryeyeva O., Kurylo M.**
Modern classifications of reserves and resources application in evaluating domestic deposits of bentonitic clays ....56

## HYDROGEOLOGY, ENGENEERING AND ECOLOGICAL GEOLOGY

**Scherbak O.**
Methodological aspects of assessing anthropogenic load on the underground hydrosphere by example of Kherson region ....59
**Shevchenko O.**
Retrospective analysis of the priority factor in the mobilixation pollutants ....63

## GEOLOGICAL INFORMATICS

**Vyzhva Z.**
The statistical simulation of 3-D seismic noise for frequency characteristics of geology environment determination ....69
**Minenko P.**
Theoretical bases of iterative methods of optimization of steady decisions of return problems gravimetry and a magnetometry ....73
**Ostroukh O.**
Scientific-methodological approach for processing hydrogeological information using GIS technology (example chemical composition of groundwater southwestern part of Zakarpattia region)....75
**Tsybulskyi V., Trypilskiy O., Kuzmenko P.**
Principal modelas as a part of seismic data interpretation ....79

## ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.253 + 549.651

**В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,**
**Д. Кравченко, канд. геол. наук, доц.**
**А. Мазко, здобувач, І. Хабанець, магістр**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# ПЕРВОМАЙСЬКА ГРАНІТО-ГНЕЙСОВА МОНОКЛІНАЛЬ У РОЗРІЗІ ВЗДОВЖ р. ПІВДЕННИЙ БУГ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. М.І. Толстим)*

***На основі структурно-петрологічних досліджень виділено Первомайську граніто-гнейсову монокліналь як палеопротерозойський вираз Первомайської зони розломів. Показано розповсюдженість різних типів тектонітів і зональну будову граніто-гнейсової монокліналі, з'ясовано зв'язок деформаційних процесів та гранітоїдного петрогенезису під час її формування.***

**Проблематика та мета досліджень.** Первомайська зона розломів (ПЗР) субмеридіонального простягання традиційно сприймається як одна з найважливіших розломних зон Українського щита (УЩ). Разом із Тальнівською зоною розломів вона обмежує Голованіський блок або південну частину Голованівської шовної зони. Північним продовженням ПЗР часто вважають Трактемирівську розломну зону, з якою вона об'єднується в єдину Первомайсько-Трактемирівську граничну зону розломного характеру, що відокремлює Кіровоградський мегаблок УЩ від Росинсько-Тікицького та Дністровсько-Бузького мегаблоків [1, 2, 3].

Граничні функції ПЗР виглядають доволі виразними починаючи з палеопротерозою, оскільки вона слугує західною межею розповсюдження утворень інгулоінгулецької серії. Це дозволяє припускати існування тектонічної межі субмеридіонального простягання з початку палеопротерозою, однак дані щодо найбільш раннього її геологічного виразу, параметрів та внутрішньої будови практично відсутні. Вони можуть бути отримані шляхом ретельного дослідження розповсюдженості архейських структурно-формаційних комплексів (СФК), але їх коректна ідентифікація сама по собі складає суттєву регіональну проблему. Надзвичайно потужна тектоно-магматична активізація кінця палеопротерозою, що привела до контрастування мегаблоковості УЩ і глибоких деформаційних і речовинних перетворень усіх стратигенних СФК УЩ, передусім у межах шовних структур. Тому вік закладання ПЗР часто сприймається саме палеопротерозойським. До того ж, за даними геологічного картування, межа між архейськими побузьким гранулітовим і тікицьким плагіогранiт-амфіболітовим СФК за простяганням не співпадає із ПЗР, розділяючи Голованівську шовну зону у субширотному напрямку.

Разом з тим, виявлені у межах ПЗР релікти архейських СФК мають у межах ПЗР стійке північно-західне простягання, близьке до простягання зони у більш пізньому її виразі, що може свідчити про допалеопротерозойське її закладення. Зокрема, О.С. Іванушко, підкреслюючи наявність чіткої субвертикальної смугастості у гнейсах і мігматитах, розрізняв різновікову смугастість двох генетичних типів [4].

Важливе значення для розуміння будови ПЗР мала праця П.С. Верем'єва і В.А. Рябенка [1], у якій відзначено зв'язок деформаційних процесів із калієвим метасоматозом і пегматоїдним жилоутворенням, тобто синдеформаційний характер гранітоїдів. Зображаючи на геологічній схемі складчасту будову зони, автори підкреслюють, що внутрішня її частина складена сланцюватими смугастими бластомілонітами гранітоїдного складу із крутим північно-східним падінням. Відзначено також поширення сланцюватості, вираженої порфіробластами калієвого польового шпату, облямованими лінзоподібними агрегатами сірого кварцу. Спостереження за згинами смугастості та прирозломними складками волочіння дозволили авторам зробити висновок про лівозсувні переміщення в межах розлому, попри те, що на ранніх етапах його розвитку мали місце значні вертикальні рухи.

Ґрунтовні структурно-тектонофізичні дослідження ПЗР здійснені О.Б. Гінтовим, за якими ПЗР обмежує зі сходу Голованівську міжблокову шовну зону. Тектоніти, на думку О.Б. Гінтова, "концентруються" у трьох головних зонах сколювання: Синюхинобродській, Ольшанській та Константинівській, що утворюють кулісоподібний ряд. Простягання зон сколювання – 345° при повсюдному розвиткові елементарних та ешелонованих сколів – 357°.

При розгляді кінематики зони розломів О.Б. Гінтов дійшов висновку, що виділені зони сколювання у кожну фазу розломоутворення характеризуються однаковими усередненими азимутами простягання при значній змінності кутів падіння. Відзначається, що елементарні сколи виражені бластомілонітами, псевдотахілітами і мілонітами, а структури стиснення – динамометаморфічною смугастістю і бластомілонітами. Як структури розтягу аналізуються такі зони тріщинуватості і жильні тіла гранітів, які співрозмірні із елементарними сколами і знаходяться у позиції Т-структур другого порядку.

Враховуючи ту обставину, що кристалічні сланці і гнейси бузької серії інтенсивно деформовані з утворенням структур підвороту і складок волочіння, а кіровоградські граніти деформовані значно слабше, зроблено висновок про закладання Первомайської зони у кінці пізнього архею – на початку раннього протерозою [3].

Погоджуючись із наведеними даними геологічного і тектонофізичного спрямування, відзначимо проблему співвідношень речовинних та деформаційних (структурних) перетворень, зокрема характеру палеопротерозойського гранітоутворення в межах шовних зон УЩ. Досі залишається актуальним ряд аспектів геологічної будови ПЗР, її структурної еволюції та зв'язку деформаційних та плутоно-метаморфічних процесів. Концентрація в ПЗР генетично різноманітних палеопротерозойських гранітоїдів загострює увагу до з'ясування динамо-кінематичних умов палеопротерозойського гранітоутворення, стадійність якого, окрім іншого, виступає віковим репером процесів тектогенезу. Саме в межах прибузької частини ПЗР з'ясовувались співвідношення палеопротерозойського двопольовошпатового гранітоутворення і синхронних деформаційних перетворень, особливості структурно-текстурної анізотропії та аргументувалось виділення Первомайської граніто-гнейсової монокліналі зі складною внутрішньою будовою [5, 6].

**Будова Первомайської граніто-гнейсової монокліналі.** У розрізі вздовж р. Південний Буг у районі м. Первомайськ ПЗР має складну будову, але задові-

**© Шевчук В., Кравченко Д., Мазко А., Хабанець І., 2013**

льна відслоненість дозволяє з'ясувати особливості будови та складу шовної зони розлому принаймні у палеопротерозойському її прояві. Тут однозначно встановлюються архейський субстрат і строката у речовинному, структурно-текстурному та генетичному відношенні гама палеопротерозойських двопольовошпатових гранітоїдних утворень, формування яких спряжене з багатостадійним деформаційним процесом. Саме різнотипне гранітоутворення із виразним калій-кременевим геохімічним профілем, що більш чи менш інтенсивно проявлене в усіх мегаблоках УЩ і накладається на усі архейські структурно-формаційні комплекси, сприймається своєрідним віковим репером. Спряженість різних стадій автохтонної гранітизації та різних генерацій жильних утворень гранітоїдного складу із деформаційними епізодами, які відображають тривале поновлення регулярних полів напружень, привела до формування чітко структурованих шовних тектонітів. Разом з тим, шовна зона у розрізі вздовж р. Південний Буг має певну зональність, поділяючись на три фрагменти з умовними межами.

**Західна зона** (західна околиця м. Первомайськ) складена головно тонкосмугастими дрібно- середньозернистими, часом дрібнопорфірокластичними, сланцюватими бластомілонітами червоно-кремового кольору, місцями із проявами густого струменево проявленого пізньо- і постгранітизаційного кліважу (рис. 1). Залягання сланцюватості і кліважу бластомілонітів (граніто-гнейсів) субвертикальне і доволі витримане за простяганням. Субстрат представлений головно гранулітовими утвореннями (гіперстенові кристалічні сланці, гнейси та ендербітоїди), хоча зустрічаються також фрагменти діафторованих в амфіболітовій фації гранулітів та плагіомігматитів. Переважають кристалічні сланці, що характеризуються слабко вираженою кристалічною сланцюватістю, місцями тонкою смугастістю і плойчастістю (рис. 2). У кристалосланцевій товщі фіксуються різні елементи залягання, зокрема доволі стійким є азимут падіння 230º при куті падіння 60-65º. З наближенням до шовної зони кристалосланцево-гнейсова товща зазнає прогресуючого зім'яття, з поступовим переходом різноорієнтованої тріщинуватості у мінералізований кліваж, з яким асоціюють метасоматичні перетворення із змінами субстрату у двопольовошпатові граніто-гнейси. При цьому фіксується різна орієнтація мінералізованого кліважу, яка стабілізується із розвитком порфіробластів КПШ і послідовним формуванням дрібнозернистих різко сланцюватих граніто-гнейсів: азимут падіння 75º, кут падіння 85-90º.

**Рис. 1. Дрібнозернисті тектоніти західної зони**

**Рис. 2. Деформовані кристалосланці субстрату без суттєвих речовинних перетворень. Західна околиця м. Первомайськ. Правий борт долини р. Південний Буг**

Серед тектонітів тут переважають дрібнозернисті біотитові різновиди із дрібнозернистою гранобластовою структурою і сланцювато-лінзоподібною текстурою. Характерною структурною ознакою тектонітів є нерівномірний розподіл дрібних порфіробластів КПШ, часто деформованих і перетворених на порфірокласти. Повсюдно спостерігаються не повністю завуальовані бластезом реліктові площини доволі густого мінералізованого кліважу (2-3 площини на 1 мм), що переходять у сланцюватість, зерна раннього плагіоклазу деформовані зі згином полісинтетичних двійників.

Мінеральний склад дрібнозернистих граніто-гнейсів доволі витриманий: біотит, КПШ, олігоклаз, кварц. Біотит формує найбільш виразну сланцюватість, розподілений він нерівномірно, часом утворює видовжені скупчення. Він майже повністю хлоритизований, з виділенням магнетиту і тонкоголчастого рутилу. Дрібнозернисті кварц-польовошпатові агрегати майже рівномірнозернисті, лише зерна кварцу бувають помітно видовжені. Зерна КПШ у кварц-польовошпатових агрегатах майже ізометричні, прямокутного січення, пертитизовані, причому пертити часто орієнтовані перпендикулярно сланцюватості. Плагіоклаз зустрічається у двох генераціях, ранній плагіоклаз зазвичай сосюритизований, з деформаційними ознаками. У такому плагіоклазі звичні антипертити. Кварц також слабко давлений (хвилясте погасання). У цілому відзначається доволі досконалий бластез при дрібнозернистій будові.

Лінзуватість-сланцюватість у тектонітах створюється як видовженими зернами кварцу і КПШ із ознаками поперечного стиснення, так і дрібнозернистими кварц-польовошпатовими агрегатами. За мікротектонічними даними, у таких політектонітах прослідковуються декілька стадій деформаційних і речовинних перетворень.

**Центральна зона** (від гирла р. Синюха до західної околиці с. Грушівка) з умовними межами може бути виділена за переважанням грубосмугастих, лінзувато-смугастих, сланцюватих, зазвичай порфіробластичних, граніто-гнейсів. Це також політектоніти з реліктами катаклазу і мілонітизації, але із значно досконалішим бластезом, доволі крупними порфіробластами КПШ, пегматоїдними та гранітоїдними лінзами і жилами (рис. 3).

Структурно-текстурні характеристики грубосмугастих тектонітів вкрай невитримані. Релікти метаморфічного субстрату у них практично не зберігаються, хоча й фіксуються у зміненому вигляді за смугами дрібно-середньозернистих граніто-гнейсів, збагачених біотитом та реліктовими зернами піроксенів. Вони мають дрібно-середньозернисту гранобластову структуру, кварц-польовошпатовий склад і доволі значний вміст

порфірокластів і дрібних зерен плагіоклазу (понад 50 % без урахування порфіробластів КПШ). Порфірокласти плагіоклазу часто несуть антипертити та інші сліди заміщення калієвим польовим шпатом.

**Рис. 3. Грубосмугасті сланцюваті і порфіробластичні граніто-гнейси центральної зони Первомайської граніто-гнейсової моноклінали. Лівий борт долини р. Південний Буг, поблизу греблі**

Значно більш поширеними є середньо-грубозернисті, порфіробластичні граніто-гнейси. У них вміст порфіробластів-порфірокластів КПШ, часто видовженої вздовж генеральної смугастості форми, часом перевищує 50 %. Такі політектоніти, як правило, аляскітові, дрібнолускуватий біотит зрідка зустрічається у реліктових нодулях разом із дрібними зернами апатиту і циркону. Серед них поширені гранатвмісні різновиди. Вміст гранату і розміри зерен змінюються у широких межах.

Давлені, часом дроблені і частково перекристалізовані порфіробласти КПШ (2-3 генерації), разом з порфірокластами плагіоклазу, формують специфічну сингранітизаційну сланцюватість-смугастість. Але найбільш виразна директивна текстура пов'язана з розвитком пізньосингранітизаційного кварцу, різко видовжені лінзи-смуги якого мають субпаралельну орієнтацію, за винятком випадків "обтікання" ними крупних порфіробластів КПШ. Така пізня мікросмугастість близька за орієнтацією до попередньої порфіробластичної. Разом вони відзначаються стійким азимутом простягання (340-350º) і субвертикальним падінням. Однак напрямок падіння за простяганням змінюється. У районі м. Первомайськ азимут падіння змінюється в межах 70-85º при куті падіння 85º, натомість північніше, поблизу с. Синюхин Брід, азимут падіння 250-260º, кут падіння – 80º.

Загальне моноклінальне залягання грубосмугастих тектонітів часом ускладнюється діагональними прямолінійними у розрізі лінзами, складеними кварц-польовошпатовим агрегатом із різким переважанням кварцу. Вони нагадують пізньосингенетичні високопорядкові сколи, що зазнали розтягу. У східному напрямку центральна зона збагачується субзгідними смугами, складеними доволі однорідними (квазігомогенними) гранітоїдами, із регулярним розвитком порфіробластів КПШ приблизно однакового розміру і форми, що нагадують вкрапленники порфіроподібних гранітів. У таких різновидах втрачається контрастність директивних текстур і практично відсутній пізній кліваж.

У межах **Східної зони** (район сс. Грушівка та Мігея) ПЗР складена головно квазігомогенними порфіроподібними параавтохтонними гранітами зі слабко проявленими директивними текстурами із суттєво іншим, порівняно з тектонітами Західної та Центральної зон, заляганням. Серед таких гранітоїдів зустрічаються релікти субстрату, кількість яких зростає поблизу східної межі ПЗР. Представлений субстрат піроксеновими кристалічними сланцями та плагіомігматитами.

Останні складають, зокрема, значний за розмірами скіаліт на лівому березі р. Південний Буг (східна околиця с. Мігея), показовий в сенсі структурних співвідношень із тектонітами ПЗР. Смугасті плагіомігматити відзначаються плойчатістю та мікроскладчастістю волочіння, за якими встановлюються скидові квазів'язкі переміщення. Тим не менше, мігматитова смугастість плагіомігматитів має стійке залягання у межах усього скіаліту: аз. пад. 290º, кут 45º. По периферії скіаліту розвиваються накладені деструктивні процеси, з якими пов'язане формування лінз і смуг, складених двополь-овошпатовими гранітоїдами, із заляганням: аз. пад. 260-270º, кут 55-60º. За межами цього та інших скіалітів відслонені ділянки кремових та м'ясо-червоних порфіробластичних, часто гранатвмісних, гранітоїдів мають стійке залягання площинних текстур із порівняно пологим падінням (аз. пад. 260-270º, кут падіння 55-60º). Втім, тут ще зберігається наскрізна сланцюватість, виражена передусім субпаралельною орієнтацією порфіробластів КПШ, розміром до 4-5 см (рис. 4), натомість постпорфіробластичне кліважування проявляється лише спорадично. Такі самі структурні особливості мають порфіробластичні гранітоїди на правобережжі Південного Бугу, в околицях с. Грушівка. Тут відзначається ще ширший діапазон зміни кутів падіння сланцюватості (35-60º).

**Рис. 4. Порфіробластичні гранатові гранітоїди Східної зони ПЗР**

Східна межа Первомайської граніто-гнейсової моноклінали фіксується поступовою втратою структурної та речовинної єдності, переходом до субстрату, насиченого гранітоїдними і пегматоїдними лінзами і жилами із пологим падінням на північний захід (рис. 5).

**Рис. 5. Пологозалягаючі жильні гранітоїдні тіла у східному облямуванні Первомайської граніто-гнейсової моноклінали**

У такому вигляді ПЗР чітко простежується на північ вздовж долини р. Синюха до долини Гірського Тікичу, де її співвідношення із Тальнівською граніто-гнейсовою монокліналлю [5, 6] потребують додаткового вивчення.

**Висновки.** Таким чином, шовна зона ПРЗ у розрізі вздовж р. Південний Буг уявляється субмеридіональною смугою крутопадаючих політектонітів шириною близько 10 км. У речовинному відношенні тектоніти представлені строкатими у структурно-текстурному відношенні біотитовими, двослюдяними, гранатовими та аляскітовими, часто порфіробластичними, двопольовошпатовими граніто-гнейсами та мігматитами, формування яких мало синдеформаційний характер. Останні містять релікти субстрату та ознаки його гранітизації, суть якої полягає в інтенсивному розвитку кварц-калішпатової мінеральної асоціації по гранулітовому і плагіограніт-амфіболітовому субстрату, що супроводжується розкладанням кольорових мінералів та первинного плагіоклазу із формуванням проміжних фаз (кислий плагіоклаз, гранат, біотит тощо). Значно поширені порфіробластові мігматити та граніто-гнейси із порфіробластами КПШ розміром до 10 см. Звичні також пегматоїдні утворення, що складають згідні та січні жили різної потужності. У структурно-текстурному відношенні політектоніти також надзвичайно строкаті, що обумовлюється різним співвідношенням у часі і просторі інтенсивності деформаційних перетворень та бластезу.

Стійкий характер залягання смугастості і сланцюватості тектонітів гранітоїдного складу із субмеридіональним простяганням і субвертикальним падінням дозволяє виділити Первомайську граніто-гнейсову монокліналь зональної будови як інтегральний палеопротерозойський прояв Первомайської зони розломів.

**Список використаних джерел**

1. *Верем'єв П. С.* Морфологія і внутрішня будова Ємілово-Первомайського глибинного розлому Українського щита / П. С. Верем'єв, В. А., Рябенко // Доп. АН УРСР. Сер. Б. – 1968. – № 10. – С. 867-871.

2. Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита [ *Анциферов А. В., Шермет Е. М., Глевасский Е. Б.,* и др.] ; под. ред. А. В. Анциферова .Донецк: "Вебер" (Донецкое отделение), 2008. – 308 с.

3. *Гинтов О. Б.* Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. / О. Б. Гинтов // – Киев: "Фенікс", 2005. – 572 с.

4. *Иванушко А. С.* Особенности складчатой структуры нижнего докембрия Украинского щита. / А. С. Иванушко // – К.: Наук. думка, 1979. – 152 с.

5. *Шевчук В. В.* Особливості докембрійського і фанерозойського граніто-гнейсового структуроутворення / В. В. Шевчук // Вісник Київ. ун-ту. Геологія. – 2006. – Вип. 37. – С. 4-6.

6. *Шевчук В. В.* Соотношение протерозойского автохтонного гранитообразования и деформационных процессов в пределах Тальновской зоны разломов (Украинский щит) / В. В. Шевчук // Вісник Київського університету. Геологія. – 2012. – Вип. 56. – С. 5-7.

**Надійшла до редколегії 15.01.13**

**В. Шевчук, д-р геол.-минералог. наук, проф., Д. Кравченко, канд. геол. наук, доц., А. Мазко, соискатель, И. Хабанець, магистр**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

**ПЕРВОМАЙСКАЯ ГРАНИТО-ГНЕЙСОВАЯ МОНОКЛИНАЛЬ В РАЗРЕЗЕ ВДОЛЬ Р. ЮЖНЫЙ БУГ**

***На основе структурно-петрологических исследований выделено Первомайскую гранито-гнейсовую моноклиналь, как палеопротерозойское выражение Первомайской зоны разломов. Показано распространение разных типов тектонитов и зональное строение гранито-гнейсовой моноклинали, выявлена взаимосвязь деформационных процессов и гранитоидного петрогенезиса во время ее формирования.***

**V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), D. Kravchenko, Cand. Sci. (Geol.), A. Mazko, Asst., I. Khabanets, Master**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

**PERVOMAYSKAYA GRANITE-GNEISS MONOCLINE IN THE SECTION ALONG RIVER SOUTH BUG**

***Pervomayskaya granite-gneiss monocline has been defined as a Paleo-Proterozoic expression of the Pervomaysk fault zone on the base of structural-petrology research. The distribution of different types of tectonites and the zoning structure of granite-gneiss monocline has been shown. The interrelation between deformation processes and granitoid petrogenesis during monocline formation has been revealed.***

# МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

**УДК 552.33 (477)**

**О. Дубина, канд. геол. наук,**
**Київський національний університет імені Тараса Шевенка, Київ**
**С. Кривдік, д-р геол.-мінералог. наук**
**Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ**

## ГЕОХІМІЯ ГРОРУДИТІВ СХІДНОГО ПРИАЗОВ'Я

***(Рекомендовано членами редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.В. Митрохиним та д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)***

***У статті наведено результати геохімічних (ICP MS) досліджень дайкових аналогів лужних гранітів – грорудитів, що широко розповсюджені в Східному Приазов'ї. Показано, що найбільш індикативними для досліджуваних грорудитів є такі елементів, як Zr, Hf, Nb, Ta, REE, Sr і Ba. Виділено два типи грорудитів, за петрохімічними та геохімічними даними, аналогічних пантелеритам і комендитам.***

**Вступ**. Грорудити, як дайкові аналого лужних гранітів, широко розповсюджені в Східному Приазов'ї. Вони відомі ще кінця XIX і початку XX століть і, очевидно, першим їх дослідником, що діагностував ці породи, був Й. Морозевич. Хімічні аналізи цих порід та їхня петрографічна характеристика наводилася в роботах [2; 4; 11; 12]. Проте геохімічні особливості грорудитів (вміст в них елементів-домішок та характер їх розподілу) наводилися на рівні аналітичних можливостей свого часу в дисертаційній роботі В.Д. Бутурлінова [4] та статті С.Г. Кривдіка і В.І. Ткачука [10]. В останній було показано, що грорудити в Східному Приазов'ї мають девонський вік (400 млн років) та виділено, за мінеральним і хімічним складом, два типи цих порід – високотитанисті меланократові (або егіринові) та низькотитанисті лейкократові (амфіболові). Ці два типи грорудитів залягають як окремі дайки різного простягання (північно-західного і субширотного) і мають суттєві геохімічні відмінності (за вмістом Zr, Nb, Ce, Sr). В цій короткій статті наведено результати нових геохімічних досліджень з визначення елементів-домішок методом ICP MS. Результати цих досліджень підтвердили дискретність за концентрацією некогерентних елементів (Zr, Nb, REE, Sr) та характером їхнього розподілу (в т.ч. спектрах рідкісних земель) двох виділених типів грорудитів.

**© Дубина О., 2013**

**Метою досліджень** є виявлення особливостей еволюції лужних гранітних розплавів, з яких формувалися різні за мінеральним і хімічним складом дайкові грорудити Приазоав'я, а також встановлення індикативних геохімічних ознак цих порід.

**Особливості розподілу елементів-домішок**. В таблиці наведено хімічний склад та вміст елементів-домішок двох окремих проб та середній склад двох виділених типів грорудитів. Найбільш індикативними (симптоматичними) для досліджуваних грорудитів є такі близькі за геохімічними властивостями пари елементів, як Zr і Hf, Nb і Ta, REE і Y, Sr і Ba, частково Th і U.

*Zr – Hf*. Вміст цих елементів є значно вищим, ніж у всіх типах гранітоїдів Українського щита, включаючи їх лужні з егірином і рибекітом різновиди (пержанські). В цьому відношенні грорудити наближаються до деяких рідкіснометалевих сієнітів Південно-Кальчицького, Яструбецького і Великовисківського масивів [8; 9]. Проте, на відміну від цих сієнітів, в яких Zr концентрується практично повністю в цирконі, в досліджуваних грорудитах циркон трапляється в протолочках і шліфах досить рідко. Принаймні, не стільки, щоб пояснити високий вміст Zr в породі. Значна частина Zr, очевидно, входить до складу егірину (зафіксовано до 0,87 % $ZrO_2$). Припускається, що в грорудитах є, крім циркону, недіагностований мінерал цирконію. При цьому в меланократовому (титанистому, егіриновому) грорудиті Zr в 1,5 рази більше, ніж в лейкократовому (таблиця). За результатами раніше проаналізованої (РФА) більшої кількості проб не спостерігається перекриття в концентраціях Zr в цих двох типах грорудитів [10]. За даними двох проб, відношення Zr/Hf в меланократових і лейкократових грорудитах практично однакові (38-39), що може свідчити про входження цих двох елементів переважно до якоїсь однієї мінеральної форми.

*Nb – Ta*, як і Zr і Hf, концентруються більшою мірою в меланократових титанистих грорудитах, при чому в перших Nb більше в три рази порівняно з лейкократовими (240 і 88 ppm відповідно). Мінеральну форму Nb і Ta не виявлено. Можливо, що Nb, разом з Ta, в різних типах грорудитів концентруються в різних мінеральних фазах. Так, для високотитанистих грорудитів проявляється позитивна кореляція Nb з Th та Ce і відсутня – з Ti, тоді як для лейкократових грорудитів спостерігається позитивна кореляція між Nb і Th за відсутності кореляції між Nb і Ti та Nb і Ce.

Схоже на те, що інтервал вмісту Nb в грорудитах (двох типів) приблизно такий же, як і в пержанських гранітах [5; 6], а також в ювітах і маліньїтах Покрово-Кириївського масиву, які, ймовірно, є спорідненими породами (принаймні, одновікові), тобто можуть належати до одного комплексу. Правда, відношення Nb/Ta в грорудитах становить 15-16, в маліньїтах – 21, а в ювітах 100 (визначень вмісту Ta в пержанських гранітах нам не відомо).

*REE – Y*. Геохімія цих елементів є складнішою, ніж розглянутих вище Zr і Nb. Як і для останніх, концентрація легких лантаноїдів (LREE) в ряду від Ce до Sm в меланократових грорудитах значно (в кілька разів для Ce і La) вища (рис.), ніж в лейкократових. Проте, починаючи з Tb і до Lu вміст цих елементів в меланократовому і лейкократовому грорудитах стає близьким і поступово зближуючись до однакових в останніх двох – Yb і Lu, як це видно для хондрит-нормованих спектрів (рис.). При цьому в менш збагаченому REE лейкократовому грорудиті негативна Eu-аномалія (Eu/Eu* = 0,46) значно глибша, ніж в збагаченому LREE меланократовому (Eu/Eu* = 0,77). До того ж лінія розподілу лантаноїдів в грорудиті з глибшою Eu-аномалією майже горизонтальна, тоді як в меланократовому грорудиті вона поступово понижується від La до Lu. Така особливість розподілу REE в грорудитах є незвичною, позаяк в більшості лужних порід зі зростанням концентрації REE відбувається поглиблення негативної Eu-аномалії. Зауважимо, що, незважаючи на значну різницю в концентрації LREE у виділених типах грорудитів, вміст Y в них майже однаковий – 74 і 70 ppm в мелано- і лейкократовому, відповідно (таблиця). Значною мірою це зрозуміло, якщо взяти до уваги близький вміст HREE (за геохімічними властивостями близьких до Y) в цих двох типах грорудитів. Так, нормовані за хондритом концентрації $Y_N$ в мелано- і лейкократовому грорудитах становить – 35 і 34, а $Yb_N$ – 34 і 30, $Lu_N$ – 33 і 31 одиниць відповідно. За даними РФА [10] на прикладі двох проб з меланократових різновидів простежується тенденція до зростання концентрації як REE, так і Y в напрямку від ендоконтактової (закалочної) до центральної (розкристалізованої) частини дайки грорудитів. У той же час в амфіболових грорудитах досить чітко видно значне зменшення вмісту REE в центральних граніт-порфірових фаціях порівняно з ендоконтактовими.

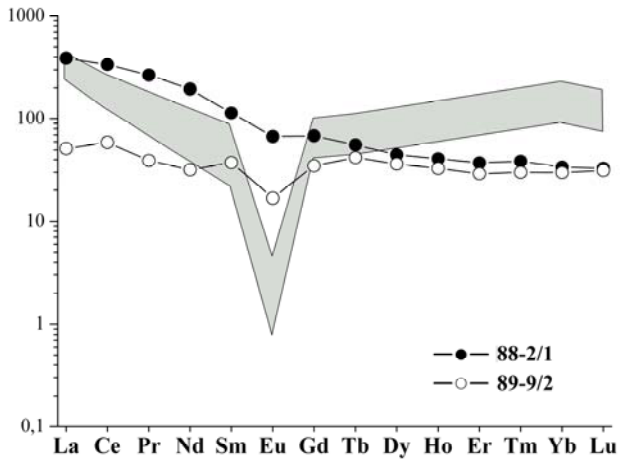



**Рис. 1. Хондрит-нормовані спектри REE із грорудитів Східного Приазов'я (номери зразків відповідають номерам у таблиці). Сірим полем показано рівень нормованих значень REE для пержанських гранітів за даними [6].**

Спектри REE в досліджуваних грорудитах є досить оригінальними порівняно з іншими лужними породами в межах УЩ. Вони мають деяку подібність із спектрами кварцових сієнітів та ендоконтактових сієнітів Яструбецького та Великовисківського масивів. Дещо подібні вони і до спектрів REE в пержанських гранітах, але останні мають значно глибші негативні Eu-аномалії і значно вищу концентрацію Yb і Lu за близького вмісту Ce і La (у меланократовому грорудиті) [5].

Як і для Nb і Ta, власних мінералів REE в грорудитах не виявлено. Можна лише відмітити, що в цих породах дуже низький вміст фосфору (табл. 1), тобто малоймовірна наявність апатиту як головного мінерала-концентратора REE.

*Sr – Ba* є важливими елементами-індикаторами кристалізаційного фракціонування в магматичних системах з кристалічними фазами польових шпатів. Грорудити і лужні граніти, в т.ч. пержанські, як залишкові диференціати відзначаються незначним вмістом цих елементів. Правда, не зовсім зрозуміло, чому в лейкократових грорудитах (в яких більше лужних польових шпатів) значно менше Sr (8 ppm) і Ba (24 ppm), ніж в меланократових (25 і 60 ppm, відповідно). Зрештою, вміст Sr в грорудитах досить низький, але, судячи з відомих публікацій [5], трохи більше, ніж в пержанських гранітах (3 ppm) або яструбецьких чи азовських рудних сієнітах (4-9 і 14 ppm, відповідно, за неопублікованими авторськими даними).

*Таблиця 1*

**Хімічний склад (ваг. %) та вміст елементів-домішок (ppm) в грорудитах Східного Приазов'я та лужних кислих порід подібного складу інших регіонів**

| № з/п | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 71,40 | 73,20 | 75,80 | 74,40 | 69,31 | 67,10 | 73,29 | 74,52 | 68,04 |
| $TiO_2$ | 1,04 | 1,12 | 0,35 | 0,34 | 0,30 | 1,10 | 0,21 | 0,17 | 0,82 |
| $Al_2O_3$ | 9,2 | 8,08 | 10,6 | 10,35 | 9,76 | 12,00 | 9,70 | 11,71 | 5,72 |
| $Fe_2O_3$ | 5,86 | 6,38 | 1,7 | 2,37 | 2,44 | 5,6 | 2,40 | 1,40 | 13,19 |
| FeO | 2,02 | 1,38 | 2,66 | 2,61 | 4,60 | 0,80 | 3,04 | 1,37 | 1,02 |
| MnO | 0,23 | 0,23 | 0,06 | 0,10 | 0,28 | 0,28 | 0,13 | 0,10 | 0,07 |
| MgO | 0,26 | 0,27 | 0,04 | 0,14 | 0,17 | 0,70 | 0,04 | 0,01 | 0,11 |
| CaO | 0,45 | 0,51 | 0,20 | 0,26 | 0,48 | 0,50 | 0,31 | 0,30 | 0,56 |
| $Na_2O$ | 4,32 | 4,08 | 3,84 | 4,21 | 6,41 | 7,00 | 5,84 | 4,90 | 7,56 |
| $K_2O$ | 4,48 | 4,17 | 4,32 | 4,57 | 4,67 | 3,80 | 4,34 | 4,68 | 0,84 |
| $P_2O_5$ | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | – | 0,17 | – | – | 0,12 |
| S | – | 0,02 | 0,02 | 0,02 | – | – | – | – | – |
| $CO_2$ | 0,10 | 0,13 | 0,17 | 0,16 | – | – | – | – | – |
| $H_2O^-$ | 0,15 | 0,20 | | 0,22 | – | – | – | – | 0,20 |
| В.п.п. | – | 0,41 | 0,43 | 0,33 | – | – | – | – | 0,89 |
| Сума | *99,83* | *100,06* | *100,4* | *99,93* | *98,42* | *99,05* | *99,30* | *99,16* | *99,86* |
| Fe/(Fe+Mg) | 0,94 | 0,94 | 0,98 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 | 0,99 |
| Na+K/Al | 1,30 | 1,39 | 1,04 | 1,15 | 1,60 | 1,30 | 1,47 | 1,12 | 2,33 |
| $Na_2O+K_2O$ | 8,80 | 8,25 | 8,16 | 8,78 | 6,89 | 7,50 | 6,15 | 5,20 | 8,12 |
| V | 11,0 | 168 | <8 | 113 | 163 | – | 157 | 99 | – |
| Mo | 0,8 | – | 1,5 | – | – | – | – | – | – |
| Cu | 12,1 | – | 21,6 | – | – | – | – | – | – |
| Pb | 19,5 | 13 | 8,2 | 10,4 | 21 | – | 31– | – | – |
| Zn | 41,0 | 302 | 61,0 | 206 | 434 | – | 290 | – | – |
| Ni | 6,8 | 20 | 8,1 | 16 | – | 33 | – | – | 500 |
| Be | 4,0 | 4,14 | 3,0 | 3,13 | 9 | – | 9,1 | 9,4 | – |
| W | 1,2 | – | 0,9 | – | – | – | – | – | – |
| Cr | – | 21,5 | – | 7 | – | 32 | – | – | – |
| Co | 1,5 | 28,3 | 0,4 | 21,1 | – | – | 4,2 | – | – |
| Cs | 0,3 | – | 0,2 | – | – | – | – | – | – |
| Ga | 39,3 | 49 | 31,7 | 36,2 | – | – | – | – | – |
| Sn | 12,0 | – | 8,0 | – | – | – | – | – | – |
| As | 0,7 | – | 0,6 | – | – | – | – | – | – |
| Hg | 0,3 | – | 1,1 | – | – | – | – | – | – |
| Rb | 199,3 | 169 | 178,3 | 155 | 166 | 115 | 147 | – | – |
| Sr | 24,5 | 24,6 | 7,8 | 13,7 | 2,4 | 58 | 2 | 2,4 | – |
| Ba | 60,0 | 54 | 24,0 | 44 | 50 | 748 | 21 | 30 | – |
| Zr | 1446,0 | 1449 | 946,9 | 920 | 1875 | 696 | 1300 | 800 | – |
| Hf | 38,1 | – | 24,5 | – | – | – | 19,5 | – | – |
| Nb | 240,3 | 437 | 88,0 | 118 | 347 | – | 85 | 100 | – |
| Ta | 15,0 | – | 5,7 | – | 17,7 | – | 7,4 | – | – |
| Th | 31,0 | 16,9 | 17,5 | 10,6 | – | – | – | – | – |
| U | 4,6 | – | 4,9 | – | – | – | – | – | – |
| Y | 74,4 | – | 70,4 | – | – | – | – | – | – |
| La | 143,2 | 169,6 | 19,0 | 88,9 | 319 | 129 | 106 | 148 | – |
| Ce | 322,5 | 262,4 | 56,8 | 145,9 | – | – | 154 | – | – |
| Pr | 36,4 | – | 5,4 | – | – | – | – | – | – |
| Nd | 138,4 | – | 22,6 | – | – | – | – | – | – |
| Sm | 26,3 | – | 8,7 | – | – | – | – | – | – |
| Eu | 5,9 | – | 1,5 | – | – | – | – | – | – |
| Gd | 21,1 | – | 10,7 | – | – | – | – | – | – |
| Tb | 3,3 | – | 2,4 | – | – | – | – | – | – |
| Dy | 17,1 | – | 13,9 | – | – | – | – | – | – |
| Ho | 3,5 | – | 2,8 | – | – | – | – | – | – |
| Er | 9,3 | – | 7,3 | – | – | – | – | – | – |
| Tm | 1,4 | – | 1,1 | – | – | – | – | – | – |
| Yb | 8,4 | – | 7,4 | – | – | – | – | – | – |
| Lu | 1,3 | – | 1,2 | – | – | – | – | – | – |
| ΣREE | 737,9 | – | 160,6 | – | – | – | – | – | 3800* |
| Eu/Eu* | 0,77 | – | 0,46 | – | – | – | – | – | – |

* – сума разом з Y.

1 – дрібнозернистий до зливного різновид високотитанистого піроксенового грорудиту з вкрапленниками польового шпату, скелетного кварцу і піроксену, р. Грузький Єланчик, верхня за течією дайка потужністю близько 8 м; 2 – середній склад високотитанистих грорудитів з п'яти аналізів; 3 – низькотитанистий амфіболовий граніт-порфір, б. Талова, дайка потужністю близько 15 м, центральна частина дайки; 4 – середній склад низькотитанистих амфіболових грорудитів з восьми аналізів; 5 – середній склад з десяти аналізів пантелериту о-ва Пантелерія [12]; 6 – пантелерит, о-в Гран-Канарія, Канарські о-ви [10]; 7 – середній склад з 13 аналізів комендитів о-ва Майор (Нова Зеландія) [7]; 8 – середній склад комендитів західних штатів США [7]; 9 – рокаліт, о-в Рокап [13].

*Інші елементи-домішки* не є настільки індикативними щодо процесу формування цих порід. Відзначимо перевагу Th над U, що властиво більшості лужних порід. При цьому Th більше в меланократовому різновиді, ніж в лейкократовому, за майже однакового невисокого вмісту U. В грорудитах, як пантелеритах і комендитах інших провінцій, спостерігається близький вміст Rb з деякою превагою в меланократових різновидах.

Коротко зупинимося на геохімії титану, вміст якого в меланократових грорудитах (як для порід гранітного

складу) досить високий (0,90-1,43 % $TiO_2$). В цьому відношенні меланократові грорудити мають деяку подібність з рокалітами та ельпідитовими пегматитами лужногранітного складу в Хан-Богдинському масиві (Монголія) в яких вміст $TiO_2$ становить 0,82 і 1,90 % відповідно [3].

Як акцентувалося в попередній публікації, ці меланократові грорудити (вони називались також високотитанистими) аналогічні за хімічним і мінеральним складом пантелеритам. Незважаючи на високий вміст титану, власне титанових мінералів в цих породах не було виявлено. Зафіксовано лише високотитанистий мінерал (6,3 % $TiO_2$), який умовно названо енігматитом. Схоже на те, що в грорудитах немає або дуже мало ільменіту і сфену (в протолочках спостерігалися поодинокі зерна ільменітоподібного мінералу і рутилу). Натомість було виявлено мінерал, який попередньо діагностувався як гематит (серія твердих розчинів ільменіт – гематит) з високим вмістом титану (7 % $TiO_2$).

**Обговорення результатів та висновки**. Отже, сучасними методами досліджень показано геохімічну контрастність грорудитів Східного Приазов'я, яка раніше виявлялася лише за результатами хімічного аналізу порід та РФА (з визначенням обмеженої кількості елементів-домішок).

Проте і ці нові результати геохімічних досліджень не дали відповідь на питання: які з виділених двох типів грорудитів є більш ранніми або більш диференційованими. Різноорієнтовані дайки цих порід в досліджуваних нами відслоненнях не перетинаються, що не дає можливості визначити їхній відносний вік. Проте є підстави вважати, що вони є одновіковими утвореннями. Як відомо, в природі існують такого ж контрастного складу вулканіти – пантелерити і комендити. Згідно з П. Боуденом [1], склад пантелеритів та комендитів і досліджуваних нами грорудитів відповідає евтектоїдному. В.І. Коваленком [7] висловлювалися дещо інші погляди, а саме: відмінний склад комендитів і пантелеритів зумовлений виверженням їх з різних частин магматичної камери, заповненої диференційованим розплавом лужногранітного складу.

Можна також припускати, що меланократові і лейократові грорудити утворилися з єдиного розплаву, який зазнав кристалізаційного фракціонування з кумуляцією (зануренням) кристалів егірину, амфіболу (можливо, фаяліту, рихтериту, енігматиту, які наявні в пантелеритах) та спливанням лужних польових шпатів і кварцу. В процесі такого розділення розплаву утворювалися ділянки пантелеритового і комендитового складу. Можливо, мала місце ліквація розплаву з формуванням евтектоїдних комендитів і пантелеритів, що узгоджується з уявленнями П. Боудена. Цікаво, що при цьому не відбувалося розділення Y і HREE, як це видно з отриманих результатів і хондрит-нормованих спектрів REE.

Очевидно, високий вміст титану в меланократових грорудитах свідчить про генетичний зв'язок цих порід з базальтовим магматизмом. Для цього району характерні високотитанисті сублужні базальти, а для Покрово-Кириївського масиву – високотитанисті піроксеніти і габро.

**Перспективи подальших досліджень**. Розглянуті грорудити потребують спеціальних прецизійних мінералогічних досліджень для виявлення і діагностики мінералів рідкісних металів (Zr, Nb, REE, Y). Якщо в Східному Приазов'ї будуть виявлені хоча і невеликі масиви лужних гранітів, подібних за складом до розглянутих грорудитів, то з ними можуть бути пов'язані рудопрояви або й родовища рідкісних металів, подібних до таких в Сущано-Пержанській зоні, типу Катугіно на Алданському щиті або Стрейндж-Лейк в Канаді. Такі масиви лужних гранітів зазнають значно інтенсивнішої диференціації, ніж малопотужні дайкові тіла, які зазнали швидкої кристалізації. Слід зауважити, що окремі відслонення добре розкристалізованих центральних частин дайок лейкократових грорудитів (наприклад б. Талова) часом майже зовсім непомітні і візуально не відрізняються від оточуючих звичайних гранітоїдів, тобто невеликі масиви лужних гранітів можна пропустити під час польових робіт. Хоча Приазов'я і є досить добре вивченим районом, все ж таки тут не виключаються знахідки невеликих масивів девонських лужних гранітів. Прикладом можуть бути трубки і дайки кімберлітів та ортитова жила Анадольського родовища, альбітити з рідкісноземельною мінералізацією, які виявлені останніми роками в цьому районі.

**Список використаних джерел**


1. *Боуден П.* Пересыщенные кремнеземом щелочные породи: граниты, пантеллериты и комендиты / *Боуден П. //* Щелочные породы. – М.: Мир. 1976. – с. 128-144.

2. *Бутурлинов Н.В.* Магматизм грабенообразных прогибов юга Восточно-Европейской платформы в фанерозое : автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук : спец. 04.00.08 "петрография, вулканология" / *Бутурлинов Н.В.*– Киев. 1979. – 52 с.

3. *Владыкин Н.В.* Минералого-геохимические особенности редкометальных гранитоидов Монголии / *Владыкин Н.В.* – Новосибирск: Наука. 1983. – 200 с.

4. *Елисеев Н.А.* Протерозойский интрузивный комплекс Восточного Приазовья / *Елисеев Н.А., Кушев В.Г., Виноградов Д.П.* – М. – Л.: Наука, 1965. – 204 с.

5. *Есипчук К.Е.* Петролого-геохимические основы формационного анализа гранитоидов докембрия / *Есипчук К.Е.*– Киев: Наукова думка, 1988. – 263 с.

6. Гранитоиды Украинского щита. Петрохимия, геохимия, рудоносность / [*Есипчук К. Е., Орса В. И., Щербаков И. Б. и др.*] ; отв. ред. Щербак Н.П. – Киев: Наукова думка, 1993. – 232 с.

7. *Коваленко В.И.* Петрология и геохимия редкометальных гранитоидов / *Коваленко В.И.* – Новосибирск: Наука, 1997. – 208 с.

8. *Кривдик С.Г.* Редкометальные сиениты Украинского щита / *Кривдик С.Г.* // Геохимия. – 2002. – №7. – С. 707-717.

9. *Кривдик С.Г.* Петрология щелочных пород Украинского щита / *Кривдик С.Г., Ткачук В.И.* – Киев: Наук. думка. – 1990. – 408 с.

10. *Кривдік С.Г.* Грорудити Східного Приазов'я / *Кривдік С.Г., Ткачук В.І.* // Минерал. журн. – 1996. – т.18, №3. – С. 67-83.

11. *Лучицкий В.И.* Петрография Украины / *Лучицкий В.И., Лебедев П.И.* – Ленинград: Изд. АН СССР, 1934. – 324 с.

12. *Шаталов Н.Н.* Дайки Приазовья / *Шаталов Н.Н.* – Киев: Наук, думка, 1986. – 192 с. 13. *Sabine P.A.* The geology of Rockall. North Atlantic / *Sabine P.A.* // Bull. Geol. Surv. Gr. Brit. – 1960. – № 16. – P. 156-178.


**Надійшла до редколегії 19.02.13**

**А. Дубина, канд. геол. наук**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**
**С. Кривдик, д-р геол.-минералог. наук, проф.**
**Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененка НАН Украины, Киев**

## ГЕОХИМИЯ ГРОРУДИТОВ ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ

***В статье приведены результаты геохимических (ICP MS) исследований дайковых аналогов щелочных гранитов – грорудитов, широко распространенных в Восточном Приазовье. Показано, что наиболее индикативными для исследуемых грорудитов есть такие пары элементов, как Zr, Hf, Nb, Ta, REE, Sr и Ba. Выделено два типа грорудитов, за петрохимическими и геохимическими данными, аналогичных пантелеритам и комендитам.***

**O. Dubyna**, Cand. Sci. (Geol.)
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**
**S. Kryvdik, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.**
**N.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv**

## GEOCHEMISTRY OF GRORUDITES FROM THE EAST AZOV AREA

***In the paper are presented the results of geochemical (ICP MS) investigation of the dyke analogues of alkali granites – grorudites that are widespread in the East Azov area. It is shown the most typical for considered grorudites are indicative such trace elements as Zr, Hf, Nb, Ta, REE, Sr and Ba. Two types grorudites are distinguished. By petrochemical and geochemical data these rocks are analogous to pantellerites and comendites.***

# ГЕОФІЗИКА

УДК 550.837:551.24(477)

Т. Бурахович, д-р геол. наук, А. Кушнір, мол. наук. співроб.,
Г. Зайцев, мол. наук. співроб.,
Інститут Геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ
Б. Ширков, студ.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

## АНОМАЛЬНА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ЗЕМНОЇ КОРИ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ПРИАЗОВСЬКОГО МЕГАБЛОКУ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)*

***У статті розглянуто просторові параметри аномалій високої електропровідності в надрах земної кори, а також їх природу, особливо на границях металогенічних та сейсмогенеруючих структур.***

В усьому світі на територіях кристалічних щитів було зареєстровано велику кількість землетрусів. Поза всілякими сумнівами, вони викликані перерозподілом фізичних властивостей всередині земної кори стабільних регіонів. Велику кількість даних сейсмічного профілювання і сейсмотомографії, гравітаційних і геоелектромагнітних даних було використано для розуміння процесів, які відбуваються всередині Землі. Моделі, побудовані на основі експериментальних даних, дозволяють пояснити причини і механізми внутрішньоплитової сейсмічності.

**Аналіз досліджень і публікацій** показує, що на території Приазовського мегаблоку Українського щита (УЩ) та у його східній частині було проведено магнітотелуричні та магнітоваріаційні дослідження різними авторами, розпочаті роботами 1:200000 та 1:1000000 масштабів, виконаними під керівництвом О.І. Інгерова [7, 8, 9], і продовжуються нині співробітниками УкрНДМІ [1] та Інституту геофізики НАН України (А.М. Кушнір, Г.М. Зайцев, 2009) (рис. 1а).

Вагомі результати з вивчення глибинної геоелектричної будови були розглянуті у кількох статтях та монографіях [2-6].

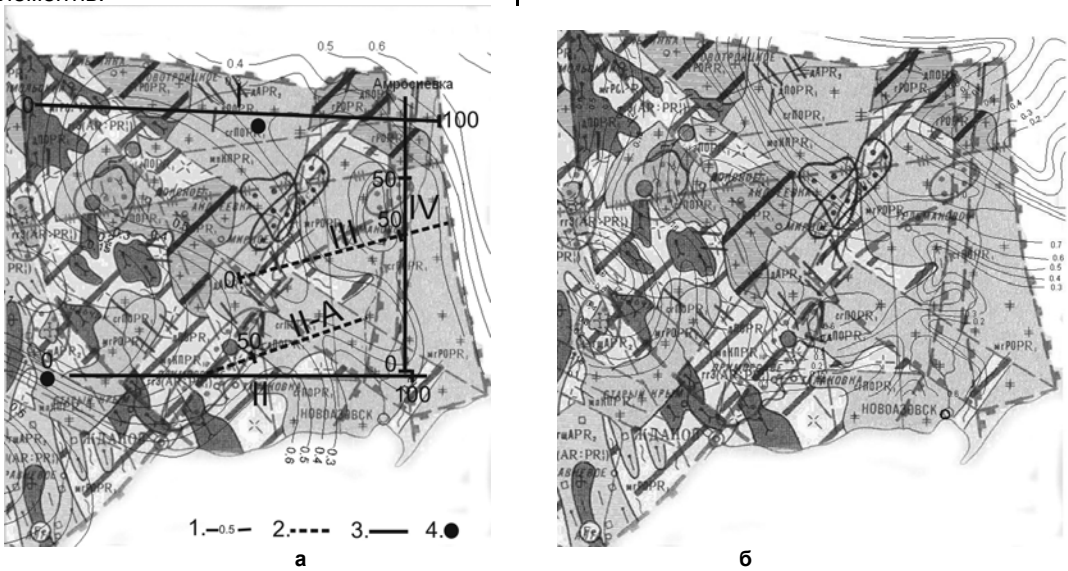
Перед авторами стояло **завдання** дослідити зони регіональних розломів Українського щита – Кальміуську та Грузько-Еланчікську – за допомогою методів глибинної геоелектрики – магнітотелуричного зондування (МТЗ) та магнітоваріційного профілювання (МВП). Ці зони є найбільш вираженими структурами другого порядку, до яких приурочені прояви рідкісних та рідкісноземельних елементів.

**Відмінною рисою досліджуваних електромагнітних параметрів** є те, що в діапазоні періодів від 50 с до 1000 с північна індукційна компонента вектора Візе $|W_{zy}|$ досягає достатньо високих значень – до трьох і більше відносних одиниць [2], які не можуть бути пояснені в межах двовимірних геоелектричних моделей. Область таких значень магнітоваріаційних параметрів простягається в бік Східно-Приазовського блоку. Але за даними МТЗ тут були виявлені області надвисокого опору (рис. 2а, б). Це не відповідає логічному зв'язку параметрів МТЗ та МВП в рамках двовимірних моделей, оскільки великим значенням параметрів МВП мають відповідати зони пониженого уявного опору, тобто структури, що мають підвищену електропровідність.

У східній частині Приазовського блоку є щільна мережа спостережень МТЗ і МВП (для періоду 150 с) в районі Грузько-Еланчікського глибинного розлому на всьому його простяганні.

Перший аналіз даних МВП (рис. 1) показує, що існує декілька районів з мінімальними значеннями модуля східної індукційної компоненти ($|W_{zx}|$) (північна і південна частини Грузько-Еланчікського глибинного розлому) і північної компоненти ($|W_{zy}|$) (Криворізько-Павлоградська зона розломів).

У більшій частині блоку рівень кривих МТЗ відповідає значенням сумарної поздовжньої провідності верхнього шару осадової товщі ($S_{оп}$), яка змінюється від 1 См (у центральній частині мегаблоку) до 100 См (на периферії).




а б

**Рис. 1. Схема індукційних компонент магнітоваріаційних параметрів: 1 – ізолінії: а – $|W_{zx}|$ і б – $|W_{zy}|$; 2 – сучасні спостереження, виконані співробітниками УкрНДМІ Є.М. Шереметом, Ю.І. Ніколаєвим, І.Ю. Ніколаєвим; 3 – спостереження, зроблені під керівництвом О.І. Інгерова [7-9]; 4 – сучасні спостереження, виконані співробітниками Інституту геофізики НАН України А.М. Кушніром і Г.М. Зайцевим у 2009 р**

© Бурахович Т., Кушнір А., Зайцев Г., Ширков Б., 2013

На етапі якісної інтерпретації даних МТЗ були побудовані по профілях значення позірного питомого електричного опору для періодів поля геомагнітних варіацій Т = 10, 100 і 1000 с (рис. 2-6), а також значення сумарного поздовжнього опору осадових відкладів ($T_{оп}=1/S_{оп}$), визначеного з карт сумарної поздовжньої провідності $S_{оп}$. Видно, що у всьому діапазоні періодів на більшій частині території Східного Приазов'я значення $\rho_y$ аномально високі (порядку 100000 Ом·м) та відображають малу приповерхневу сумарну поздовжню провідність. З ростом $S_{оп}$ зменшуються і значення $\rho_y$ до рівня 100 Ом·м.

На профілі I (рис. 2) на всіх періодах спостерігається зменшення $\rho_y$ на сході, яке, до речі, характеризується малими значеннями $S_{оп.}$ Це свідчить про можливу наявність глибинної провідної структури.

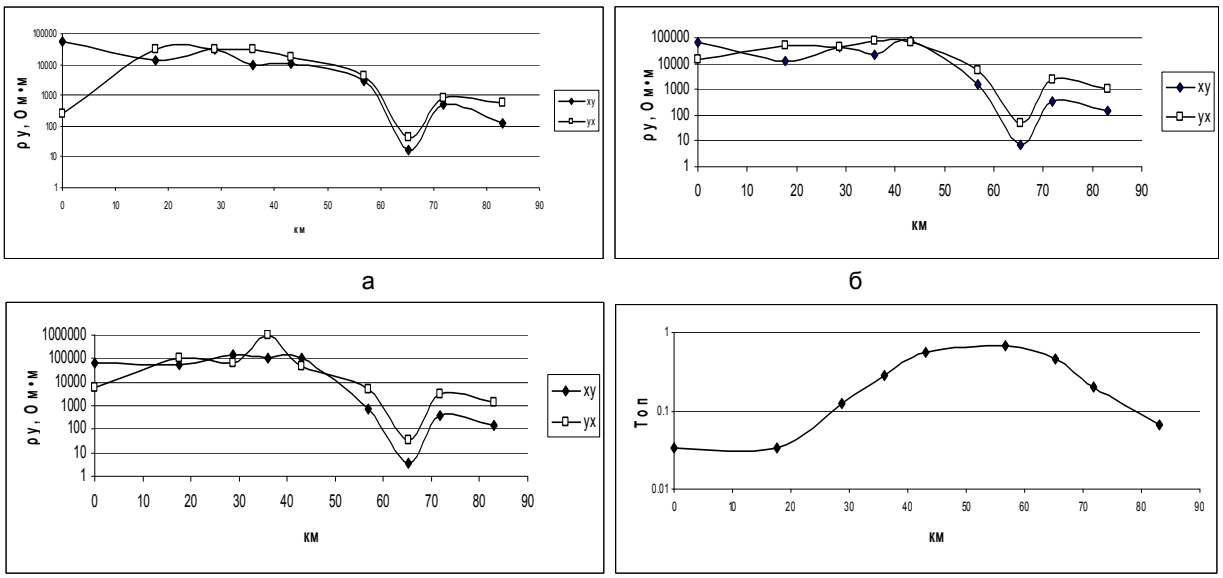



**Рис. 2. Магнітотелуричні параметри вздовж профілю I:**

а, б, в – значення позірного питомого електричного опору для періодів поля геомагнітних варіацій Т = 10, 100 і 1000 с відповідно; г – значення сумарного поздовжнього опору осадових відкладів

Практично на всіх амплітудних кривих МТЗ Східного Приазов'я спостерігаються мінімуми на періодах близько 100 с. Фазові криві відповідають амплітудним, на них відзначаються перегини на рівні $-45^0$ на відповідних періодах. На профілі I спостерігаються повсюдно мінімуми на періодах <100 с і тільки на сході в межах Грузько-Еланчікського глибинного розлому з'являються мінімуми на більших періодах. Це може пояснюватися тим, що на сході профілю глибина залягання провідника різко збільшується.

На профілях II, IIа та III (рис. 3-5) на всіх періодах теж спостерігається зменшення $\rho_y$ від 100000 Ом·м до 100 Ом·м і менше на сході, що може пояснюватись підвищеними значеннями $S_{оп.}$

На профілі II всюди спостерігаються мінімуми на періодах 100 с та >100 с і тільки на сході в межах півдня Грузько-Еланчікського глибинного розлому вони на кривих МТЗ відсутні. Це може пояснюватися тим, що на сході профілю відсутній глибинний провідник і рівень $\rho_y$ різко зменшується завдяки існуванню в районі високопровідних осадових приповерхневих відкладів. Але у західній частині профілю ймовірна наявність провідних шарів на значних глибинах.

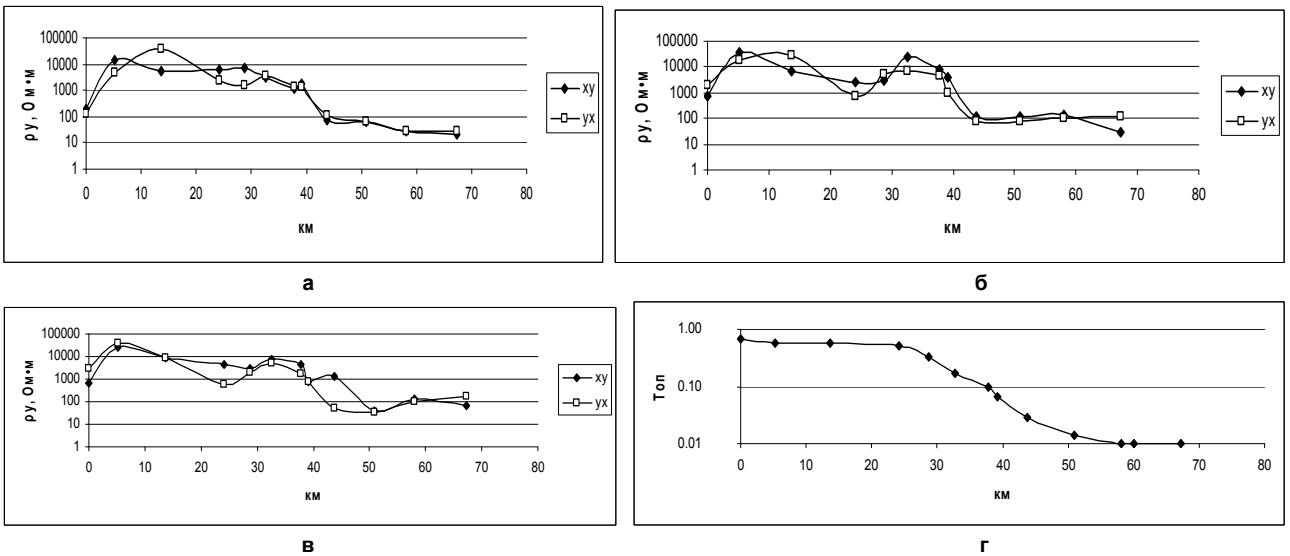



**Рис. 3. Магнітотелуричні параметри вздовж профілю II:**

а, б, в – значення позірного питомого електричного опору для періодів поля геомагнітних варіацій Т = 10, 100 і 1000 с відповідно; г – значення сумарного поздовжнього опору осадових відкладів

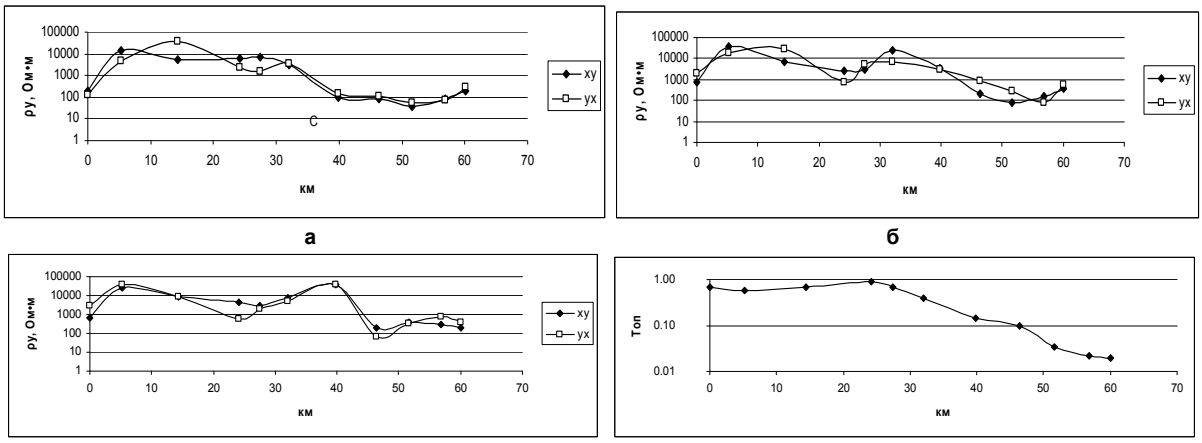



**Рис. 4. Магнітотелуричні параметри вздовж профілю IIа:**
а, б, в – значення позірного питомого електричного опору для періодів поля геомагнітних варіацій T = 10, 100 і 1000 с відповідно;
г – значення сумарного поздовжнього опору осадових відкладів

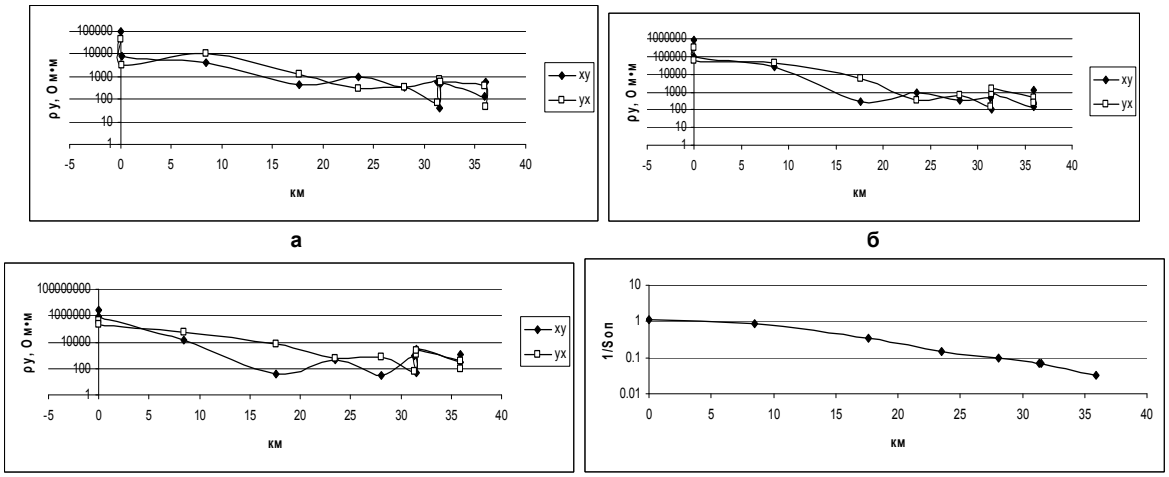



**Рис. 5. Магнітотелуричні параметри вздовж профілю III:**
а, б, в – значення позірного питомого електричного опору для періодів поля геомагнітних варіацій T = 10, 100 і 1000 с відповідно;
г – значення сумарного поздовжнього опору осадових відкладів

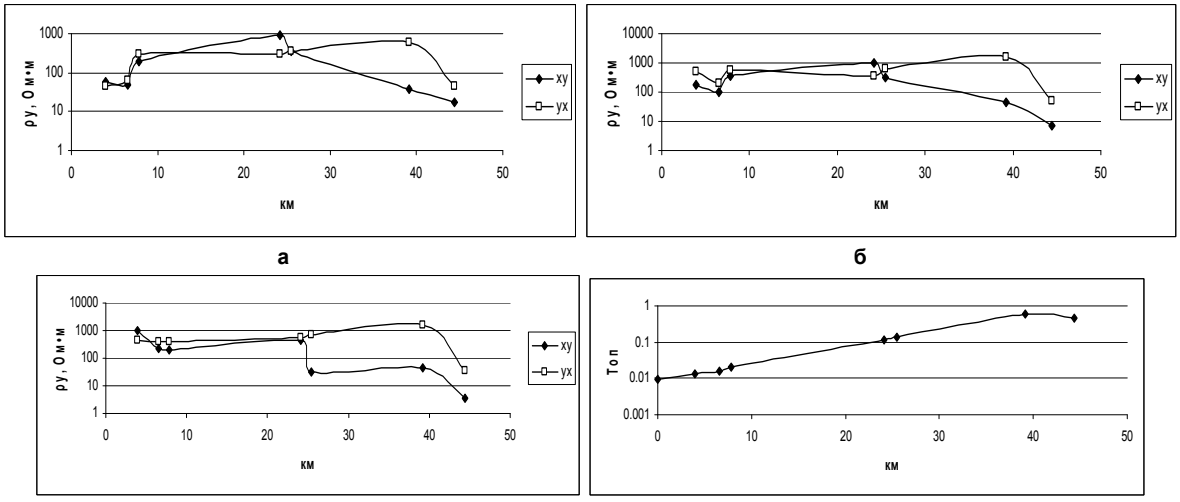



**Рис. 6. Магнітотелуричні параметри вздовж профілю IV:**
а, б, в – значення позірного питомого електричного опору для періодів поля геомагнітних варіацій T = 10, 100 і 1000 с відповідно;
г – значення сумарного поздовжнього опору осадових відкладів

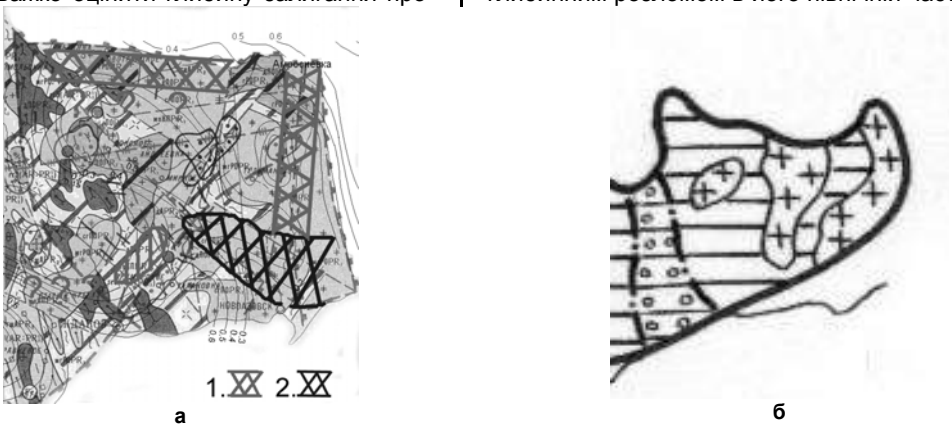
У межах Грузько-Еланчікського глибинного розлому на кривих МТЗ на сході профілю IIа вже на деяких його пунктах з'являються мінімуми на періодах 100 с, у той час як на профілі III всі криві мають мінімуми не тільки на цих періодах, але і на значно більших, що є свідченням появи глибинної провідної структури.

Профіль IV (рис. 6) субмеридіонально простягається вздовж Грузько-Еланчікського глибинного розлому. На всіх

періодах спостерігається розходження рівня кривих МТЗ на цілий порядок для різних поляризацій електричного поля, значення $\rho_y$ суттєво зменшені (до рівня 100-1000 Ом·м) порівняно з рівнем кривих МТЗ на всьому Східному Приазов'ї. На півночі профілю $\rho_y$ зменшується, залежно від періоду, до рівня <100 Ом·м, яке відповідає збільшенню значень $T_{оп.}$ Крім того, тут на кривих МТЗ спостерігаються мінімуми на періодах >100 с. Це може свідчити про наявність вертикальної глибинної провідної структури. У південній частині розлому криві МТЗ і значення параметрів МВП (період 150 с) суперечать один одному і вже не відображають наявності провідників у земній корі.

**Обговорення результатів та висновки.** Багато кривих МТЗ розташовано значно вище рівня глобальних даних, тому важко оцінити глибину залягання провідників. Якісна оцінка глибини залягання провідників (рис. 7а) за одновимірним поданням коливається від 10 до 50 км. Сумарна поздовжня провідність цього елемента близько 1000 См. Крім того, наявність мінімумів на кривих МТЗ на періодах більше 100 с у багатьох пунктах Східного Приазов'я може свідчити про ймовірність існування шару підвищеної провідності у верхній мантії у цьому регіоні. Слід одразу зауважити, що ці оцінки носять попередній характер і будуть використані для тривимірного моделювання.

На рис. 7б видно, що аномалії магнітоваріаційних параметрів в області найменших значень відповідають розповсюдженню лужних порід і в східній частині Приазовського масиву визначаються Грузько-Еланчікським глибинним розломом в його північній частині.




а б

**Рис. 7. Зони аномальної провідності (а) та лужні масиви [10] (б) Східної частини Приазовського мегаблоку УЩ. Кольори: сірий – провідні об'єкти у надрах земної кори, чорний – відсутність провідників**

За уявленнями С.В. Нечаєва [11] позначається тенденція підсуву Приазовського масиву під орогенну систему Донбасу. На рис. 8 представлена модель глибинних провідників Приазовського мегаблоку, на якій видно, що більшість аномальних структур (включаючи і Східне Приазов'я) мають субмеридіональне простягання і розповсюджуються під Донецький басейн.

Природа глибинної електропровідності може визначатися існуванням графіту, що виник під час утворення лужних масивів. За даними огляду [12] склад флюїду, який представлено компонентами С-Н-О, залежить від фугітивності кисню в мантії. Фугітивність кисню вважається фактором, що визначає стан С-Н-О флюїду і форму знаходження вуглецю в мантії – у вигляді карбонатів або графіту. Однак, термодинамічний аналіз умов рівноваги флюїдів з породами верхньої мантії приводить дослідників до абсолютно різних висновків.

Існує думка, що мінерали глибинного походження сформовані при низькій активності кисню (на 2-4 логарифмічні одиниці нижче буферу кварц-фаяліт-магнетит) і стабільною фазою є графіт, що ставить питання про необхідність брати до уваги участь графіту в глибинних магматичних реакціях.

Утворення графітових плівок у континентальних кристалічних породах суттєво залежить від джерела вуглецю. Однією з можливостей утворення графіту є відкладення графіту з $CO_2$:

$$C + O_2 = CO_2. \quad (1)$$

Іншою можливістю створення плівок графіту є результат перетворення титаномагнетиту:

$$6\ Fe_2\ TiO_4 + CO_2 = 2Fe_3O_4 + 6\ FeTiO_3 + C. \quad (2)$$

Цей процес починається при температурі 600° – 675°С і залежить від складу порід.

Третій механізм утворення графітових плівок, коли графіт генерується вдовж тріщин розломів у результаті реакції:

$$CH_4 + CO_2 = 2C + H_2O. \quad (3)$$

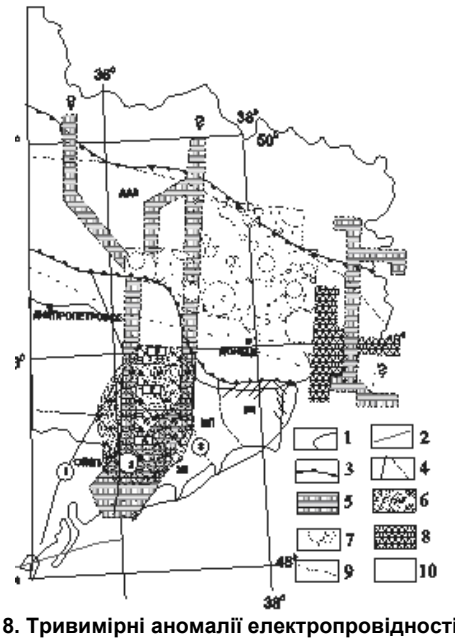



**Рис. 8. Тривимірні аномалії електропровідності Приазовського мегаблоку за даними Т.К. Бурахович та С.М. Куліка:**

1 – границя УЩ, 2 – границя Скіфської плити та СЄП, 3 – границя ДДЗ, 4 – глибинні розломи I та II рангу (цифри в кружках: 1 – Оріхово-Павлоградський, 2 – Азово-Павлоградський, 3 – Центрально-Приазовський); геоелектричні параметри аномалій електропровідності: 5 – глибина залягання покрівлі та підошви (h) від поверхні до 2 км, ρ – 10 Ом·м; 6 – h=2-10 км, ρ=100 Ом·м; 7 – h=2-10 км, ρ=8 Ом·м; 8 – h=2-10 км, ρ=0.6 Ом·м; 9 – h=10-30 км, ρ=2 Ом·м; ОПШЗ – Оріхово-Павлоградська шовна зона; блоки I порядку Приазовського мегаблоку: ЗП – Західно-Приазовський, ЦП – Центрально-Приазовський, ВП – Східно-Приазовський; блоки II порядку Західно-Приазовського блоку: В – Волчанський, Г – Гуляйпільський, А – Андріївський

Треба відмітити, що утворення графіту із газових джерел є загальним процесом, що відбувається у нижній корі.

Таким чином, у результаті аналізу геоелектричних даних, у Східному Приазов'ї виявлено провідні об'єкти у нижній корі, які корелюються зі структурами на поверхні масиву – з глибинними розломами та межею Донбасу, але ця відповідність носить складний характер.

**Список використаних джерел**

1. Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К. Е., Кулик С.Н., Сухой В.В., Николаеа Ю.И., Николаев И.Ю., Пигулевский П.И., Шпильчак В.А., Сетая Л.Д., Волкова Т.Г., Бородыня Б.В. Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита. – К.: Наукова Думка, 2005. – 191 с.

2. Белявский В.В., Бобров, А.Б., Гошовский С.В., Чуприна, И.С., Шумлянский В.А. Геоэлектрические модели золоторудных месторождений Украинского щита и Донбасса, Киев, Логос, 2004, – 247.

3. Белявский В.В., Бурахович Т.К., Кулик С.Н., Сухой В.В. Электромагнитные методы при изучении Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. – К.: Знання, 2001. – 227 с.

4. Бурахович Т.К., Кулик С.Н. Модель электропроводности земной коры Украины.// Физика Земли. – 2000а. – №10. – С.48-56.

5. Бурахович Т.К., Кулик С.Н. Модель электропроводности земной коры восточной части Украины.// Геофиз.ж. – 2000б. – №5,т.22. – С. 39-47.

6. Бурахович Т.К., Кулик С.Н. Результаты интерпретации данных естественного электромагнитного поля на территории Украинского кристаллического щита // Геофиз. жур. – 2001. – №5, т. 23. – С. 101-107.

7. Ингеров А.И. Результаты региональных исследований МТЗ вдоль геотраверса Ужгород-Ворошиловград. Отчет Центральная геофизическая экспедиция "Укргеология" №248/87, 1987.

8. Ингеров А.И. Карта магнитных параметров МТЗ и МВП Ю-В части УЩ, М-б1:1000000. Укргеолфонд, № 50034, 1988 г.

9. Ингеров А.И., Рокитянский И.И. Украинский щит //Литосфера Центральной и Восточной Европы: Обобщение результатов исследований / Отв. редактор А.В.Чекунов. – Киев: Наукова думка. – 1993. – 257 с.

10. Каляев Г.И., Крутиховская З.А, Жуков Г.В. и др. Тектоника Украинского щита, Наук думка, 1972 – 300 с.

11. Нечаев С.В. Минерагеническая зональность Украинского щита с позиций мобилизма. Минералогический журнал, 1997., №2, С. 87-97.

12. Усенко О.В. Физико-химические процессы в астеносфере // Геофиз. жур. – 2007. – №2, т. 29. – С. 54-70. 13. Glover P.W.J. Graphite and electrical conductivity in Lower continental Crust: A Review, Phys. Chem. Earth. Vol.21 No 4. pp.279-287

**Надійшла до редколегії 04.12.12**

**Т. Бурахович, д-р геол. наук, А. Кушнир, млад. науч. сотр., Г. Зайцев, млад. науч. сотр.**
**Институт Геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев**
**Б. Ширков, студ.**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## АНОМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИАЗОВСКОГО МЕГАБЛОКА

***В статье рассмотрены пространственные параметры аномалий высокой электропроводности в недрах земной коры, а также их природа, особенно на границах металлогенических и сейсмогенерирующих структур.***

**T. Burahovich, Dr. Sci. (Geol.), A. Kushnir, Junior researcher, G. Zaitsev, Junior researcher,**
**Institute of Geophysics National Academy of Science of Ukraine, Kyiv**
**B. Shyrkov, stud.**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## ANOMALOUS ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE CRUST OF EASTEN PART OF PREASOV MEGABLOCK

***The article deals the spatial parameters of high electric conductivity anomalies in the depths of the earth's crust, and their nature, especially on the boundaries of the metallogenic and seismic generating structures.***

**УДК 550.832.5**

**О. Камілова, мол. наук. співроб., В. Кулик, канд. фіз.-мат. наук,**
**М. Бондаренко, канд. геол. наук, А. Кетов, канд. геол. наук,**
**С. Дейнеко, канд. геол. наук,**
**Інститут Геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ**

# ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОГЕННИХ ЗАЛІЗОВМІСНИХ ПОРІД КОМПЛЕКСОМ РАДІОАКТИВНОГО КАРОТАЖУ (НА ПРИКЛАДІ ХВОСТОСХОВИЩА ПІВНІЧНОГО ГЗК)

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)***

***За допомогою комплексу радіоактивного каротажу (РК) у складі нейтрон-нейтронного, гамма-гамма і гамма-каротажу виконано дослідження порід на території хвостосховища Північного гірничо-збагачувального комбінату. На основі об'єктно-адаптаційної методології РК (як сукупності відповідних методів і методик) визначено ряд петрофізичних параметрів техногенних і природних порід та оцінено вміст заліза. Показано високу ефективність та інформативність комплексу РК і його інтерпретаційно-методичного забезпечення.***

**Постановка задачі.** Впродовж 50-ти років у Криворізькому басейні видобувають і збагачують бідні залізні руди – магнетитові кварцити [4]. Утворені при збагаченні руд відходи (хвости) складуються у спеціальні гідротехнічні споруди – хвостосховища. Вони займають великі площі (до 7,6 тис га [6]), які стають непридатними для іншої господарської діяльності людини та джерелом забруднення довкілля. Процес інфільтрації технічних вод із хвостосховищ та ставків-накопичувачів призводить до підвищення хлоридної і сульфатної мінералізації підземних вод. Крім того, щорічно навесні зі хвостосховищ скидають води в поверхневі водні об'єкти. Також відбувається забруднення повітря в результаті пилопереносу з поверхонь зневоднених площ вздовж дамб обвалування (до 2–5 т пилу за добу з 1 га поверхні) [7].

Одним зі шляхів зменшення негативного впливу на довкілля є комплексне використання відходів збагачення. Обсяг цих відходів в Кривбасі, за різними оцінками, складає від 3 до 7 млрд т і щорічно до них додається 280 млн т [4, 7]. Вони містять понад 30 цінних компонентів (у т.ч. золото і рідкісноземельні елементи) [7] і при застосуванні відповідних технологій можуть бути сировиною для подальшої переробки.

Хвостосховище Північного гірничо-збагачувального комбінату (ПГЗК, м. Кривий Ріг) є одним з найбільших в Кривбасі (площа ~1300 га, загальний обсяг ~1 млрд т [12]). Відходи збагачення, так звані "текучі хвости", надходять до хвостосховища у вигляді пульпи, яка складається з мінеральної речовини (4–6 % ваг.) і води (решта). Розмір мінеральних частинок коливається від ~0,001 мм до ~3,0 мм, середня густина сухої породи хвостів 1,6 г/см$^3$ [12], пористість, з урахуванням мінеральної густини скелету (див. табл.), складає ~55 %. Після скидання текучих хвостів у хвостосховищі відбувається перероз-

**© Камілова О., Кулик В., Бондаренко М., Кетов А., Дейнеко С., 2013**

поділ мінеральних частинок в процесі їх осаду відповідно до їх розміру і густини. Це спричиняє накопичення у лежалих хвостах магнетиту (до 12–15 % об. – в 3-5 разів вище його вмісту в текучих хвостах) і гематиту (до 15–20 % об. – в 2-4 рази вище). Такий вміст залізорудних мінералів співмірний з середнім їх вмістом у кондиційних залізних рудах Кривбасу. Хвости придамбової зони хвостосховища можна розглядати як високоякісну залізорудну сировину, готову до повторного збагачення [2]. Вміст заліза у відходах ПГЗК досягає ~20 % ваг. [7].

У таблиці наведено типовий мінеральний склад лежалих хвостів ПГЗК, визначений за допомогою мікроскопічного методу [3]. Результати доповнені нами даними про густину компонентів [5].

*Таблиця 1*

**Мінеральний склад і густина компонентів лежалих хвостів Північного ГЗК**

| | кварц | магнетит | гематит | гетит | гранат | куммінгтоніт | рібекіт | егірин | біотит | міннесотаіт | селадоніт | стільпномелан | хлорит | карбонати | пірит | піротин | інші мінерали | Σ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вміст, % об. | 56,19 | 20,43 | 9,70 | 0,11 | 1,25 | 5,02 | 3,03 | 0,72 | 1,27 | 0,15 | 0,18 | 0,20 | 0,29 | 0,18 | 0,46 | 0,10 | 0,72 | 100 |
| Густина, г/см$^3$ | 2,65 | 5,18 | 5,26 | 4,20 | 3,85 | 3,40 | 3,44 | 3,55 | 3,00 | 2,85 | 3,00 | 2,90 | 3,30 | 3,50 | 5,05 | 4,59 | 2,65 | 3,53 |

Через тривалу експлуатацію хвостосховища ПГЗК його заповнення досягло критичного рівня. Для розв'язання цієї проблеми нарощують дамбу хвостосховища [13] та розширюють його площу. Це вимагає оцінки інженерно-геологічних та інших параметрів хвостосховища і природного ґрунту, який служить його основою.

Частину хвостосховища ПГЗК раніше було рекультивовано, лежалі хвости закриті шаром поросłого травою ґрунту. Однак зараз на цій ділянці для збільшення об'єму хвостосховища заплановано спорудження нової дамби. Саме тут нами були виконані дослідження інженерно-геологічних та інших параметрів за допомогою комплексу радіоактивного каротажу (РК) у складі одно- і двозондового нейтрон-нейтронного (1ННК і 2ННК), гамма-гамма (ГГК) і гамма-каротажу (ГК).

Методи РК, при відповідному інтерпретаційно-методичному забезпеченні, можуть бути використані також і для оцінки вмісту деяких цінних компонентів у техногенних гірських породах, які складають хвостосховище, зокрема, заліза.

**Особливості інтерпретації РК при дослідженні хвостосховища ПГЗК.** Розроблена нами [10] об'єктно-адаптаційна методологія (як сукупність методів і методик у їх взаємозв'язку) визначення параметрів природних і техногенних приповерхневих порід за даними комплексу методів РК передбачає врахування особливостей досліджуваного об'єкта і пристосування метрологічного та інтерпретаційно-методичного забезпечення до цих особливостей. Важливою складовою частиною об'єктно-адаптаційної методології (ОАМ) є використання ряду критеріїв достовірності і точності параметрів порід, що визначаються.

Особливостями техногенних порід хвостосховища ПГЗК є їх висока пористість (до ~60 %), відсутність хімічно зв'язаної води і значний вміст заліза – сильного поглинача теплових нейтронів. Останнє при визначенні вологості однозондовим приладом 1ННК (як у традиційній технології) призводить до значних неконтрольованих систематичних похибок. Використання двозондового приладу 2ННК при визначенні вологості базується на тому, що відношення показів двох зондів практично не залежить від поглинальних властивостей середовища [8].

Градуювальну залежність (рис. 1) двозондового приладу ДНК-1, створеного в Інституті геофізики НАН України, отримано за даними свердловинних вимірювань нижче рівня ґрунтових вод в природних неглинистих породах різної вологості – в піску (~35-40 % об.) і торфі (~70 % об.). Інтерпретаційним параметром служить відношення показів двох зондів приладу ДНК-1 – *A*, виражене в умовних ("водяних") одиницях.

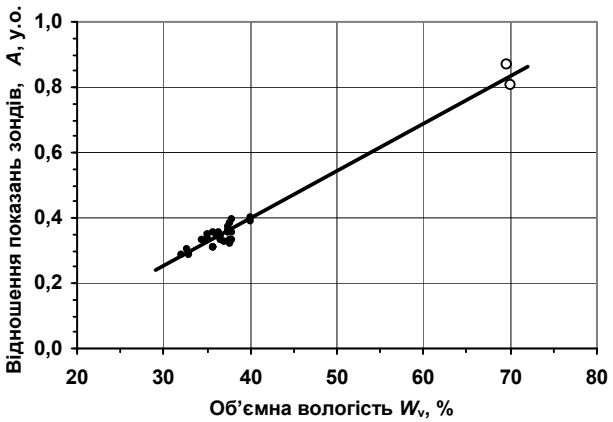



**Рис. 1. Градуювальна залежність двозондового приладу ДНК-1 для визначення вологості:**
● – пісок, ○ – торф

Важливим параметром, що характеризує літологічні властивості породи та вміст в ній окремих елементів (наприклад, заліза у складі відповідних мінералів), а також використовується при визначенні інших петрофізичних параметрів, є мінеральна густина скелету. Зазвичай вона визначається в лабораторних умовах пікнометричним способом [1]. Нами розроблено спосіб визначення цього параметра за даними каротажу [11]. Спосіб полягає у використанні густини, визначеної за ГГК, та вологості, визначеної за ННК + ГК. Для досліджуваної техногенної породи, яка не містить хімічно зв'язаної води, значення мінеральної густини скелету за даними РК в зоні повного водонасичення визначається за формулою:

$$\rho_s^{\text{РК}} = \frac{\rho^{\text{ГГК}} - \rho_w W_V^{\text{2ННК}}}{1 - W_V^{\text{2ННК}}}. \qquad (1)$$

Тут $\rho_s^{\text{РК}}$ – мінеральна густина скелету за комплексом РК, $\rho^{\text{ГГК}}$ – загальна густина за ГГК, $\rho_w$ – густина води, прийнята рівною 1,00 г/см$^3$; $W_V^{\text{2ННК}}$ – об'ємна вологість за відношенням показів двох зондів приладу 2ННК (вологість у зоні повного водонасичення співпадає з пористістю).

**Параметри техногенних порід хвостосховища ПГЗК.** Результати вимірювань приладами РК і інтерпретації даних комплексу РК наведено на рис. 2. Діаграми 1-3 відображають вимірювані величини: 1 – швидкість лічби імпульсів ГК, 2 – швидкість лічби імпульсів ГГК (з урахуванням фону за ГК), 3 – відношення показів двох зондів приладу ДНК-1 (*А*, у.о.).

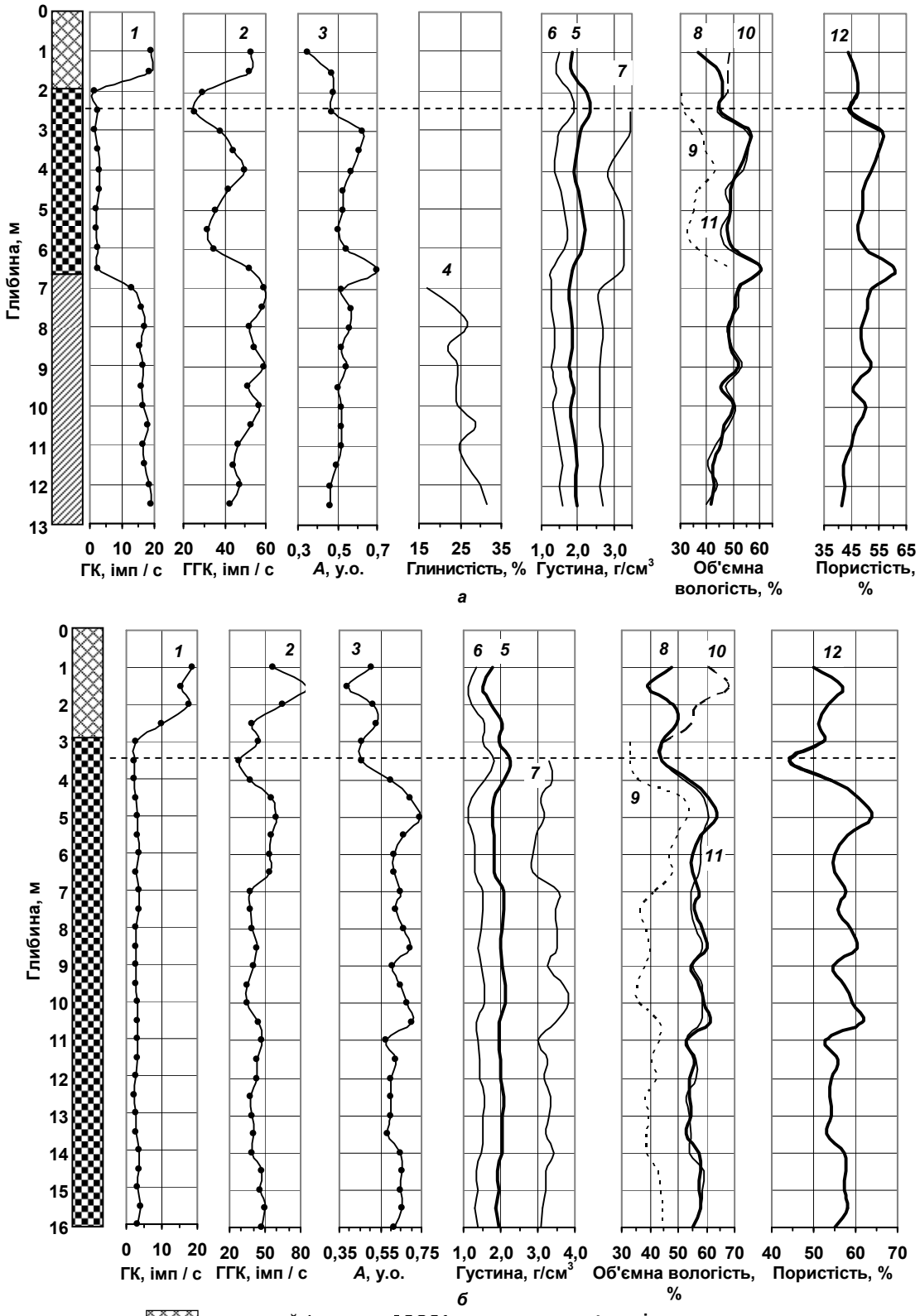



**Рис. 2. Результати дослідження хвостосховища ПГЗК: а) свердловина № 1, б) свердловина № 2.**
Шифр кривих: *1* – покази ГК, *2* – покази ГГК, *3* – відношення двох зондів ДНК-1, *4* – коефіцієнт глинистості за ГК, *5* – загальна густина породи за ГГК, *6* – густина сухої породи, *7* – мінеральна густина скелету породи, *8* – вологість за 2ННК, *9* – позірна вологість техногенної породи за 1ННК, *10* – фіктивна вологість породи за ГГК в зоні аерації, 11 – вологість за ГГК в зоні повного водонасичення, *12* – пористість за РК

Із рис. 2 видно, що за даними ГК чітко виділяються насипний ґрунт, техногенна порода і природна основа. При цьому радіоактивність техногенної породи в ~5 разів нижча, ніж насипного і природного ґрунту. Зона аерації і зона повного водонасичення розділяються за результатами визначень вологості в зоні аерації: 1) на основі ННК [9] ("істинна" вологість); 2) на основі ГГК (фіктивна вологість).

Загальна густина породи *5*, густина сухої породи *6* і мінеральна густина скелету *7* за результатами каротажу відповідають даним лабораторних досліджень. Об'ємні вологості в зоні повного водонасичення за даними на основі 2ННК *8* і ГГК *11* практично співпадають, тоді як вологість, визначена за 1ННК *9*, для техногенної породи нижча на ~10-20 %, тобто містить значну систематичну похибку. Пористість 12 в зоні водонасичення визначена за 2ННК, а в зоні аерації – за комплексом РК.

**Оцінка вмісту заліза в лежалих хвостах ПГЗК.** Для оцінки вмісту заліза в лежалих хвостах ПГЗК нами було виконано градуювання приладу ДНК-1 на побудованих в Інституті Геофізики ім. С.І. Субботіна лабораторних фізичних моделях залізовмісних порід. Робочим тілом моделі служила суміш кварцового піску і порошку гематиту.

На рис. 3 наведено градуювальні залежності – показів більшого зонду ДНК-1 (у відносних (водяних) одиницях) від вмісту заліза (% ваг.) Залежності отримані для крайніх значень об'ємної вологості $W_V$: максимальної (повна водонасиченість) ~45 % і мінімальної (повітряно-суха суміш) ~4 %. Порожнисті точки, отримані за результатами інтерпретації вимірювань приладом ДНК-1 на хвостосховищі ПГЗК, є оцінкою вмісту заліза у лежалих хвостах. У даному випадку він складає ~20 ваг. %, що узгоджується з літературними даними.

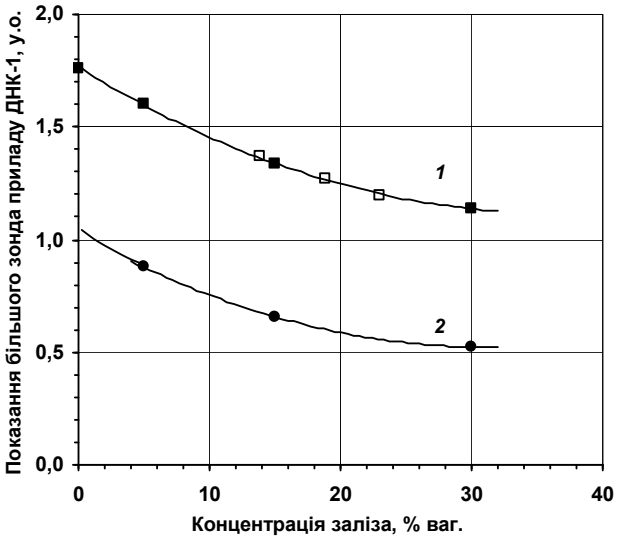



**Рис. 3. Градуювальні залежності для оцінки вмісту заліза в техногенній породі приладом ДНК-1:**
*1* (■, □) – об'ємна вологість ~45 %, *2* (●) – ~4 %.
■, ● – вимірювання на фізичних моделях ІГФ,
□ – оцінка вмісту заліза за даними свердловинних вимірювань на хвостосховищі ПГЗК

**Висновки.** Отримані результати РК дозволяють: 1) виділити лежалі хвости, для яких характерна низька радіоактивність; 2) визначити сукупність параметрів, які характеризують петрофізичні властивості розрізу; 3) розділити зону повного водонасичення і зону аерації; 4) оцінити вміст заліза у лежалих хвостах.

Для розглянутих свердловинних розрізів сукупність параметрів, визначена за об'єктно-адаптаційною методологією, відповідає критеріям узгодженості. Каротажна оцінка зони аерації і повного водонасичення узгоджена з даними прямих спостережень за рівнем ґрунтових вод (див. рис. 2а, б). Отримані параметри відповідають даним лабораторних досліджень з літературних джерел.

У цілому, виконані роботи показали високу ефективність та інформативність комплексу методів РК при дослідженні техногенних залізовмісних ґрунтів – хвостосховищ ГЗК.

**Список використаних джерел**

1. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей: ДСТУ Б В.2.1-17: 2009. – К.: Мінрегбуд України, 2010. – 26 с. – (Національний стандарт України).

2. *Євтєхов В. Д.* Мінеральний склад хвостів Північного гірничозбагачувального комбінату / *Євтєхов В. Д., Федорова І. А.* // Геолого-мінералогічний вісник. – 2002. – № 1. – С. 90–98.

3. *Евтехов В. Д.* Топоминералогия отходов обогащения бедных железных руд Кривбасса как техногенного железорудного сырья / *Евтехов В. Д., Федорова И. А.* // Геолого-мінералогічний вісник.– 2001.– № 2. – С. 81–87.

4. *Евтехов Е. В.* Влияния условий складирования лежалых хвостов на качество техногенных железных руд Криворожского бассейна / *Евтехов Е. В.* // Геолого-мінералогічний вісник. – 2004. – № 1. – С. 31–39.

5. *Костов И.* Минералогия / *Костов И.* – М.: Мир, 1971. – 584 с.

6. *Малахов И. Н.* Качество жизни: опыт экологического прочтения / *Малахов И. Н.* – Кривой Рог: Вежа, 1999. – 158 с.

7. Оцінка можлвиості використання відходів збагачення залізистих кварцитів в народному господарстві / *Губіна В. Г., Кадошніков В. М., Заборовський В. С.* [та ін.] // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. – 2009. – Вип. 17. – С. 79–92.

8. Патент України на винахід № 100911. Спосіб визначення параметрів природних і техногенних ґрунтів за допомогою радіоізотопного каротажу та пристрій для його здійснення / *Кулик В. В., Старостенко В. І., Нестеренко Г. Ф.* [та ін.]; заявник і патентовласник ІГФ НАНУ. – № a201103180; заявл. 18.03.11; опубл. 11.02.13, Бюл № 3.

9. Патент України на корисну модель № 66364. Спосіб визначення вологості піщано-глинистих ґрунтів у зоні аерації на основі нейтрон-нейтронного каротажу / *Бондаренко М. С., Кулик В. В.*; заявник і патентовласник ІГФ НАНУ. – № u201110720; заявл. 06.09.11; опубл. 26.12.11, Бюл № 24.

10. Принципові положення нової технології дослідження природних і техногенних ґрунтів комплексом радіоізотопного каротажу / *Кулик В. В., Бондаренко М. С., Кетов А. Ю.* [та ін.] // Наука та інновації. – 2012. – Т. 8, № 6. – С. 26–39.

11. Спосіб визначення мінеральної густини скелету гірських порід / *Кулик В. В., Бондаренко М. С., Камілова О. В;* заявник ІГФ НАНУ. Заявка на патент на винахід № a201208338 від 06.07.12.

12. *Федорова И. А.* Технологическая минералогия отходов обогащения Северного горно-обогатительного комбината Криворожского бассейна: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. геол. наук: спец. 04.00.20 "Минеенералогия, кристаллография" / *Федорова И. А.* – Кривой Рог. – 2004. – 20 с.

13. *Шерстюк Н. П.* Воздействия горнодобывающей промышленности на природно-техногенные ландшафты и его элементы на примере СевГОКа (Кривбасс) / *Шерстюк Н. П., Власова И. А* // Геолого-мінералогічний вісник. – 1999. – № 2. – С. 78–80.

**Надійшла до редколегії 05.12.12**

**О. Камилова, млад. науч. сотр., В. Кулик, канд. физ.-мат. наук,**
**М. Бондаренко, канд. геол. наук, А. Кетов, канд. геол. наук,**
**С. Дейнеко, канд. геол. наук**
**Институт Геофизики им. С.И. Субботиіна НАН Украины, Киев**

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОГЕННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД КОМПЛЕКСОМ РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА (НА ПРИМЕРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА СЕВЕРНОГО ГОК)

***С помощью комплекса радиоактивного каротажа (РК) в составе нейтрон-нейтронного, гамма-гамма и гамма- каротажа выполнено исследование пород на территории хвостохранилища Северного горно-обогатительного комбината. На основе объектно-адаптационной методологии РК (как совокупности соответствующих методов и методик) определен ряд петрофизических параметров техногенных и естественных пород и оценено содержание железа. Показана высокая эффективность и информативность комплекса РК и его интерпретационно-методического обеспечения.***

O. Kamilova, Junior researcher,V. Kulyk, Cand. Sci. (Phys.-Math.),
M. Bondarenko, Cand. Sci. (Geol.), A. Ketov, Cand. Sci. (Geol.),
S. Deineko, Cand. Sci. (Geol.)
Institute of Geophysics National Academy of Science of Ukraine, Kyiv

## DETERMINATION OF PARAMETERS OF TECHNOGENIC IRON-BEARING ROCKS BY COMPLEX RADIOACTIVE LOGGING (BY THE EXAMPLE OF TAILING DUMP OF NORTHERN MINE AND CONCENTRATOR COMPLEX)

*By means of a complex radioactive logging (RL) made up a neutron-neutron, gamma-gamma and gamma logging is executed research of rocks in the territory of tailing dump of Northern mine and concentrator complex. On the basis of objective and adaptable of RL-methodology (as sets of the corresponding methods and techniques) a number of petrophysical parameters of technogenic and natural rocks is determined and the content of iron is estimated. High efficiency and informativity of a RL-complex and its interpretative and methodical providing is shown.*

**УДК 550.832**

**Є. Солодкий, асп., О. Карпенко, д-р геол. наук, проф.**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# ПОРИСТІСТЬ ГАЗОНАСИЧЕНИХ КОЛЕКТОРІВ ЗА ДАНИМИ ГДС

*(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук, ст. наук. співроб. І.М. Безродною)*

***На основі лабораторних досліджень керну, геофізичних досліджень свердловин та результатів випробування пластів вивчено вплив характеру насичення на визначення пористості порід-колекторів серпухівського ярусу Євгеніївського ГКР. В результаті проведеної інтерпретації даних ГДС та аналізу наявної геолого-геофізичної інформації зроблено відповідні висновки щодо впливу характеру насичення при обрахунках пористості порід-колекторів Євгеніївського ГКР.***

**Вступ.** Точність і достовірність визначення ємнісних властивостей контролює точність підрахунку запасів вуглеводнів, виявлення перспективних об'єктів і в кінцевому етапі – точність оцінки економічної доцільності розробки родовища.

Одним із найважливіших параметрів при визначенні колекторів є коефіцієнт пористості ($K_п$). Існує велика кількість підходів до його визначення, в першу чергу за результатами геофізичних досліджень свердловин (ГДС). Достовірність такої оцінки суттєво залежить від правильно обраної методики інтерпретації даних каротажу і врахування геолого-геофізичних особливостей розрізу.

У зв'язку із тим, що гірські породи (г.п.) з точки зору системного аналізу і математичної статистики відносяться до вкрай погано організованих систем, урахування всіх існуючих факторів в інтерпретаційній моделі є непростою задачею. Однією із проблем є врахування процесів, що протікають в присвердловинній зоні пласта при випереджуючому проникненні фільтрату рідини при бурінні свердловин.

**Постановка задачі.** На даний час мало конкретних рекомендацій по кожному регіону досліджень щодо врахування впливу нафтогазонасичення при визначенні $K_п$ за даними ГДС. Метою авторів було оцінити вплив залишкової газонасиченості в зоні проникнення фільтрату промивної рідини на точність визначення $K_п$ в теригенних породах – колекторах (об'єктом дослідження обрано продуктивні і водонасичені пласти Євгеніївського газоконденсатного родовища). Визначення залишкового газонасичення в присвердловинній зоні – сама по собі дуже важлива задача, що несе в собі інформацію про характер насичення пласта в цілому, і як результат – про його продуктивність.

**Теоретичні відомості.** Сукупність методів акустичного, радіоактивного і електричного каротажу складають комплекс, що дозволяє досить повно характеризувати ємнісні властивості порід-колекторів, у тому числі – у зоні проникнення фільтрату промивної рідини.

*Акустичний каротаж.* Акустичний каротаж (АК) є основним методом визначення пористості г.п. у розрізах нафтових і газових свердловин [9]. Цей метод базується на реєстрації швидкості (інтервального часу – ΔТ) проходження головної хвилі в г.п. Швидкість пружних хвиль залежить від цілого ряду параметрів, але як показали польові дослідження, в більшості випадків величина вимірюваної швидкості контролюється пористістю [2]. Методом АК визначають абсолютну пористість. Однак, після введення ряду поправок в отримані дані, визначають ефективну пористість. Існує велика кількість способів визначення $K_п$ за даними АК, але найбільш широко розповсюдженим є метод, оснований на використанні загальновідомого рівняння середнього часу [19].

Для визначення $K_п$ за даними АК найбільш сприятливим є діапазон пористості 5-25 %. Породи з $K_п$> 25 %, як правило, слабозцементовані з недосконалим акустичним контактом між зернами скелету. Для щільних порід з $K_п$< 5 % спостерігається сильний вплив різноманіття в мінеральному складі і геометрії пор досліджуваних відкладів [15].

На покази методу впливає значна кількість факторів: пористість, мінеральний склад зерен твердої фази, тип наповнювача пор, об'єм газу в порах, гідрофільність, структурні і текстурні особливості, тиск і температура, кавернозність і тріщинуватість, орієнтація тріщин, а також ряд штучних зовнішніх факторів.

Стандартні дослідження акустичним методом виконують серійною апаратурою СПАК у необсадженій свердловині триелементним зондом (два випромінювача $B_1$ і $B_2$ та один приймач $П_1$). Дослідження проводяться при частоті пружних імпульсів 25-30 кГц, глибина дослідження складає 0,2-0,5 м і збільшується з підвищенням густини досліджуваних порід. Глибина дослідження триелементним зондом визначається його базою; вважається, що при довжині бази 0,5 м глибина дослідження в середньому складає 0,25-0,3 м [15].

Радіус дослідження при малих розмірах зонда не виходить за межі промитої зони [2]. Глибина дослідження триелементним зондом визначається його базою, частотою сигналу і швидкістю розповсюдження пружних хвиль у породі. Зі збільшенням бази зонда і швидкості розповсюдження пружних коливань у г.п. радіус дослідження збільшується. Зі збільшенням частоти пружних коливань глибина дослідження зменшується. Практично, радіус дослідження кінематичних характеристик, при базі 0,5 м і частоті 25 кГц, у середньому складає 25-30 см. Радіус дослідження по динамічних параметрах приблизно в 2 рази більше, ніж по кінематичних [6, 7].

У роботі [7] вказується, що при Vp = 5 км/с (ΔТ = 200 мкс/м), частоті 25 кГц, радіус дослідження приблизно складає 20 см. У середовищах, що мають додатній градієнт хвильового опору по радіусу від стін-

© Солодкий Є., Карпенко О., 2013

ки свердловини, глибинність методу буде збільшуватися як зі зниженням частоти акустичного поля, так і зі збільшенням розносу глибинного приладу.

Багатократні спостереження привели до висновку, що за насичення порід вуглеводнями спотворюється величина пористості, що розрахована за методом АК. Врахування складу флюїду, що насичує породу, виконують, вводячи емпіричні поправки. Емпіричний коефіцієнт поправки за вплив залишкового газонасичення знаходиться в межах від 0,8 до 0,9 (залежно від термобаричних умов). Вплив характеру насичення (в першу чергу, наявність газу) і розсіяної глинистості в породах-колекторах на величину ΔТ тим менше, чим краще ступінь цементації скелету породи [15].

Вивчення польових матеріалів показало, що для газонасичених порід коефіцієнт поправки за тип флюїду, що насичує пори, складає близько 0,7. Більш точне визначення цієї поправки потребує детальних польових досліджень для кожного конкретного району. Також встановлено, що вплив цього фактору збільшується зі зменшенням диференціального тиску і значно зменшується при його збільшенні [2].

У роботі [3] зазначається, що для низькопористих пісковиків ($K_п$< 15 %) і карбонатних порід поправку за газонасичення не вводять. За даними [3], для розрахунку дійсної пористості газонасичених пісковиків рекомендується помножити значення $K_п$, що отримане з використанням відомого рівняння середнього часу, на коефіцієнт 0,8-0,9.

За даними [5], дійсна величина коефіцієнта пористості дорівнює від 65 % до 75 % від розрахованої за результатами АК для газонасичених колекторів. У роботах [11,12] вказують, що в газонасичених пісковиках пористість за АК завищена приблизно на 30 %.

Розбіжності в оцінці різними авторами вмісту та впливу залишкового газонасичення на розраховані значення пористості за даними АК полягають у наявності значного числа впливових чинників, які досить проблематично врахувати під час інтерпретації даних АК у процесі досліджень газонасичених покладів. Окрім чинників геологічної природи, слід вказати на технологічні чинники, які істотно впливають на формування зони проникнення і, відповідно, на величину залишкового газонасичення в присвердловинній зоні. Це, в першу чергу, коливання тиску та зрив глинистої кірки в свердловині під час спуско-підйомних операцій, зупинки циркуляції, водовіддача промивної рідини, перепад тиску між свердловиною та пластом і т.ін.

*Радіоактивний каротаж (РК)*. Для оцінки $K_п$ порід за даними РК найбільш широко використовуються дані нейтронних методів (НМ), що пов'язано з найбільшою глибинністю та існуванням тісного лінійного кореляційного зв'язку між даними НМ (прологарифмованими) і вмістом водню в породах (особливо в діапазоні $K_п$ 5-25 % : 3-30 %) [18, 17].

Серед методів РК нейтронний каротаж має найбільший радіус дослідження. Це пояснюється тим, що при опроміненні г.п. нейтронами, ці частинки, що не мають електричного заряду, вільно проникають через електронні оболонки і взаємодіють безпосередньо з ядрами атомів. Взаємодія нейтронів з ядром керується ядерними силами, які проявляються при зіткненні нейтрона з ядром. Дія ядерних сил може призвести до розсіювання і поглинання. Досліджуючи розсіяння і поглинання нейтронів, можна ідентифікувати хімічні елементи і їх концентрації, на ядрах яких протікають ці процеси [12]. Основними факторами, що контролюють розсіювання і поглинання нейтронів, є вміст водню і хлору в досліджуваному середовищі [15].

Залежно від випромінювання, що реєструється детектором, нейтронні методи каротажу поділяються на нейтрон-нейтронні методи, в яких вимірюється щільність потоку нейтронів у г.п., і нейтронний-гамма метод, оснований на реєстрації вторинного гамма-випромінювання [12].

При дослідженнях свердловин, як правило, використовується така серійна апаратура: НГК в однозондовому варіанті (апаратура ДРСТ-3-90 і СП-62) із зондом НГМ-60, нейтрон-нейтронний каротаж по теплових нейтронах (ННК-Т) в однозондовому варіанті (апаратура ДРСТ-3-90) з зондом НМ-Т-50; ННК-Т в багатозондовому варіанті (апаратура К-7) і двозондовому варіанті (апаратура РК4-841, РКС-2 і РКС-3) [15].

Глибинність НМ залежить від вмісту водню (ω) в середовищі і тим менше, чим вище ω. Залежно від ω радіус дослідження НГМ змінюється від 20 см для високопористих порід до 60 см для щільних порід. Глибинність дослідження ННК дещо менше [12,15].

За даними [18], інформаційна глибинність дослідження нейтронного каротажу по водню збільшується зі зменшенням $K_п$ від 25-30 см до 60 см; по хлору – від 7-9 см (при заміщенні прісного пластового флюїду мінералізованим фільтратом промивної рідини) до 14-19 см (навпаки).

Радіус зони дослідження по водню при Ро-Ве джерелі залежно від ω змінюється в межах 15-40 см для ННМ-НТ, 15-60 см – ННМ-Т, 20-70 см – НГМ, причому перші цифри – в середовищах з високим вмістом водню. Радіус дослідження по хлору: для ННМ-Т – 5-20 см, для НГМ – 20-30 см [17].

Збільшення пористості пласта від 24 до 36 % і діаметра свердловини від 220 до 300 мм не впливає на величину радіусу дослідження імпульсних і стаціонарних нейтронних методів. Для зонда довжиною 50 см радіус дослідження НГМ при проникненні прісної води складає 32 см і зменшується до 22 см у випадку проникнення солоної води в нафтонасичений пласт. Зі збільшенням довжини зонда до 70 см радіус дослідження збільшується відповідно до 34 і 27 см [16].

Газоносні пласти, за винятком пластів з аномально високими пластовими тисками, вміщують при однаковій пористості менше водню в одиниці об'єму породи, ніж нафтоносні і водоносні. За рахунок цього, вони відмічаються більш високими показами НМ, якщо зона проникнення фільтрату промивної рідини в пласт відсутня (наприклад, в обсаджених неперфорованих свердловинах), або якщо радіус цієї зони менше за радіус зони дослідження методу (приблизно 30 см). Однак, в необсаджених свердловинах, які часто мають значну за розмірами зону проникнення фільтрату, де газ майже повністю витісняється фільтратом промивної рідини, покази проти газоносних пластів практично не відрізняються від показів напроти водоносних і нафтоносних порід тієї ж пористості [14].

За даними [15], при визначенні $K_п$ за НГК отримані значення дещо занижені, величина $K_{пн}$ (нейтронна пористість) газоносного колектора приблизно дорівнює:

$$K_{\text{пн}} = K_{\text{п}}\left(1-K_{\text{г}}\right)+\frac{K_{\text{п}}K_{\text{г}}P_{\text{пл}}}{623} \qquad (1)$$

Оцінка $K_п$ газонасичених пластів за даними НК потребує введення поправок за аномально низький вміст водню і понижену густину газонасичених пластів [18].

Газонасичення породи, як і її глинистість, впливає на покази НМ двобічно: викликає зменшення їх воднего індексу і густини. Перший фактор обумовлює зменшення істинної вологості породи на величину $K_г K_п (1-\omega_г)$. Врахування впливу залишкового газонасичення на покази НМ в зоні дослідження методу можливе, якщо відомий коефіцієнт залишкового газонасичення $K_{гз}$ або об'ємного газонасичення $Q_г = K_п K_г$. Врахування на пока-

зи НМ газонасичення зводиться до віднімання від величини $K_{пн}$, виправленої за вплив інших факторів, поправки $Q_г(\omega_г - 1)+d\omega_{пл.}$, де $d\omega_{пл.}$ – поправка за зміну густини. У випадку глинистих колекторів, що мають залишкову газонасиченість, більш точно пористість визначають при одночасному врахуванні як глинистості, так і газонасичення, шляхом віднімання поправки [4]:

$$K_{гл} = \omega_{св} + Q_г\left(\omega_г - 1\right) + d\omega_{пл}. \qquad (2)$$

*Електричний каротаж.* Коефіцієнт пористості за методом електричного каротажу оцінюється з використанням залежності типу $P_п=f(K_п)$. Параметр пористості (відносний електричний опір) розраховується:

– як відношення питомого електричного опору повністю насиченого пластовими водами колектора $\rho_{вп}$ до питомого електричного опору пластових вод $\rho_в$:

$$Pп = \frac{\rho_{вп}}{\rho_в};$$

– як відношення питомого електричного опору промитої зони колектора $\rho_{пп}$ до питомого електричного опору фільтрату промивної рідини (бурового розчину) $\rho_ф$:

$$P_п\left(P_{пф}\right) = \rho_{пл} \Big/ \rho_ф;$$

– через середні питомі електричні опори в зоні проникнення $\rho_{зп}$ і суміші пластової води і фільтрату бурового розчину $\rho_{в,ф}$:

$$P_п\left(P_{пф}\right) = \rho_{пл} \Big/ \rho_{вф}.$$

Головним і найбільш поширеним методом електричного каротажу, що дозволяє визначити найбільш реальний питомий опір гірських порід, є метод бокового каротажу. Як правило, при дослідженнях нафтогазових свердловин використовується тризондова модифікація методу – БК-3. Радіус досліджень триелектродним фокусованим зондом залежить від його загальної довжини $L_{заг}$ і складає 1–2 м залежно від геоелектричної характеристики досліджуваного розрізу [12].

За даними [5], визначення пористості газонасичених порід потребує введення поправки за залишкове газонасичення.

**Об'єкт дослідження.** В адміністративному відношенні Євгеніївське газоконденсатне родовище розташоване в Кремінському районі Луганської області в 6 км на північний схід від м. Кремінна. У тектонічному відношенні Євгеніївська структура розміщена в межах північної бортової частини ДДЗ і знаходиться в районі зчленування південного схилу Воронезької антеклізи з Донецькою складчастою спорудою, в зоні палеозойських піднять, приурочених до Краснорецької тектонічної лінії Північного Донбасу. Головним її елементом є Краснорецький скид, що має регіональний характер розвитку і протягується з південного сходу на північний захід майже паралельно Північно-Донецькому насуву. У дослідно-промислову розробку родовище впроваджене в 2001 р. На початок 2006 р у межах родовища пробурено 14 пошукових і розвідувальних свердловин. Поклади вуглеводнів Євгеніївського газоконденсатного родовища пов'язані з теригенними відкладами московського, башкирського та серпухівського ярусів карбону. Для проведення оцінки впливу характеру насичення на визначення $K_п$ було обрано пласти-колектори серпухівського віку, різного, за результатами випробування, насичення. В межах даного родовища зі свердловин № 1, 8, 14 було сформовано дві вибірки (групи) пластів: водонасичені і газонасичені. Глибинний інтервал дослідження 2100-2700 м. Товщини пластів від 2 до 11 м. Літологічно колектори представлені кварцовими та кварцово-польовошпатовими пісковиками з глинистим та карбонатно-глинистим цементом.

**Результати дослідження.** Після проведення детальної обробки та поточкової (крок 0,2 м) інтерпретації каротажного матеріалу було розраховано $K_п$ порід різного характеру насичення за даними методів акустичного (АК), радіоактивного (ННКт або НГК) та електричного (БК, БКЗ) каротажу. Дані про характер насичення порід за результатами випробування в межах обраних інтервалів глибин наведено в табл. 1.

***Таблиця 1***

**Характер насичення порід за результатами випробування пластів**

| № св. | Інтервал глибин залягання пласта-колектора, м | Товщина, м | Х-р насичення |
|---|---|---|---|
| 1 | 2125-2127,6 | 2,6 | Вода |
| | 2145,2-2147 | 1,8 | Вода |
| | 2167,4-2179 | 11,6 | Вода |
| 8 | 2308-2314 | 6 | Вода |
| | 2346-2352 | 6 | Газ |
| 14 | 2710-2715 | 5 | Газ |

Отримані середні значення $К_п$, розраховані за даними різних методів ГДС для порід різного характеру насичення, були порівняні між собою за критерієм Ст'юдента на подібність. У табл. 2 наведено результати оцінки подібності середніх розрахованих значень пористості за даними різних методів ГДС окремо по двох вибірках порід (водонасичені і газонасичені пласти) шляхом порівняння розрахованих значень ($t_{роз}$) t- критерію з теоретичними ($t_{теор}$).

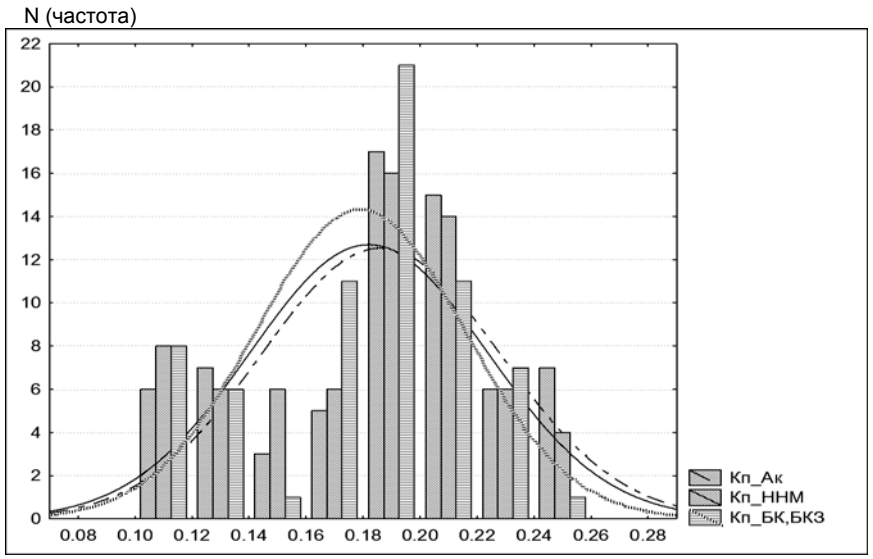
***Таблиця 2***

**Порівняння подібності розрахованих значень пористості за даними різних методів ГДС на основі використання t- критерію Ст'юдента**

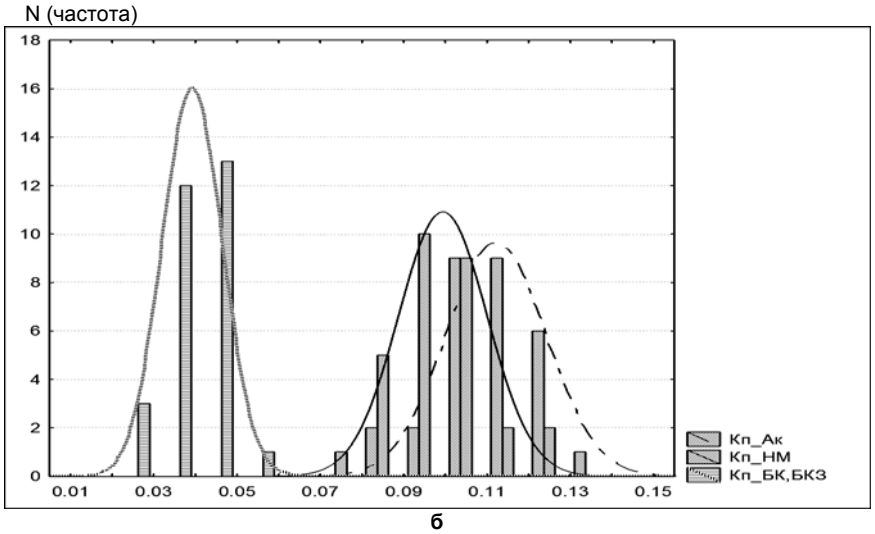
| Водонасичені пласти | | | | Газонасичені пласти | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N=66, p=0,9 | | $t_{теор}$ | $t_{роз}$ | N=29, p=0,9 | | $t_{теор}$ | $t_{роз}$ |
| $К_{п_АК}$ | $К_{п_НМ}$ | 1,669 | 0,652 | $К_{п_АК}$ | $К_{п_НМ}$ | 1,699 | 4,19 |
| $К_{п_АК}$ | $К_{п_БК,БКЗ}$ | 1,669 | 1,113 | $К_{п_АК}$ | $К_{п_БК,БКЗ}$ | 1,699 | 27,45 |
| $К_{п_НМ}$ | $К_{п_БК,БКЗ}$ | 1,669 | 0,426 | $К_{п_НМ}$ | $К_{п_БК,БКЗ}$ | 1,699 | 24,72 |

Аналізуючи результати розрахунків значень t-критерію, можна зробити висновок, що при насиченні порід водою значення пористості, обчислені за різними методами ГДС, мало відрізняються між собою, для газонасичених порід – різниця дуже суттєва. Нижче наведено отримані ймовірнісні розподіли значень пористості водонасичених і газонасичених порід-колекторів (рис. 1а, б).

**Висновки.** Після проведення статистичного аналізу та порівняння отриманих результатів за критерієм Ст'юдента виявлено факт впливу газонасичення на покази методів акустичного, нейтронного і електричного каротажу для типових умов розкриття пластів пошуковими і розвідувальними свердловинами в межах карбонатного комплексу ДДЗ. Аналізуючи отримані ймовірнісні розподіли фактичних даних, ступінь і характер впливу залишкового газонасичення на покази розглянутих вище методів ГДС, можна зробити припущення, що істинні значення $K_п$ знаходяться в проміжку між величинами $K_п^{АК}$ і $K_п^{НК}$. Для того, щоби більш точно визначити вплив залишкового газонасичення, необхідно вивчити розподіл газонасичення пласта в радіальному напрямку від стінки свердловини. Для цього слід використовувати різноглибинні зонди акустичного, нейтронного і електричного каротажу. Напрямок таких досліджень, спрямованих на вдосконалення методики визначення ємнісної характеристики порід-колекторів, забезпечить збільшення достовірності оцінки запасів природного газу по окремих родовищах ДДЗ на основі використання даних промислової геофізики.




а




б

**Рис. 1. Розподіл ймовірностей значень Кп для порід з різним характером насичення по свердловинах Євгеніївського газоконденсатного родовища:**

а – водонасичені породи; б – газонасичені породи. Умовні позначення: Кп_Ак – пористість, обрахована за даними акустичного каротажу; Кп_НМ – пористість, обрахована за даними нейтронного каротажу, Кп_БК,БКЗ – пористість, обрахована за даними бокового каротажу, бокового каротажного зондування

**Список використаних джерел**

1. *Азаматов В. И.* Оценка качества первичного вскрытия продуктивных пластов по промысловым игеофизическим данным // Обзорн. информация. Сер. Геология нефтяных игазовых месторождений / Азаматов В. И., Крысин Н. И., Спасибко В. Д. – М.: ВНИИОЭНГ, 1989. – 46 с.
2. *Булатова Ж. М.* Акустический каротаж / Булатова Ж. М., Волкова Е. А., Дубров Е. Ф. – Л.: Недра, 1970. – 264 с.
3. *Вендельштейн Б. Ю.* Методические рекомендации по определению подсчетных параметров залежей нефти и газа по материалам геофизических исследований скважин с привлечением результатов анализов керна, опробований и испытаний продуктивных пластов / Вендельштейн Б. Ю., Козяр В. Ф., Яценко Г. Г. – Калинин: НПО "Союзпромгеофизика", 1990. – 261 с.
4. *Вендельштейн Б. Ю.* Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов (при подсчете запасов и проектировании разработки месторождений) / Б. Ю. Вендельштейн, Р. А. Резванов – М.: Недра, 1978. – 318 с.
5. *Дахнов В. Н.* Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород – 2-е изд., перераб. и доп / Дахнов В. Н. – М.: Недра, 1985. – 310 с.
6. *Дьяконов Д. И.* Общий курс геофизических исследований скважин. – Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. / Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С. – М.: Недра, 1984. – 432 с.
7. *Ивакин Б. Н.* Акустический метод исследования скважин / Ивакин Б. Н., Карус Е. В., Кузнецов О. Л. – М.: Недра, 1978. – 320 с.
8. *Итенберг С. С.* Интерпретация результатов каротажа скважин / Итенберг С. С. – М.: Недра, 1978. – 389 с.
9. *Карпенко О. М.* Науково-методичні засади оцінки ємнісних властивостей порід тонкошаруватих розрізів родовищ вуглеводнів за даними геофізичних досліджень: Дис. д-ра геол. наук: 04.00.22 / Карпенко Олексій Миколайович – Київ, 2005. – 336 с.
10. *Карпенко О. М.* Розділення продуктивних пластів за характеромнасичення в багатопластових покладах за даними ГДС / О. М. Карпенко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 1995. – № 32. – С. 33-38.
11. *Комаров С. Г.* Геофизические методы исследования скважин / Комаров С. Г. – М.: Недра, 1973. – 367 с.
12. *Курганський В. М.* Електричні та електромагнітні методи дослідження свердловин : Навчальний посібник / В. М. Курганський, І. В. Тішаєв – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. – 175 с.
13. *Мейер В. А.* Геофизические исследования скважин. Учеб. Пособие / Мейер В. А. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 464 с.
14. *Ларионов В. В.* Ядерная геофизика и радиометрическая разведка: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / В. В. Ларионов, Р. А. Резванов – М.: Недра, 1988. – 325 с.
15. *Латышова М. Г.* Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин: – 2-е изд., перераб. и доп. / Латышова М. Г., Вендельштейн Б. Ю., Тузов В. П. – М.: Недра, 1990. – 312 с.
16. *Орлинский Б. М.* Контроль за разработкой залежей нефти геофизическими методами / Орлинский Б. М. – М.: Недра, 1977. – 239 с.
17. *Резванов Р. А.* Радиоактивные и другие неэлектрические методы исследования скважин. Учебник для вузов / Резванов Р. А. – М.: Недра, 1982. – 368 с.
18. Скважинная ядерная геофизика: Справочник геофизика / [Под ред. О. Л. Кузнецова, А. П. Поляченко. – 2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Недра, 1990. – 318 с.
19. *Wyllie M. R. J.* Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media / M. R. J. Wyllie, A. R. Gregory, L. W. Gardner // Geophysics. – 1958. – Vol. XXI, № 1. – PP. 41-70.

**Надійшла до редколегії 23.01.13**

**Е. Солодкий, асп., О. Карпенко, д-р геол. наук, проф.**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

**ПОРИСТОСТЬ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДАННЫМ ГИС**

***На основание лабораторных исследований керна, геофизических исследований скважин и результатов испытания пластов изучается влияние характера насыщения на определение пористости пород-коллекторов серпуховского яруса Евгенеевского газоконденсатного месторождения. В результате проведенной интерпретации данных ГИС и анализа доступной геолого-геофизической информации сделано соответствующие выводы касательно влияния характера насыщения при расчете пористости пород-коллекторов Евгенеевского газоконденсатного месторождения.***

**E. Solodkiy, asp., O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

**THE POROSITY OF GAS-SATURATED RESERVOIRS ON GIS DATA**

***On the basis of laboratory investigation of core, well logging and seam testing the saturation influence on the porosity determination of reservoir rocks from Evgeniivske oil and gas deposit was studied. As a result of the well logging interpretation and analysis of the existing geological and geophysical information an appropriate conclusions about the influence of the saturation during porosity calculation of the reservoir rocks of Evgeniivske field were made.***

**УДК 550.834+550.34.016+550.34.013.4**

**Д. Безродний, канд. геол. наук**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КРИСТАЛОГРАФІЧНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ МІНЕРАЛІВ НА ПАРАМЕТРИ ПРУЖНОЇ І АКУСТИЧНОЇ АНІЗОТРОПІЇ БІОТИТОВИХ СЛАНЦІВ КРИВОРІЖЖЯ

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Г.Т. Продайводою)***

***Вивчено вплив тектонічних деформацій на анізотропію акустичних і пружних параметрів біотитових сланців Кривбасу. Проведено їх математичне моделювання з використанням багатокомпонентної моделі геологічного середовища.***

**Стан проблеми.** Метаморфічні породи Криворіжжя зазнавали пластичних, пружно-пластичних і крихких деформацій [1-3]. Пластичні деформації суттєво змінювали їхню внутрішню структуру і текстуру, а іноді і мінеральний склад. Подібні типи деформацій пов'язані з пластичним перетворенням порід і супроводжуються формуванням складок ламінарного типу, сланцюватістю, перекристалізацією і кристалографічною орієнтацією мінералів. Пружно-пластичні деформації характеризуються широким розвитком кліважу і кліважної сланцюватості [1-3]. Крихкі деформації супроводжувалися розвитком тріщинуватості в гірських породах (з різною орієнтацією тріщин) і катаклазом крихких мінералів. Усі ці деформації знайшли своє відображення у структурах і текстурах метаморфічних порід КНГС і її полігону. Природно, що деформації кожного типу мають суттєво відрізнятися за параметрами акустичної і пружної анізотропії [1-3].

З метою оцінки цих параметрів метаморфічних порід Кривбасу було розроблено математичні моделі тектонофацій, які враховують вплив деформацій різної природи.

При моделюванні за основу були прийняти результати тектонофаціального вивчення структури метаморфічних порід Кривбасу [1-6], мікро- і макроскопічні дослідження зразків гірських порід КНГС і її полігону, результати обробки електронно-мікроскопічних зображень шліфів та відповідні шкали тектонофацій, що розроблені для катазони за мезо- і мікроознаками, мезозони за характером кліважування порід та верхньої епізони за характером та інтенсивністю тріщинуватості [1-6]. Визначення рівня перетворень динамічного, динамотермального метаморфізму (за десятибальною шкалою) та визначення динамічної анізотропії зразків Криворізької надглибокої свердловини за текстурними ознаками здійснювалося за оригінальною методикою, яка базується на використанні моделі еліпсоїду обертання. За цією моделлю кожному балу тектонофації відповідає вісім десятиградусних інтервалів та два п'ятиградусних інтервали кута зсуву. Розрахунки компонент деформації по основних кінематичних осях такого еліпсоїда для кожного (із числа відзначених десяти) інтервалу відзначеного кута наведені у табл. 1.

У першу чергу було враховано такі ознаки тектонофацій:

- кут між великими площинами (*ав*) плоских зерен породоутворюючих мінералів та віссю а (лінійністю);
- відношення *а:с* зерен породотвірних мінералів та мікро- і мезовключень;
- товщину мікролітонів;
- відношення "розплющення-видовження" (*а:с*) мікро- і мезотіл при кліважуванні;
- розміри блочків, уламків, тектонокластів.

***Таблиця 1***

**Частина шкали тектонофацій, яка розрахована на прикладі моделі еліпсоїда обертання (за Є.І. Паталахою, 1985)**

| Показники деформації | Бали тектонофацій | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
| за кутом зсуву, γ | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 80-85 | 85-90 |
| за компонентою розтягання, εа | 0-10 | 10-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-120 | 120-200 | 200-480 | 480-1060 | >1060 |
| за компонентою стиснення, εс | 0-9 | 9-17 | 17-29 | 29-38 | 38-45 | 45-55 | 55-67 | 67-83 | 83-91 | 91-100 |
| за відношенням а:с | 1-1,2 | 1,2-1,4 | 1,4-2,0 | 2,0-2,6 | 2,6-3,2 | 3,2-4,8 | 4,8-9,0 | 9,0-33,3 | 33,3-142,9 | >142,9 |

Кристалізаційне розсланцювання (умови катазони) у в'язких розломах супроводжується орієнтуванням плоских і видовжених зерен породотвірних мінералів та пластичною формозміною цих зерен і агрегатів та розвитком анізотропних текстур – сланцюватих у метаосадових та метавулканічних породах і гнейсуватих у гранітоїдах. Розглянуто два типи моделей тектонофацій, що відповідають пластичним деформаціям.

**© Безродний Д., 2013**

Модель I. "Сланець біотитовий". Розглядає переважний вплив кристалографічної орієнтації породотвірних мінералів на параметри акустичної і пружної анізотропії. Мінеральний склад: біотит – 40 %, плагіоклаз – 33 %, кварц – 26 %. Модель армувалася мікротріщинами, що, як і основні породотвірні мінерали для нижчих балів тектонофацій I-IV, були рівномірно орієнтовані паралельно осям $x_1$, $x_2$, $x_3$.

Формат мікротріщин α був прийнятий α=0,01, формат зерен кварцу і плагіоклазу прийнятий як α=0,3, а біотиту – α=0,1, що відповідає середньому формату зерен зазначених мінералів [2-3].

Поступово концентрація орієнтованих зерен породотвірних мінералів і мікротріщин вздовж осей $x_1$, $x_2$ зі збільшенням балу тектонофацій від V до X зменшувалася з одночасним збільшенням її по осі $x_3$. Концентрація орієнтованих зерен породотвірних мінералів і мікротріщин вздовж осей $x_1$, $x_2$ зі збільшенням балу тектонофацій від V до X зменшується з одночасним збільшенням її по осі $x_3$, досягаючи 95 % для тектонофації X [5].

Модель II. "Сланець біотитовий". Характеризує зміну параметрів акустичної і пружної анізотропії від сланцюватості – орієнтації породотвірних мінералів за формою. Мінеральний склад той самий, що для моделі I.

Формат зерен породотвірних мінералів кварцу і плагіоклазу $\alpha$ змінювався від $\alpha$=0,3 для тектонофації V до $\alpha$=0,03 для тектонофації X, та від $\alpha$=0,1 для тектонофації V до $\alpha$=0,01 для тектонофації X – для біотиту. Формат мікротріщин $\alpha$ змінювався від $\alpha$=0,05 для тектонофації V до $\alpha$=0,0005 для тектонофації X. Враховуючи той факт, що за численними тектонофаціальними дослідженнями [1-6] в тектонофації V катазони починають зникати мікротріщини, а в тектонофації VIII вони практично відсутні, концентрація мікротріщин змінювалася від ζ=1 % для тектонофації V до ζ=0,1 % для тектонофації X.

В основі **методу акустичного аналізу** текстур гірських порід лежить азимутальна залежність їхніх ефективних пружних властивостей від орієнтації мінералів і мікротріщин.

Метод акустичного аналізу текстур гірських порід не має обмежень і базується на багатокомпонентній моделі текстури гірської породи, що включає орієнтацію мінералів і мікротріщин. Для визначення ефективних пружних постійних $C^*_{mn}$ застосовується метод умовних моментних функцій [6-8]. У цьому методі для визначення $C^*_{mn}$ необхідно знайти залежність між середніми деформаціями у включенні, орієнтованому в n-ному напрямку $\varepsilon^{(in)}$ і макроскопічними деформаціями матриці $\varepsilon^{(m)}$:

$$\varepsilon^{in} = <\varepsilon> + C_m d_i Z_i \varepsilon^{(m)}, \quad f_i = C^{(i)} - C^0,$$
$$d_i = C^{(i)} - C^{(m)}; \; Z_i = (I - G^{(i)} f_i)^{-1} G^{(i)}, \qquad (1)$$

де $C_m$ – об'ємна концентрація матриці; $C^{(i)}$- пружні постійні і-го включення; $C^{(m)}$- пружні постійні матриці; $C^{(0)}$ – пружні постійні тіла порівняння.

Осереднюючи по безлічі $\Omega$ можливих орієнтацій включень, виражаємо середні деформації включень $\varepsilon^{(i)}$ і скелету $\varepsilon^{(m)}$ через макроскопічні деформації $\overline{\varepsilon}$ представленого об'єму:

$$\varepsilon^{(i)} = A_i \overline{\varepsilon}; \qquad \varepsilon^{(m)} = A_m \overline{\varepsilon}; \quad A_i = A_m (I + \overline{Z}^{(i)} d);$$
$$A_m = (I + c_i \overline{Z}^{(i)} d_i)^{-1}; \qquad \overline{Z}_i = <Z_i>_\Omega, \qquad (2)$$

де кутовими дужками з індексом $\Omega$ позначена операція статистичного осереднення за кількістю можливих орієнтацій включень. Відмінна риса запропонованого методу полягає в осередненні алгебраїчних компонентів тензора $\overline{Z}_i$ за допомогою довільної функції розподілу орієнтації включень:

$$\overline{Z}^{(i)}_{ijpq} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} a_{im} a_{jn} a_{ps} a_{qt} Z^{(i)}_{mnst} f^{(i)}(\varphi_1, \Theta, \varphi_2) \, d\varphi_1 \sin\Theta \, d\Theta \, d\varphi_2, \qquad (3)$$

де $\varphi_1, \Theta, \varphi_2$ – Ейлерові кути; $f^{(i)}(\varphi_1, \Theta, \varphi_2)$ – функція розподілу орієнтації *i*–го включення, що розкладається в ряд за узагальненими сферичними функціями [2, 3, 7, 8].

Враховуючи рівняння (2) і (3), можна знайти вираз для ефективних пружних постійних *C** текстури гірської породи з довільною орієнтацією включень:

$$C^* = \sum_{r=1}^{N+1} c_r C_r A_r, \qquad (4)$$

де *N* – кількість включень (*r=1, … , N*).

Для обчислення невідомих моментів розкладання функції розподілу $W^{(i)}_{lmn}$ *i*-го включення використовувався метод інверсії азимутальної залежності ефективних фазових швидкостей квазіповздовжних і квазіпоперечних хвиль текстурованої гірської породи.

Для розв'язання поставленої задачі застосовувалися сучасні методи глобальної оптимізації цільової функції:

$$\Phi(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{M} (\upsilon_i^{(l)} - \upsilon_i^{(r)})^2, \qquad (5)$$

де $\upsilon_i^{(l)}, \upsilon_i^{(r)}$ – фазові швидкості квазіповздовжніх і квазіпоперечних хвиль відповідно, що обчислені з експериментальних значень ефективних пружних постійних гірської породи, отриманих методом умовних моментних функцій зі знайдених на r-тому кроці ітерації моментів розкладання функцій розподілу орієнтації включень; $\vec{x}$ – вектор невідомих моментів розкладання функцій розподілу орієнтації мінералів і мікротріщин.

Полюсні діаграми розподілу орієнтацій кристалографічних осей мінералів і мікротріщин розраховувалися за системою рівнянь [8]:

$$q(\varphi, \Theta) = \sum_{l=0}^{4} \sum_{m=-l}^{l} \Omega_{lm} P_l^m(\cos\Theta) \, e^{-im\varphi},$$
$$\Omega_{lm} = 2\pi \left(\frac{2}{2l+1}\right)^{1/2} \sum_{n=-l}^{l} W_{lmnl} P_l^n(\cos\eta) \, e^{in\Phi}, \qquad (6)$$

де $P_l^m(\cos\Theta), P_l^n(\cos\eta)$ – нормалізовані приєднані поліноми Лежандра; $\varphi, \Theta$ – сферична система координат у базисі гірської породи; $\eta, \Phi$ – сферична система координат у кристалофізичному базисі.

**Результати.**

Модель I. "Сланець біотитовий".

Акустична і пружна симетрія текстури моделі I за результатами математичного моделювання планальна ромбічна ($\mu^*_{11} < \mu^*_{22} > \mu^*_{33}$; $C^*_{11} < C^*_{22} > C^*_{33}$; $C^*_{44} < C^*_{55} < C^*_{66}$).

Величина інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії змінюється від 13 % для тектонофації I і досягає 42 % при майже 100 % однонаправленій їхній орієнтації вздовж осі $x_3$, що відповідає тектонофації X катазони. Зі зростанням однонаправленої кристалографічної орієнтації зерен кварцу і біотиту різко збільшуються ефективні пружні постійні породи $C^*_{11}$, $C^*_{22}$, меншою мірою – $C^*_{66}$, величина $C^*_{33}$ планомірно зменшується, а значення $C^*_{44}$, $C^*_{55}$ майже не залежать від впливу кристалографічної орієнтації мінералів (рис. 1).

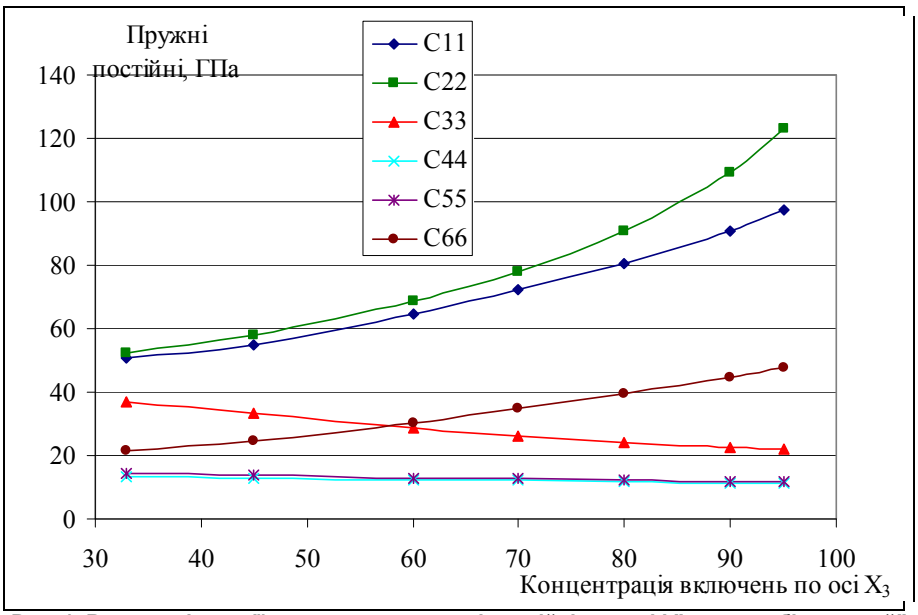



**Рис. 1. Вплив орієнтації включень на пружні постійні моделі I "сланець біотитовий"**

Досліджено вказівні поверхні пружних параметрів (різниці "швидкої" і "повільної" поперечних хвиль та диференціального коефіцієнта пружної анізотропії) для тектонофацій I, VII і X.

Зміна параметрів пружної анізотропії досить значна. Величина різниці між "швидкою" і "повільною" поперечними модами змінюється від 1,3 км/с для рівномірного розподілу орієнтованих включень (тектонофація I) до 2,2 км/с для тектонофації X, що свідчить про інтенсивні процеси розщеплення хвиль, а коефіцієнт диференціальної пружної анізотропії від 28 % до 48 % відповідно (рис. 3а, д). Значення інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії $A_\mu$ добре узгоджуються з середніми значеннями диференціального коефіцієнта пружної анізотропії $A_d$ .

Для моделі I "сланець біотитовий" спостерігається істотне зменшення кількості екстремумів і їхнє розташування на площині $X_1X_2$ зі зростанням однонаправленої кристалографічної орієнтації зерен біотиту, кварцу і мікротріщин.

Для різниці $\Delta V_s = V_{s1} - V_{s2}$ кількість екстремумів зменшується з 12 до 7, що локалізуються у вузькій приосьовій області мінімальних значень. Що ж стосується коефіцієнту диференціальної пружної анізотропії $A_d$, то для нього кількість екстремумів зменшується з 11 до 3 з тією самою локалізацією областей максимальних значень.

Для моделі I "сланець біотитовий" визначено, що пружна симетрія їх текстури накладає жорсткі обмеження на симетрію вказівних поверхонь усіх без виключення параметрів анізотропії та на симетрію вказівної поверхні диференціального коефіцієнта пружної анізотропії. Для ромбічної симетрії текстури моделі "сланець біотитовий" встановлено, що існують окремі напрямки, вздовж яких величина диференціального коефіцієнта пружної анізотропії дорівнює нулеві. Отже, закономірності розповсюдження пружних хвиль вздовж цих напрямків нічим не відрізняються від ізотропного середовища.

Модель II. "Сланець біотитовий". На прикладі цієї моделі досліджено вплив сланцюватості на ефективні акустичні і пружні постійні.

Акустична і пружна симетрія текстури моделі II за результатами математичного моделювання планальна ромбічна ($\mu^*_{11} < \mu^*_{22} > \mu^*_{33}$; $C^*_{11} < C^*_{22} > C^*_{33}$; $C^*_{44} < C^*_{55} < C^*_{66}$).

Величина інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії на відміну від моделі I змінюється фактично невідчутно від 23,5 % для тектонофації V до 27,6 % для тектонофації X катазони. Всі ефективні пружні постійні моделі II істотно зменшуються, особливо це стосується недіагональних компонент матриці $C^*_{12}$, $C^*_{13}$, $C^*_{23}$, які набувають своїх екстремальних значень у тектонофації X (рис. 2).

Проведено аналіз параметрів анізотропії, які представлені на стереопроекціях ізоліній вказівних поверхонь пружних параметрів (різниці "швидкої" і "повільної" поперечних хвиль та диференціального коефіцієнта пружної анізотропії) для тектонофацій V, VIII і X.

Зміна параметрів пружної анізотропії не така значна, як для моделі I (рис. 3). Максимальна величина різниці між "швидкою" і "повільною" поперечними модами змінюється від 1,7 км/с для тектонофації V до майже 2,1 км/с для тектонофації X, що свідчить про інтенсивні процеси розщеплення хвиль. Поруч з тим, можна виділити не менше 6-ти екстремумів на вказівних поверхнях цього параметру пружної анізотропії, де явище розщеплення хвиль відсутнє.

Коефіцієнт диференціальної пружної анізотропії зростає від 32 % для тектонофації V до 42 % для тектонофації X (рис. 3б, г, е), що істотно менше, ніж для моделі I.

На відміну від моделі I, спостерігається збільшення кількості екстремальних точок на вказівних поверхнях параметрів пружної анізотропії. У випадку різниці між "швидкою" і "повільною" квазіпоперечними хвилями кількість екстремумів зростає з 8 для тектонофації V до 13 для тектонофації X, а для диференціального коефіцієнта пружної анізотропії з 5 до 9 відповідно (рис. 3).

Один з п'яти мінімальних екстремумів диференціального коефіцієнту пружної анізотропії співпадає з напрямком поширення пружної хвилі, інші розташовані під кутом 20-25$^0$ до площини $X_1X_2$.

Як і для моделі I, для моделі II встановлено, що пружна симетрія текстури накладає жорсткі обмеження на симетрію вказівних поверхонь усіх параметрів анізотропії та на симетрію вказівної поверхні диференціального коефіцієнта пружної анізотропії. Для моделі II виявлено 5 окремих напрямків, вздовж яких величина диференціального коефіцієнта пружної анізотропії дорівнює нулеві. Це свідчить про те, що закономірності розповсюдження об'ємних пружних хвиль у цих напрямках нічим не відрізняються від ізотропного середовища.

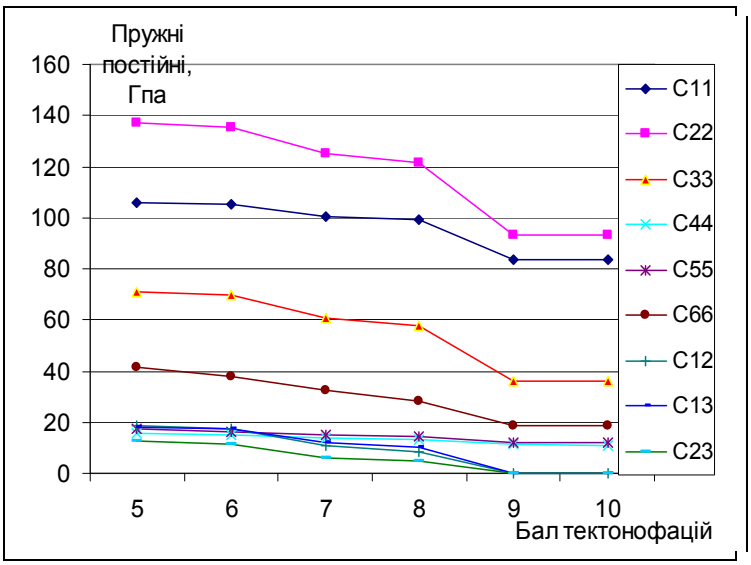



**Рис. 2. Вплив форми мінералів на пружні постійні моделі II "сланець біотитовий" для різних балів тектонофацій**

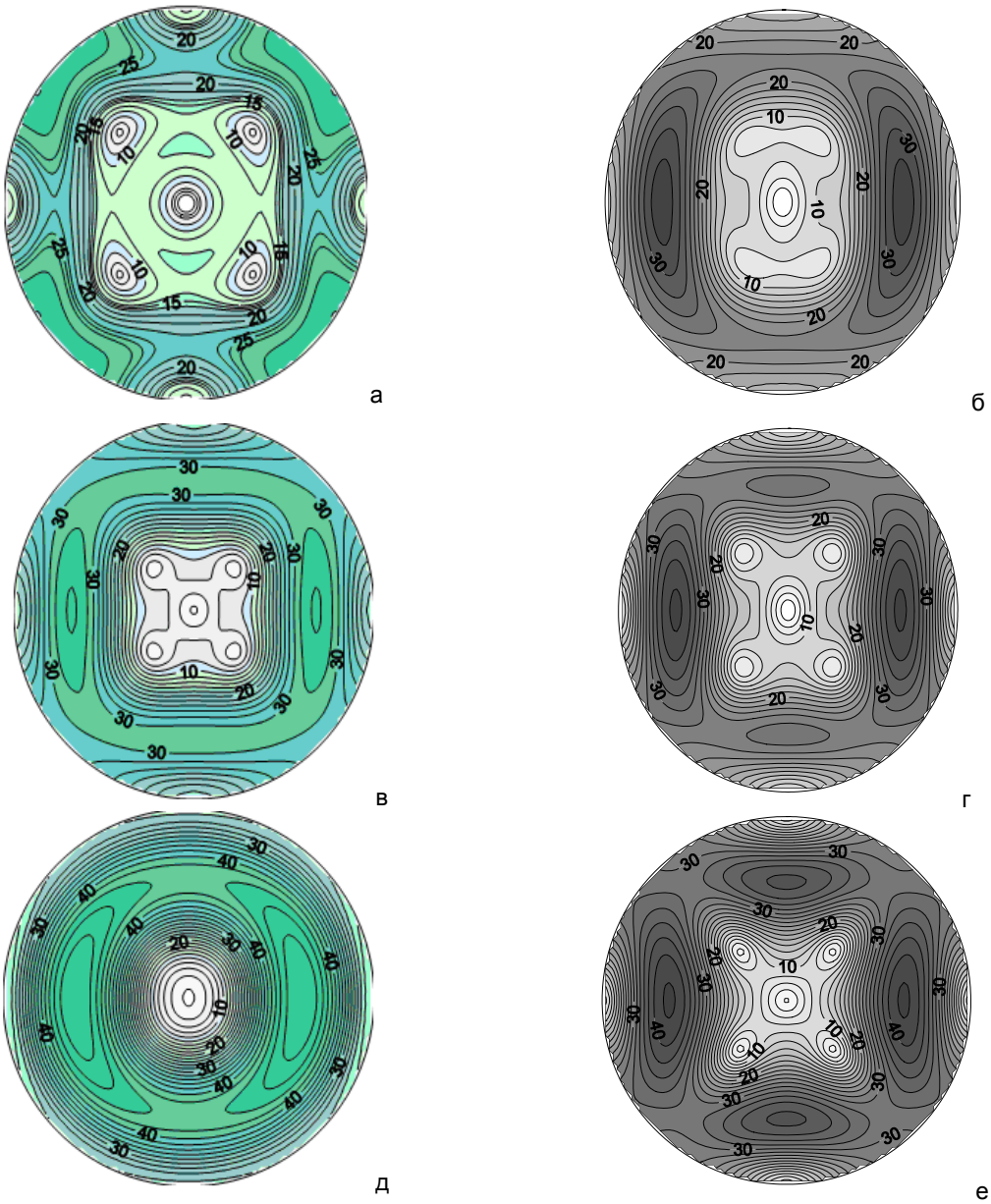



**Рис. 3. Стереопроекції ізоліній вказівних поверхонь коефіцієнта диференціальної пружної анізотропії для моделей "сланець біотитовий" I (а, в, д) і II (б, г, е) для тектонофацій V (а, б),VIII (в, г) та X (д, е)**

**Висновки** Таким чином, проведено математичне моделювання ефективних акустичних і пружних параметрів тектонофацій катазони для моделей біотитових сланців, характерних для Криворіжжя, та оцінено вплив кристалографічної орієнтації мінералів на акустичні і пружні параметри зразків з врахуванням акустичної анізотропії, що продемонструвало можливості розробленого методу для аналізу тектонічних деформацій на основі проведених петроакустичних досліджень.

**Список використаних джерел**

1. *Лукієнко О. І.* Тектонофаціальна структура Кривбасу / О. І.Лукієнко // Вісник Київ. Ун-ту, Геологія. – 2000. – Вип. 17. – С. 8-13.

2. *Продайвода Г. Т.* Акустичний текстурний аналіз метаморфічних порід Криворіжжя : монографія / Г. Т. Продайвода, С. А. Вижва, Д. А. Безродний, І. М. Безродна. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет". – 2011. – 378 с.

3. *Продайвода Г. Т.* Акустика текстур гірських порід: Навч. посіб. / Г. Т. Продайвода. – К. : ВГЛ "Обрії", 2004. – 142 с.

4. *Паталаха Е. И.* Тектонофации мезозоны (атлас микроструктур) / Е. И. Паталаха, А. И. Лукиенко, В. А. Дербенев. – Алма-Ата : Изд-во "Наука" КазССР, 1987. – 184 с.

5. *Паталаха Е. И.* Тектонические потоки как основа понимания геологических структур / Е. И. Паталаха, А. И. Лукиенко, В. В. Гончар. – К. : НАНУ, 1995. – 159 с.

6. *Bunge H.I.* Three-Dementional Texture Analysis of three Quartzites / H. I. Bunge, H. R. Wenk // Tectonophysics. – 1977. – V. 40. – P. 257-285.

7. *Продайвода Г. Т.* Метод расчета эффективных упругих постоянных в анизотропных микротрещиноватых горных породах / Г. Т. Продайвода, К. С. Александров, С. А. Выжва, Л. В. Назаренко // Геол. и геофиз. – 2000. – 41, № 3. – С. 436-449. 8. *Александров К. С.* Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород / К. С. Александров, Г. Т. Продайвода. – Новосибирск, Изд. СО РАН, 2000. – 354 с.

**Надійшла до редколегії 11.03.13**

**Д. Безродный, канд. геол. наук**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ МИНЕРАЛОВ НА ПАРАМЕТРЫ УПРУГОЙ И АКУСТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ БИОТИТОВЫХ СЛАНЦЕВ КРИВОРОЖЬЯ

***Изучено влияние тектонических деформаций на анизотропию акустических и упругих параметров биотитовых сланцев Кривбасса. Проведено их математическое моделирование с использованием многокомпонентной модели геологической среды***

**D. Bezrodny, Cand. Sci. (Geol.)**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## INFLUENCE CRYSTALLOGRAPHIC ORIENTATION OF MINERALS ON THE ELASTIC PARAMETERS AND ACOUSTIC ANISOTROPY OF BIOTITE SCHISTS KRYVORIZHZHYA

***Influence of tectonic deformations on acoustic and elastic anisotropy parameters of Krivbass biotite schists is studied. Mathematical modeling using a multicomponent model of the geological environment is conducted.***

**УДК 550.83-1029.12**

**О. Меньшов, канд. геол. наук**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# МАГНЕТИЗМ ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ РОЗРІЗУ ЗЕМНОЇ КОРИ: ПРИРОДНА ТА ТЕХНОГЕННА СКЛАДОВІ

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. М.І. Орлюком)***

***Розглянуто стан проблеми магнітних досліджень ґрунтів на сучасному етапі розвитку. Наведено приклади магнітних досліджень ґрунтів забруднених територій для розв'язання природоохоронних завдань. Досліджено роль магнетотактичних бактерій як джерел формування магнетизму незабруднених ґрунтів.***

**Вступ.** Однією з основних вимог до сучасних геофізичних досліджень є висока роздільна здатність відповідних зйомок та вимірювань, найбільш точне визначення петрофізичних характеристик досліджуваних об'єктів для подальшої побудови оптимальних моделей геологічних середовищ. Дуже близько до відповідності поставленим вище вимогам у своєму розвитку наблизилася магнітометрія та вивчення магнітних властивостей природних об'єктів. Пояснюється дана ситуація фізичною сутністю магнітного метода. Відомо, що носіями магнітних аномалій є намагнічені відповідним чином природні об'єкти. За величиною свого магнетизму, наприклад за Берсудським, гірські породи розподіляють на: *практично немагнітні* (магнітна сприйнятливість MS або $\chi<50*10^{-6}$ од. СГС), *дуже слабко магнітні* ($\chi$ від 50 до $100*10^{-6}$ од. СГС), *слабко магнітні* ($\chi$ від 100 до $1000*10^{-6}$ од. СГС), *магнітні* ($\chi$ від 1000 до $5000*10^{-6}$ од. СГС), *сильно магнітні* ($\chi>5000*10^{-6}$ од. СГС). Але, вочевидь, наведена класифікація на сучасному рівні втрачає свою актуальність, адже немагнітних об'єктів у природі не існує. Кожна гірська порода, ґрунтовий покрив, атмосферний пил і будь-які інші природні препарати містять у своїй структурі магнетики. Тому, мова може йти лише про апаратурну можливість фіксації відповідних магнітних аномалій та властивостей.

Таким чином, порівняно з іншими геофізичними методами, магнітний метод досліджень у своїй роздільній здатності може обмежуватися лише величиною найменшого носія магнетизму – магнітного домена. Сучасна магнітометрична апаратура фактично має здатність до фіксації найменшого магнітного сигналу. Звідси випливає обґрунтована можливість використання магнетизму природних об'єктів для розв'язання більшості завдань, які сьогодні ставляться перед геологами, екологами, ґрунтознавцями, географами, біологами, археологами та іншими спеціалістами.

Нижче більш детально розглянемо основні здобутки світового наукового рок-магнітного товариства та наведемо деякі приклади власних досліджень.

**Стан проблеми.** Однією з найбільш об'єктивних оцінок основних напрямків, трендів та стратегій розвитку магнітних досліджень, у тому числі і ґрунтового покриву, у світі є доповіді та матеріали спеціалізованих конференції з "Палеомагнетизму, Магнетизму гірських порід та Магнетизму оточуючого середовища", які проводяться спільно інститутами геофізики академії наук Чехії та Словаччини за підтримки Міжнародної асоціації геомагнетизму та аерономії (IAGA) кожні два роки. Автор статті є їх безпосереднім учасником починаючи з 2004 р. Остання, 13-та, Конференція відбулася у червні 2012 р у м. Зволен, Словаччина. Світове товариство найбільш відомих учених у галузі рок-магнітних досліджень (E. Petrovsky, S. Spassov, H. Bohnel, J. Hus, P. Camps, E. Font, M. Funaki, A.M. Hirt, M. Jelenska,

**© Меньшов О., 2013**

A. Kapicka, P.F. Silva, B. Henry, F. Hrouda, E. Aidona, L.J. Pesonen, G. Kletetschka, R. Scholger, V. Maksymchuk, E. Marton, O. Orlicky, S.-C. Radan, T. Werner, Qingsheng Liu та ін.) представило основні сучасні розробки у сфері дослідження власне рок-магнетизму, палеомагнетизму, археомагнетизму, вивчення магнітної мінералогії, ультрадетальних магнітометричних досліджень, магнітних досліджень забруднення атмосфери та магнетизму ґрунтового покриву. Пропонуємо коротко зупинитися на деяких найбільш цікавих та інформативних публікаціях саме у галузі вивчення педомагнетизму.

У роботі чеських науковців [1] розглядається проблема магнітної мінералогії та магнітних властивостей глейових ґрунтів, що розповсюджені у межах слабко дренованої алювіальної частини заплави р. Літавка (район Пбрам, Чеська Республіка). При цьому дослідження педомагнітних характеристик відбувалося з урахуванням аспекту можливого техногенного забруднення ґрунтів за рахунок функціонування гірничої та плавильної промисловості.

Для побудови магнітних моделей ґрунтового покриву надзвичайно необхідною є інформація про вертикальні розподіли магнітних характеристик у генетичних горизонтах. У цьому контексті інформативною є робота польських колег, що провели дослідження для українських та польських недеградованих чорноземів [2]. Відзначається, що для українських чорноземів найвищі значення магнітної сприйнятливості фіксуються у верхніх гумусних горизонтах (горизонт А за Докучаєвим). При цьому відзначено превалювання суперпарамагнітних та однодоменних магнітних частинок, що вказує на домінування педогенного генезису магнетизму. Низька коерцетивність та високі значення намагніченості насичення і залишкової намагніченості насичення вказують на присутність магнетиту. Горизонт В характеризується пониженням інтенсивності педогенного процесу, що підтверджується відсутністю техногенного забруднення і більш низькими значеннями магнітної сприйнятливості. Наявність магнітних часток з низькою намагніченістю та високою коерцетивністю вказують на домінування гематитової фази. Магнітні показники материнських підстилаючих порід (горизонт С за Докучаєвим) невисокі. Фактично, результати, що отримані дослідниками з Польської АН, частково можуть бути покладені в основу побудови педомагнітної моделі українських чорноземів.

Результати досліджень магнітної сприйнятливості ґрунтів у контексті наявності у їх складі магнетиту або магеміту використовуються для розв'язання низки прикладних завдань. Часто магнітне картування використовується для ідентифікації атмосферного забруднення регіонів пиловими фракціями, що несуть у своїй структурі небезпечні для людини сполуки. Найчастіше ґрунтовий горизонт, у якому відбувається відповідне накопичення, а отже і підвищення ступеня магнетизму, лежить на глибині 3-6 см. У спільній роботі чеських та португальських дослідників [5] зафіксовано підвищення значень магнітних показників техногенного характеру на більших глибинах. Досліджувалися дернові ґрунти піщаного складу з територій поблизу м. Сіней (узбережжя поблизу Лісабона, Португалія) та навколо міста Абрантес (на північний схід від Лісабона). Техногенний вплив на обидві ділянки, головним чином, справляє одне і те саме джерело – потужна теплова електростанція. Максимуми магнітних показників зафіксовано у більш глибоких генетичних горизонтах, а генезис магнітних частинок визначено як техногенний. Автори дослідження пояснюють цей факт впливом цунамі, а також відновлювальними технічними ґрунтовими роботами у межах конструювання теплоелектростанції. Отримані дані свідчать про наявність ще декількох механізмів нетипових розподілів магнітних та магнітомінералогічних параметрів по вертикалі у ґрунтових розрізах, що слід враховувати при побудові еталонних педомагнітних моделей.

Крім того, серед щойно опублікованих наукових досягнень у галузі дослідження магнетизму ґрунтового покриву слід відзначити роботу польських колег [13], у якій іде мова про використання паралельно даних площинної та вертикальної магнітної зйомки з метою побудови тривимірної магнітної моделі ґрунтового покриву, що фактично є аналогом педомагнітної моделі, розробкою якої ми займаємося у рамках виконання держбюджетної теми геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Однією з найбільш вагомих світових шкіл з вивчення проблеми педомагнетизму є китайська школа дослідників. У роботі [12] на прикладі центральної частини Китаю (Вухан) проведено дослідження магнітних параметрів ґрунтових покривів, що розташовані у середині міської агломерації та на прилеглих територіях. Основною метою дослідження є розробка методики розбраковки магнітного сигналу від ґрунтів, що генерується носіями магнетизму техногенного та педогенного генезису.

Про вплив рослинності, що розповсюджена на відповідних землях, на склад ґрунтів, а отже й їх магнітні властивості, йде мова у роботі [10] авторів з Канади, університет Віндзор.

У спільній роботі німецьких та болгарських авторів [6] представлено результати магнітних досліджень глейових ґрунтів та флувісолів на території Рослау (Німеччина) з метою визначення концентрації поживних речовин у ґрунтах.

Серед результатів останніх магнітних досліджень українських спеціалістів відзначимо кілька наступних прикладів. Науковці з Карпатського Відділення Інститут Геофізики НАН України у своїх дослідженнях [7] демонструють потенціал високороздільної магнітометрії для пошуків нафти і газу. Відзначається наявність слабоамплітудних магнітних аномалій на прикладі ДДЗ України і рекомендується використання інформації про магнітну сприйнятливість гірських порід у комплексі інших геофізичних вишукувань для стратифікації нафтогазоносних прошарків та геомагнітного моделювання нафтогазоносних структур.

Крім того, магнітними дослідженнями природних об'єктів в Україні займається наукова група під керівництвом М.І. Орлюка. У 2012 р вийшло понад 10 публікацій, проте щоб не виходити за рамки магнітних проблем, які розглядаються у статті, хотілося б відзначити більш ранні наукові роботи, присвячені застосуванню геомагнетизму для дослідження перспектив нафтогазоносності та розв'язання археологічних завдань [16-17].

Деякі результати останніх досліджень автора наведено у роботах [8, 9, 14, 15]. Мова йде як про власне проблеми магнетизму ґрунтового покриву, так розглядаються і питання дослідження інформативності педомагнетизму у різних сферах народного господарства та фундаментальної науки.

**Результати та їх обговорення.** Нижче більш детально зупинимося на кількох прикладах магнітних досліджень в Україні і світі. Для зручної ілюстрації та аналізу різних напрямків магнітних досліджень проведемо порівняльну характеристику світових та власних розробок за пріоритетними напрямками науки і техніки. У рамках статті сконцентруємо свою увагу на двох частинах магнітних досліджень природних об'єктів – природоохоронній галузі та вивченні магнетотактичних бактерій.

***Природоохоронна галузь.*** Одним із основних завдань магнітних досліджень в екології є картування

ґрунтових покривів, що забруднені у наслідок техногенної і антропогенної діяльності. При цьому вивчаються латеральні розподіли магнітних характеристик для просторової оцінки впливу відповідних джерел забруднення. Вертикальні розподіли магнітних величин урбанізованих територій вивчаються для з'ясування глибини проникнення небезпечних речовин за ступенем омагнічування генетичних горизонтів урбаноземів [18], а також можливого забруднення ґрунтових вод. Крім того, виконується дослідження магнітної мінералогії, вивчаються магнітні техногенні сферули, проводиться кореляція між магнітними параметрами та вмістом у ґрунтових покривах небезпечних для людини сполук та елементів. Як приклад іноземних екомагнітних досліджень звернемося до роботи [1]. Відзначається, що флуктуація рівня підземних вод призводить до оглеєння генетичного профілю ґрунтів. При цьому за результатами магнітних досліджень фіксуються й максимуми антропогенного забруднення ґрунтів кадмієм, свинцем та цинком. Порівнюючи процеси оглеєння, що відбуваються у ґрунтовому профілі, та вертикальні піки техногенного навантаження за магнітними характеристиками, можна зробити висновок про глибину осідання небезпечних для людини хімічних речовин та елементів, їх розподіл та концентрацію по вертикалі та латералі (рис. 1).

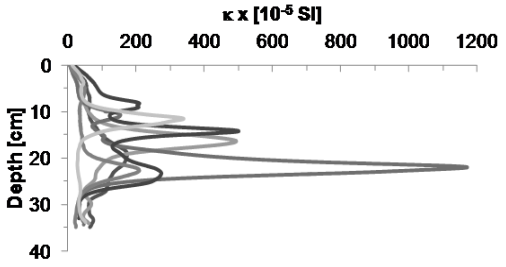



**Рис. 1. Вертикальний розподіл магнітної сприйнятливості для глейових забруднених ґрунтів алювіальної долини р. Літавка, Чеська Республіка [1]**

Частотна залежність магнітної сприйнятливості FD склала у даних горизонтах 2,6 %. Разом із високими значеннями ангістерезисної залишкової намагніченості (ARM) та ідеальної залишкової намагніченості (IRM), а також низькою коерцетивністю мінералів підтверджується техногенний характер магнітних частинок, які індукують підвищення значень магнітної сприйнятливості у відповідних горизонтах. Вивчення термомагнітних характеристик з метою визначення магнітної мінералогії забруднених ґрунтів (рис. 2), у свою чергу, підтвердило внесок феримагнітних частинок і їх рух під час флуктуації підземних вод до акумулятивного ґрунтового горизонту.

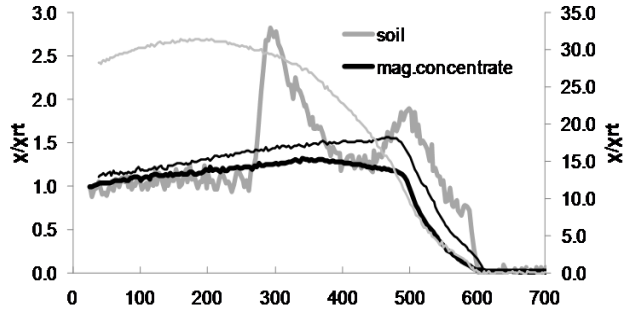



**Рис. 2. Термомагнітний аналіз за магнітною сприйнятливістю (нагрівання та охолодження) зразків ґрунтів з генетичних горизонтів із підвищеними значеннями магнітної сприйнятливості [1]**

Одним з основних завдань застосування інформативності магнетизму ґрунтів у екологічній сфері є картування урбанізованих територій. На прикладі рис. 3 розглянемо розподіл магнітної сприйнятливості ґрунтів вздовж ландшафтного перетину (у зв'язку з впливом декількох індустріальних об'єктів), що вивчався нами у районі Кам'янця-Подільського. Даний ландшафтний перетин включає 6 зон. Зона 1 – територія впливу цементного заводу. Відзначено підвищення магнітної сприйнятливості у кілька разів. На відстані близько 200 м магнітна сприйнятливість стає характерною для чорноземного типу ґрунтів даного регіону. Ця ділянка відповідає зоні 2, яка представлена сільськогосподарським полем, що знаходиться в аграрному виробництві. Зона 3 – низовина, ґрунтовий покрив слабомагнітний, лучні ґрунти. Зона 4 і 6 – подібні зоні 2. Зона 5 – це ділянка ландшафтного перетину, який пройшов в околицях залізниці. Ґрунтовий покрив характеризується явними ознаками урбанозему. Магнітна сприйнятливість перевищує характерні значення для відповідних незабруднених ґрунтів. У той же час, вона не досягає тих значень, які зафіксовані нами близько цементного заводу. В рамках наведеного прикладу ми проілюстрували можливості магнітного методу для експресної та дешевої оцінки територій впливу антропогенних і техногенних об'єктів. Відзначимо, що в кожному конкретному прикладі необхідно брати до уваги велику кількість додаткових чинників, які можуть бути характерними виключно для конкретного об'єкту.

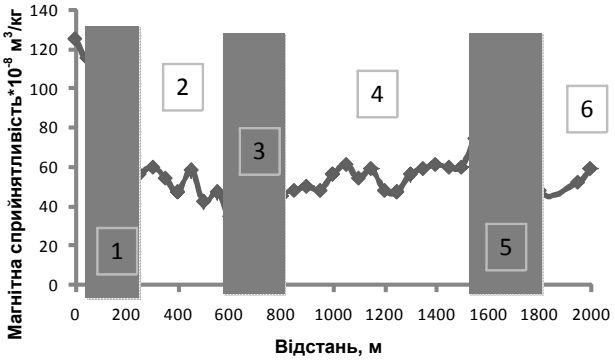



**Рис. 3. Магнітна сприйнятливість ґрунтів уздовж ландшафтного перетину, що включає техногенні об'єкти:** 1 – зона впливу цементного заводу, 2, 4, 6 – чорноземні незабруднені ґрунти сільськогосподарського поля, 3 – лучні ґрунти, низовинні ділянки, 5 – зона впливу залізниці

Вище, у всіх випадках магнітних досліджень в екологічній галузі мова йшла про техногенні носії магнетизму у забруднених ґрунтах – магнітні сферули. Їх зовнішній вигляд за результатами дослідження на електронному мікроскопі наведено на рис. 4 [3]. Загальною морфологічною ознакою урбаноземів є високий вміст магнітних частинок сферичної форми (магнітні сферули), гострі частинки неправильної форми зустрічаються рідше.

***Магнетотактичні бактерії.*** Природа магнетизму ґрунтів формується за рахунок трьох основних способів. Перший спосіб – це привнесення більш магнітного матеріалу з підстилаючих материнських порід (літогенна природа педомагнетизму). Найбільш розповсюджена така ситуація для ґрунтових покривів територій виходу на поверхню кристалічного фундаменту (наприклад, Український щит). Другий спосіб – це техногенне забруднення і привнесення у структуру ґрунтів сторонніх магнетиків, що формуються у процесі діяльності важкої промисловості, автомобільного трафіку, роботи теплоелектростанцій тощо. Найбільш цікавим є процес формування магнетиків під час розвитку власне

ґрунтового профілю і генетичних горизонтів. Такий характер магнетизму носить назву педогенний. У його основу покладена життєдіяльність найдрібніших живих організмів, так званих магнетотактичних бактерій (*Magnetotactic Bacteria*). Загальний вигляд клітин таких бактерій наведено на рис. 5 [11]. Розрізняються такі морфологічні форми клітин, як великі стрижні (*large rods* – рис. 5а, б, в), вібріони (*vibrios* – г), спірили (*spirilla* – д), коковидні (*coccoid* – ж, з, і). Відзначимо, що тема дослідження природи розвитку магнетизму ґрунтів, особливо педогенного характеру, потребує особливого окремого розгляду. Ми маємо на меті повернутися до неї найближчім часом. У контексті даної публікації для окреслення проблеми звернемося до роботи [4]. Демонструється потенціал сучасної рок-магнітної апаратурної бази. На основі феромагнітно-резонансної спектроскопії досліджуються магнетотактичні бактерії, які у непошкодженому вигляді описуються як набір магнітних частинок у органічній матриці. Така будова може спричиняти анізотропію форми. При застосуванні феромагнітного резонансу різних частот до магнетотактичних бактерій *Magnetospirillum gryphiswaldense* виявлено, що магнітні частинки у клітині магнетотактичної бактерії розташовані у вигляді одновимірного масиву. Крім того, на прикладі магнетотактичних бактерій *Magnetospirillum gryphiswaldense* демонструється увесь цикл розвитку клітини бактерії від безмагнітного стану до наявності зрілого ланцюга магнетиту.

**Рис. 4. Результати дослідження електронним мікроскопом магнітних фракцій урбанізованих ґрунтів [3]**

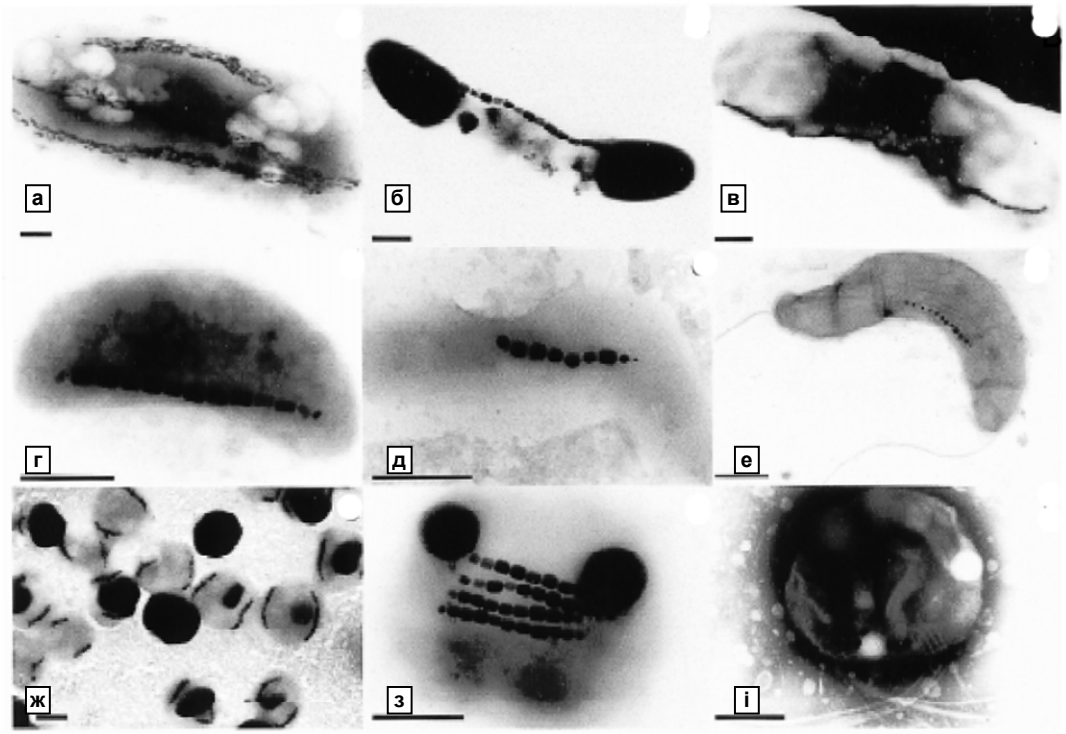



**Рис. 5. Електронні мікрознімки магнетотактичних бактерій, що відібрані з різних природних об'єктів [11]**

**Висновки.** Таким чином, основними напрямками розвитку магнітних досліджень, у тому числі педосфери, на сучасному рівні є екомагнетизм, археомагнетизм, дослідження ерозійних процесів ґрунтових покривів, вивчення ґрунтових покривів різних географічних територій зі специфічними типами клімату, магнітні дослідження з метою пошуків вуглеводнів, ультрадетальна магнітометрія природних систем, магнітомінералогічні дослідження, вивчення магнетотактичних бактерій.

У рамках даної роботи розглянуто інформативність педомагнетизму при розв'язанні природоохоронних завдань. Визначено, що значення магнітних параметрів можуть підвищуватися у глибинних генетичних ґрунтових горизонтах, де відбувається накопичення небезпечних хімічних сполук та елементів паралельно з магнітними частинками техногенної природи. Останні найчастіше можуть бути представлені магнітними сферулами, меншими за 10 мкм (PM 10 частинки). Також продемонстровано, що при площинному вивченні магнітної сприйнятливості можна проводити моніторинг забруднення територій. На прикладі залізниці та цементного заводу окреслено зони впливу відповідних об'єктів та

відзначено підвищення значень магнітної сприйнятливості таких зон у десятки разів.

Дослідження педогенної природи магнетизму ґрунтів показали, що основними джерелами формування магнетиту та інших магнітних мінералів можуть виступати магнетотактичні бактерії. Існує цілий ряд таких організмів, що відрізняються за розмірами, типами, формами клітин. Саме у таких клітинах іде процес розвитку від безмагнітного стану до формування найдрібніших магнітних частинок у магнітосомах. Ця тема потребує ширшого висвітлення у наступних роботах.

**Список використаних джерел**


1. *Dlouha S.* Mineral magnetic properties of polluted Gleyic Fluvisols – a case study of Litavka alluvium / S. Dlouha, E. Petrovsky, O. Drabek // Contributions to Geophysics and Geodesy "Paleo, Rock and Environmental Magnetism 13th Castle Meeting – 2012. – Special issue. – P. 21-22.
2. *Dytlow S. K.* Identification of soil horizons in the Ukrainian loess by using magnetometry / S. K. Dytlow, B. Gorka-Kostrubiec // Contributions to Geophysics and Geodesy "Paleo, Rock and Environmental Magnetism 13th Castle Meeting – 2012. – Special issue. – P. 23.
3. *Gladysheva M. A.* Detection of Technogenically Contaminated Soil Areas Based on Their Magnetic Susceptibility / M. A. Gladysheva, A. V. Ivanov, M. N. Stroganova // Eurasian Soil Science, 2007, Vol. 40, No. 2, pp. 215–222.
4. *Gehring A. U.* Ferromagnetic resonance spectroscopy and anisotropy traits of magnetotactic bacteria / A. U. Gehring, J. Kind, I. Garcia-Rubio // Contributions to Geophysics and Geodesy "Paleo, Rock and Environmental Magnetism 13th Castle Meeting – 2012. – Special issue. – P. 47-48.
5. *Grison H.* Characterization of magnetically enhanced buried soil layer in arid environment / H. Grison, E. Petrovsky, A. Kapicka, P. F. Silva, E. Font // Contributions to Geophysics and Geodesy "Paleo, Rock and Environmental Magnetism 13th Castle Meeting – 2012. – Special issue. – P. 51-52.
6. Jordanova *D.* Environmental significance of magnetic properties of Gley soils near Rosslau (Germany) / D. Jordanova, N. Jordanova, U. Werban // Environmental Earth Sciences. – 2012. – P. 234-247.
7. *Maksymchuk V.* Magnetic properties of oil-and-gas-bearing Paleozoic sediments of the Dnipro-Donets depression / V. Maksymchuk, R. Kuderavets, I. Kryva // Contributions to Geophysics and Geodesy "Paleo, Rock and Environmental Magnetism 13th Castle Meeting – 2012. – Special issue. – P. 79-80.
8. *Menshov O.* Multipurpose magnetic investigations in Ukraine for solving environmental tasks/ O. Menshov, A. Sukhorada , R. Homenko, O. Kruglov // Contributions to Geophysics and Geodesy "Paleo, Rock and Environmental Magnetism 13th Castle Meeting – 2012. – Special issue. – P. 87-88.
9. *Menshov O.* Ultradetailed Environmental Magnetic Investigations in Ukraine / O. Menshov, A. Sukhorada, R. Homenko, O. Kruglov // EarthDoc. Near Surface Geoscience. – 2012. – Paris, France. – Диск CD. http://earthdoc.eage.org/detail.php?pubid=61751
10. Sapkota *B.* Investigation of the changes in magnetic and chemical properties of soil during plant growth in a controlled environment / B. Sapkota, M. T. Cioppa, J. E. Gagnon // Environmental Earth Sciences. – 2012. – Volume 65, Issue 1 – P. 385-399.
11. *Schuler D.* Formation of Magnetosomes in Magnetotactic Bacteria / D. Schuler // Journal Molec. Microbiol. Biotechnol., 1999, vol. 1(1), pp. 79-86.
12. *Yang T.* Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping / T. Yang, Q. Liu, Q. Zeng, L. Chan // Environmental Earth Sciences. – 2012. – Volume 66, Issue 2 – P. 409-420.
13. *Zawadzki J.* Geostatistical 3-dimensional integration of measurements of soil magnetic susceptibility / J. Zawadzki, T. Magiera, P. Fabijańczyk, G. Kusza // Environ Monit Assess. – 2012. – V. 184. – P. 3267–3278.
14. *Меньшов А. И.* Информативность показателей магнетизма почвенного покрова при решении агрогеофизических и почвоведческих задач / А. И. Меньшов, А.В, Сухорада // Науковий Вісник НГУ – 2012. – Дніпропетровськ – № 3(129). – С. 7-13.
15. *Меньшов А. И.* Магнетизм почв Украины / А.И. Меньшов, А.В. Сухорада // Науковий Вісник НГУ – 2012. – Дніпропетровськ – № 1(127). – С. 15-22.
16. *Орлюк М.* Археомагнитные исследования Бельского городища / М. Орлюк, Р. Ролле, Б. Ульрих, А. Роменец, Х. Цольнер // Исследования совместной украинско-немецкой археологической экспедиции 2005 г. Киев. – Институт археологии НАН Украины. – 2006.- С.99-122.
17. *Орлюк М. І.* Генетичні та структурно-генетичні зв'язки аномального магнітного поля Землі з її нафтогазоносністю / М. І. Орлюк // Геодинамика, тектоника и флюидодинамика нефтегазоносных регионов Украины. Тезисы докладов VII международной конференции Украины — Крым-2007, Симферополь. – 2007. – Изд.-во Ассоциация геологов г. Симферополь. – С. 105-107.
18. Почва, город, экология / [под общей ред. акад. РАН Г.В. Добровольского]. – М.: Фонд "За экономическую грамотность", 1997. – 320 с


**Надійшла до редколегії 28.01.13**

**А. Меньшов, канд. геол. наук**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## МАГНЕТИЗМ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА ЗЕМНОЙ КОРЫ: ЕСТЕСТВЕННАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

***Рассмотрено состояние проблемы магнитных исследований почв на современном этапе развития. Приведены примеры магнитных исследований почв загрязненных территорий для решения природоохранных задач. Исследована роль магнетотактических бактерий как источников формирования магнетизма незагрязненных почв.***

**Menshov O., Cand. Sci. (Geol.), Research Associate**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## MAGNETISM OF THE EARTH'S CRUST UPPER PART: NATURAL AND TECHNOGENIC COMPONENTS

***The state of the problem of soils magnetic investigations at the present development stage is considered. The examples of polluted soils magnetic studies for solving environmental tasks are given. The Magnetotactic Bacteria role as a non-polluted soil magnetism sources is investigated.***

**УДК 550.552.53.553**

**І. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# ОЦІНКА СТРУКТУРИ ПУСТОТНОГО ПРОСТОРУ ТА ТИПІВ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ СВЕРДЛОВИНИ № 1 ЛІЩИНСЬКОЇ ПЛОЩІ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)***

***Досліджено можливості визначення закономірностей зміни структури пустотного простору складнопобудованих порід-колекторів за даними ГДС свердловини № 1 Ліщинської площі Волино-Поділля. Визначено концентрації пустот розрахованих форматів, виділено пласти-колектори, оцінено типи колекторів та їх перспективність.***

**Вступ.** Методики вивчення гірських порід при пошуках нафти і газу базуються на комплексній обробці даних геофізичних досліджень у свердловинах (ГДС) та результатах аналізу проведених петрофізичних досліджень.

Авторами пропонується методика визначення структури пустотного простору складнопобудованих порід-колекторів на основі використання даних геофізичних досліджень свердловин, а також результатів авторів з математичного моделюванню складнопобудованих колекторів та обробці даних ГДС та петрофізики.

Метою роботи є висвітлення алгоритму методики інтерпретації даних ГДС для вивчення структури пустотного простору та демонстрація його реалізації для

**© Безродна І., 2013**

інтервалів розрізу свердловини Ліщинська № 1 території українського Волино-Поділля.

**Стан проблеми.** Як доведено багатьма дослідниками [1-12], найбільш чутливими і інформативними методами, що дозволяють вивчати структуру пустотного простору, є сейсмоакустичні методи, які вивчають швидкості розповсюдження пружних хвиль при використанні різних частотних діапазонів і різної апаратури.

Відповідно до цього, акустичні методи каротажу є основою даної методики та використовуються при підготовці вибірок порід та чисельних розрахунках оцінки структури пустотного простору.

У більшості випадків при інтерпретації даних акустичного каротажу (АК) на повздовжніх хвилях відмічається значне затухання амплітуд і зростання інтервального часу пробігу повздовжніх хвиль на тріщинуватих ділянках. При цьому оцінка тріщинуватості виконується на якісному рівні і в комплексі з іншими методами. Відомий спосіб знаходження тріщин у гірських породах за допомогою ультразвукового зонда малого розміру, який реєструє амплітуду сигналу. В цьому випадку розташування окремої тріщини і її розкритість визначається за зміною амплітуди сигналу.

На сьогоднішній день розроблений спосіб низькочастотного каротажу на хвилях Стоунлі, в якому на основі вимірювання частоти і запізнення хвиль Стоунлі, з урахуванням діаметра свердловини і властивостей розчину, визначається величина розкритості тріщин. Зазначимо, що алгоритм обробки дозволяє оцінювати орієнтацію тріщин відносно осі свердловини. Як перший, так і другий спосіб не дозволяють визначити параметри пустот і їх процентний вміст у загальному об'ємі пустотного простору.

При інтерпретації даних акустичного широкосмугового каротажу (АКш) використовується повний хвильовий пакет, що дозволяє окремо визначати коефіцієнти тріщинуватості та кавернозності. Вони розраховуються за формулою [8]:

$$K_{п\ тр(кав)} = (\beta_{еф} - \beta_{м}) / \beta_{тр(кав)}, \qquad (1)$$

де $\beta_{еф}$ – ефективна стискаємість колектора складного типу, $\beta_{м}$ – коефіцієнт стискаємості матриці, $\beta_{тр(кав)}$ – коефіцієнт стискаємості тріщин (каверн).

Розрахунок ефективної стискаємості породи може бути виконаний через швидкості повздовжніх ефективних модулів, які містять окремі тріщини [8].

На основі досліджень ємнісних властивостей порід-колекторів за даними $АК_{ш}$ встановлено [4, 5, 10] закономірності поведінки динамічних параметрів акустичного сигналу в пористих насичених середовищах, досліджено їх зв'язки з ємнісними властивостями порід, закономірності зміни пружних хвиль у колекторах різної пористості.

До цього розділу можна віднести також і методики вивчення складнопобудованих колекторів за допомогою інтерпретації даних методу хвильового акустичного каротажу [12]. При обробці даних цього методу вже на якісному рівні виділяються зони макро- та мікротріщинуватості при відсутності кореляції між кривими інтервального часу повздовжньої хвилі і амплітудою хвилі Лемба-Стоунлі. За даними визначених значень інтервального часу розповсюдження повздовжніх та поперечних хвиль ($\Delta T_p^2, \Delta T_s^2$) та густини порід ($\sigma_п$) розраховуються об'ємна динамічна стискаємість $\beta_{о,д}$ та динамічний коефіцієнт Пуассона $\nu_д$, які визначаються за формулами:

$$\beta_{о,д} = \frac{1}{\sigma_n}\left[\frac{3\Delta T_p^2 \Delta T_s^2}{3\Delta T_s^2 - 4\Delta T_p^2}\right], \qquad (2)$$

$$\nu_д = \frac{1}{2}\left[\frac{\Delta T_s^2 - 2\Delta T_p^2}{\Delta T_s^2 - \Delta T_p^2}\right]. \qquad (3)$$

На основі розв'язання зворотної задачі визначаються такі параметри, як індекс насичення, коефіцієнти динамічної пористості $К_{п,\ дин.,}$ тріщинуватості і проникності, причому вхідними даними є також і швидкості хвиль Лемба-Стоунлі, об'ємні ізотермічні стискаємості пустот, твердої фази, нафти і води.

Недоліком цих методів є сильне затухання поперечних хвиль в тріщинуватих середовищах, що не дозволяє надійно визначати швидкості їх поширення і, відповідно, ефективне стискання породи. Отримані вирази для пружних модулів не дозволяють при розв'язанні оберненої задачі враховувати весь спектр пустот, що складають тріщинно-поровий простір. Така постановка питання потребує більшого обсягу петрофізичної інформації.

Одним з представницьких методів, за допомогою якого можна охарактеризувати склад гірської породи і будову пустотного простору, є комп'ютерна мікротомографія. Численні роботи (Dvorkin, 2008; Bakke, 1997; Biswal, 1999; Lebedev, 2009) з цифрового моделювання колекторів присвячені, в першу чергу, розробці чисельних методів, що дозволяють розрахунковим способом отримувати фільтраційно-ємнісні та пружні параметри гірських порід.

Таким чином, можна виділити дві групи методів дослідження структури пустотного простору: прямі та непрямі. До прямих методів відносять методи, які дозволяють у лабораторних умовах, наприклад, шляхом вивчення шліфів, отримати криві розподілу пустот та порових каналів за розмірами. До другої групи методів належать методи математичного аналізу даних ГДС і петрофізики та методи математичного моделювання.

**Методика.** На кафедрі геофізики геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка розроблена та удосконалюється методика кількісної оцінки ємнісних властивостей складнопобудованих порід-колекторів за даними ГДС та петрофізики, яка дає можливість визначити структуру пустотного простору порід-колекторів, оцінити перспективність і прогнозувати їх продуктивність [9].

Радіоактивні методи досліджень застосовуються для виділення пластів-колекторів та формування вибірок порід для визначення коефіцієнта пористості (в нашому випадку, за даними нейтронного гамма-каротажу – НГК) та густини (за даними гамма-гамма щільнісного каротажу – ГГК-щ).

Електричні методи досліджень застосовуються для виділення пластів-колекторів та формування вибірок порід, а також для визначення типу флюїду за відсутністю таких даних.

Алгоритм ***визначення структури пустотного простору*** включає в себе такі модулі:

- етап підготовки початкової інформації**:** модуль аналізу бази даних ГДС, інтерпретації матеріалів ГДС вибраних інтервалів розрізу та модуль вибору початкового наближення параметрів математичної моделі породи-колектора;
- модуль інверсії даних акустичних досліджень у криву розподілу пустот різних форматів;
- модуль оцінки типів колекторів та їх перспективності.

*Етап підготовки початкової інформації.* Після стандартної попередньої обробки даних ГДС формуються вибірки пластів-колекторів окремо кожного з літотипів. Для визначення структури пустотного простору використовуються такі дані:

• результати стандартної інтерпретації даних методів ГДС (АК, АК$_ш$, ГГК-щ; коефіцієнт пористості, що отриманий при інтерпретації даних методу НГК (ННКТ) або при комплексній обробці даних ГДС, якщо за даними НГК він визначений неякісно);

• коефіцієнт нафтогазонасиченості (за БК) для визначення параметрів насичення пустотного простору;

• петрофізичні дані за їх наявності;

• у випадку, якщо інтерпретація здійснюється без попередньої обробки, то використовується весь стандартний комплекс каротажу;

• інша геолого-геофізична апріорна інформація.

У разі відсутності даних петрофізики про структуру пустотного простору використовуються результати попереднього математичного моделювання порід даних літотипів (авторський банк даних початкового наближення).

За допомогою програми функціональних перетворень проводиться статистична обробка початкових даних.

*Модуль початкового наближення параметрів математичної моделі породи-колектора.* На основі апріорних геологічних та петрофізичних даних з бази ГДС виділяються вибірки порід з близькою структурою пустотного простору, вибирається початкове наближення математичної моделі: параметри матриці породи-колектора, параметри пустотних наповнювачів і структура пустотного простору.

Після стандартної обробки даних по свердловині будується таблиця необхідної інформації по попередньо виділеним пластам-колекторам. На цьому етапі, як умови обробки, вводяться літологічні коди, які відповідають колекторам.

Так формують вибірки перспективних пластів однакового літологічного типу.

На наступному етапі формуються вибірки однотипних пластів з точки зору структури пустотного простору, будуються крос-плоти типу:

$$\Delta T_p = f(K_{\text{П}}), \quad \Delta T_s = f(K_{\text{П}}), \quad \sigma = f(K_{\text{П}}). \qquad (4)$$

Початкове наближення параметрів матриці (модуль об'ємного стискання (*K*), модуль зсуву (*G*) та густина ($\sigma$) скелету породи-колектора) визначається за петрофізичними даними або за допомогою крос-плотів для окремих вибірок порід шляхом інтерполяції в область нульової пористості ($K_{\text{П}} = 0$) параметрів $\Delta T_p$, $\Delta T_s$ та $\sigma$.

За відсутності програм функціональних перетворень або при існуванні проблем з їх використанням можливий інший шлях визначення початкового наближення параметрів матриці порід. Для визначення швидкості пружних хвиль та густини скелету можуть використовуватися результати петрофізичних досліджень, літературні дані або будь-які програми статистичного аналізу.

Пошук початкового наближення для параметрів пустотних наповнювачів (швидкість пружних хвиль та густина флюїду чи газу) визначається за узагальненими промисловими або літературними даними (табл. 1).

***Таблиця 1***

**Пружні та густинні параметри пустотних наповнювачів**

| № | Тип \ пустотного наповнювача | Швидкість пружних хвиль, м/с | Густина флюїду чи газу, г/см$^3$ |
|---|---|---|---|
| 1 | Вода | 1470-1880 | 1 – 1,2 |
| 2 | Нафта | 1035-1370 | 0,8 – 0,95 |
| 3 | Газ | 500 | 0.02-0.0001 |

За необхідності уточнення параметрів початкового наближення моделі структури пустотного простору (формати пустот та їх концентрація) залучають:

• результати вивчення керну під електронним або поляризаційним мікроскопом,

• результати петрофізичних досліджень зразків керну та дані інверсії швидкостей повздовжніх ($V_p$) та поперечних ($V_s$) хвиль,

• авторський банк даних початкового наближення, що містить моделі структур пустотного простору, які отримані за результатами математичного моделювання порід-колекторів різного типу.

Враховуючи результати досліджень авторів, математично будову породи можна представити у вигляді жорсткої матриці, яка армована спектром пустот, що апроксимуються сфероїдами обертання з різними форматами $\alpha = \frac{a}{c}$, де *a* та *c* – коротка та довга напіввісі сфероїду.

Вибір початкового наближення структури пустотного простору *n*-тих пластів є пошуком глобальних екстремумів функції складного типу ($x_v$) за закріпленими параметрами $\alpha_n$ і проводиться методом перебору значень $C_n(\alpha_n)$ з кроком $\Delta_n$, обчислених для кожного формату з умови:

$$x_{v+1}(C_n + \Delta_n, \alpha_n) - x_v(C_n, \alpha_n) = k\varepsilon, \qquad (5)$$

де $\varepsilon$ – експериментальна точність визначення вхідних параметрів, коефіцієнт *k* залежить від необхідної точності отримання наближення.

Вибір початкового наближення структури пустотного простору здійснюється методом найменших квадратів при перетинові області пошукових параметрів по вектору при фіксованих значеннях форматів пустот α програмою, що забезпечує експресне знаходження точки з мінімальним значенням рівня відхилення значення ($x_v$) від попереднього.

Знайдене початкове наближення використовується при інверсії акустичних даних.

*Модуль інверсії акустичних даних*. Програми обробки дають можливість інвертувати акустичні дані різного інформаційного рівня:

1. за наявності тільки даних акустичного каротажу (АК) – інтервального часу проходження повздовжніх хвиль;

2. за наявності даних акустичного широкосмугового каротажу (АК$_ш$):

• інтервального часу проходження повздовжніх хвиль;

• інтервального часу проходження поперечних хвиль;

• відношення інтервального часу проходження повздовжніх хвиль до інтервального часу проходження поперечних хвиль.

Вказані варіанти програми значно розширюють можливості інтерпретації і дозволяють проводити обробку на різному рівні володіння первинним матеріалом і наявності петрофізичного і петрографічного забезпечення.

Обернена задача розв'язується шляхом побудови такої теоретичної моделі поширення пружних коливань в геологічному середовищі, що не суперечить спостереженим даним каротажних акустичних методів [9].

При розв'язанні оберненої задачі використовуються обмеження на значення концентрацій пустот різних форматів $C(\alpha_n)$: $\sum_{n=1}^{N} C(\alpha_n) \le K_{\text{П}}$, де $K_{\text{П}}$ – коефіцієнт пористості, визначений незалежним способом. Крім того, накладається умова, що концентрація пустот із певним форматом не може бути більше значення, яке забезпечує збіг експериментальних величин інтервального часу проходження пружних хвиль з теоретично розрахованими за наявності пустот лише одного формату. Зрозуміло, що концентрації пустот мають бути не від'ємні.

Інверсія даних здійснюється відомим методом найменших квадратів із використанням методів нелінійної оптимізації. Оцінюється квадратична функція відхилень значень спостережених швидкостей пластів порід від значень теоретичної моделі.

На основі введених даних розраховуються ефективні пружні постійні за допомогою метода умовних моментів. Особливістю метода умовних моментів, на відміну від інших, є відсутність обмежень на форму та концентрацію включень. Це дозволяє практично легко описувати форму пустот за допомогою геометричних параметрів сфероїда.

При виборі методів оптимізації доводиться враховувати два основні аспекти: отримання математично стійкого і геологічно достовірного розв'язку та швидкість сходження ітераційного процесу.

Пошук глобального екстремуму квадратичної функції [9] розділяється на два етапи: дослідження поведінки цільової функції на обмеженому просторі зміни невідомих параметрів і визначення глобального локального мінімуму та пошук в його околиці.

За даними інверсії знаходять значення форматів пустот та їх концентрацій для кожного окремого пласта, що і характеризує структуру пустотного простору досліджених порід.

*Модуль оцінки типів колекторів та їх перспективності.* На основі літературних даних та досліджень, які проведені безпосередньо авторами, встановлено, що всі пустоти в гірських породах можна описати сфероїдами зі значеннями $\alpha$ від $10^{-4}$ до $10^{3}$. При цьому ізометричним і сфероїдальним порам відповідають пустоти з форматом $10^{0}$–$10^{-1}$, перехідним пустотам і мікротріщинам – $10^{-1}$–$10^{-2}$, мікротріщинам – $10^{-2}$ – $10^{-4}$, кавернам – $10^{0}$–$10^{3}$. За даними дослідження шліфів та знімків пустотного простору під електронним та поляризаційним мікроскопами встановлено, що генетично ізометричні пустоти, в основному, пов'язані з міжзерновою пористістю; перехідні – з тріщинами між окремими кристалами і тріщинами в цементі; мікротріщинам відповідають міжкристалічні тріщини, внутрикристалічні тріщини; пустоти у вигляді голок ($\alpha$>1) відповідають стилолітам та кавернам вилуговування [9].

Одержані в результаті інверсії набори форматів пустот різних типів α відповідають окремим типам порід-колекторів. На основі визначення концентрації пустот С(α) розраховуються коефіцієнти міжзернової ($K_{мз}$), перехідної ($K_{пр}$), тріщинної ($K_{тр}$), кавернозної ($K_{кв}$) та вторинної ($K_{вт}= K_{пр}+K_{тр}+K_{кв}$) пористості.

На наступному етапі проводиться узагальнення результатів інверсії та на основі аналізу кожного окремого інтервалу виділяються зони інтенсивної тріщинуватості, кавернозності, ущільнення колекторів тощо. На основі розгляду всієї наявної інформації дається висновок про кожен інтервал глибини, що підлягав оцінці, та вирізняються інтервали глибини перспективних колекторів.

Кінцеві результати визначення структури пустотного простору можуть бути представлені в таблицях довільної форми або у вигляді планшетів даних, графіків, гістограм по окремих пластах чи вибірках пластів-колекторів, або за допомогою інших програм математичного аналізу.

**Результати досліджень.** Авторами проведено інтерпретацію виділених за попередніми результатами обробки даних ГДС перспективних інтервалів свердловини Ліщинська, 1 (породи девону: пісковики в інтервалі 2346 – 2352 м та вапняки в інтервалі 2444 – 2516 м).

За допомогою системи "Геопошук" проведено переінтерпретацію даних ГДС та їх первинну обробку, виділено інтервали глибини залягання пластів-колекторів, визначено їх пористість за даними НГК. За даними ГДС та петрофізики [6] для пісковиків та вапняків авторами визначено параметри скелету порід: густину та інтервальний час поширення повздовжніх хвиль (табл. 2).

*Таблиця 2*

**Результати визначення густини ($\sigma^{ск}$) та інтервального часу ($\Delta T^{ск}_{р}$) поширення повздовжніх хвиль скелету порід об'єкту досліджень**

| Літологія | Номер вибірки пропластків | Густина скелету, г/см$^3$ | Коефіцієнт достовірності апроксимації ($R^2$) | $\Delta T^{ск}_{р}$, мкс/м | Коефіцієнт достовірності апроксимації ($R^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Пісковики в інтервалі 2346 – 2352 м | 1 | 2,672 | 0,71 | 206 | 0,71 |
| | 2 | | | 197 | 0,51 |
| Вапняки в інтервалі 2444 – 2516 м | 3 | 2,762 | 0,74 | 218 | 0,65 |
| | 4 | | | 199 | 0,72 |

На другому етапі:

- оцінено формати пустот та визначено їх концентрацію в досліджених пропластках;
- кількісно оцінено вклад різних типів пористості (гранулярної, тріщинної, кавернозної та вторинної) у загальну;
- визначено типи колекторів кожного з досліджених пластів.

Результати визначення форматів пустот, їх концентрацій та типу колектора наведені у табл. 3, а результати визначення типу пористості – на рис. 1.

Встановлено, що породи-колектори досліджених інтервалів мають загальну пористість (за даними ГДС) від 6,43 % до 17,48 %, що в середньому складає 12,16 %. У пластах присутня переважно гранулярна пористість з форматом пустот ***a*** = 0,9, значення якої змінюються від 1,44 % в інтервалі 2508,10-2508,51 м до 8,32 % в інтервалі 2514,51–2514,91 м. Тріщинна пористість присутня в пустотах у форматах ***a*** = 0,001 ÷ 0,003 та коливається від 0,21-0,29 % в інтервалі 2346,7–2351,9 м до 2,41 % в інтервалі 2508,10–2508,51 м. Кавернозна пористість (формат пустот ***a*** = 4) присутня тільки в п'яти пропластках з 12 виділених, значення її – 2,09–5,7 %.

За результатами кількісного визначення структури пустотного простору, практично всі попередньо виділені породи-колектори досліджених інтервалів авторами характеризуються як колектори, з яких малоперспективні пласти в інтервалах: 2346,7 – 2350,7 м та 2351,1 – 2351,9 м.

На основі визначеної структури пустотного простору порід-колекторів виділено їх типи: тріщинно-гранулярний, гранулярно-тріщинний, гранулярно-кавернозно-тріщинний. Породи-колектори першого типу можна вважати малоперспективними, а інтервал 2506,51–2516,11 м – перспективним для видобутку газу.

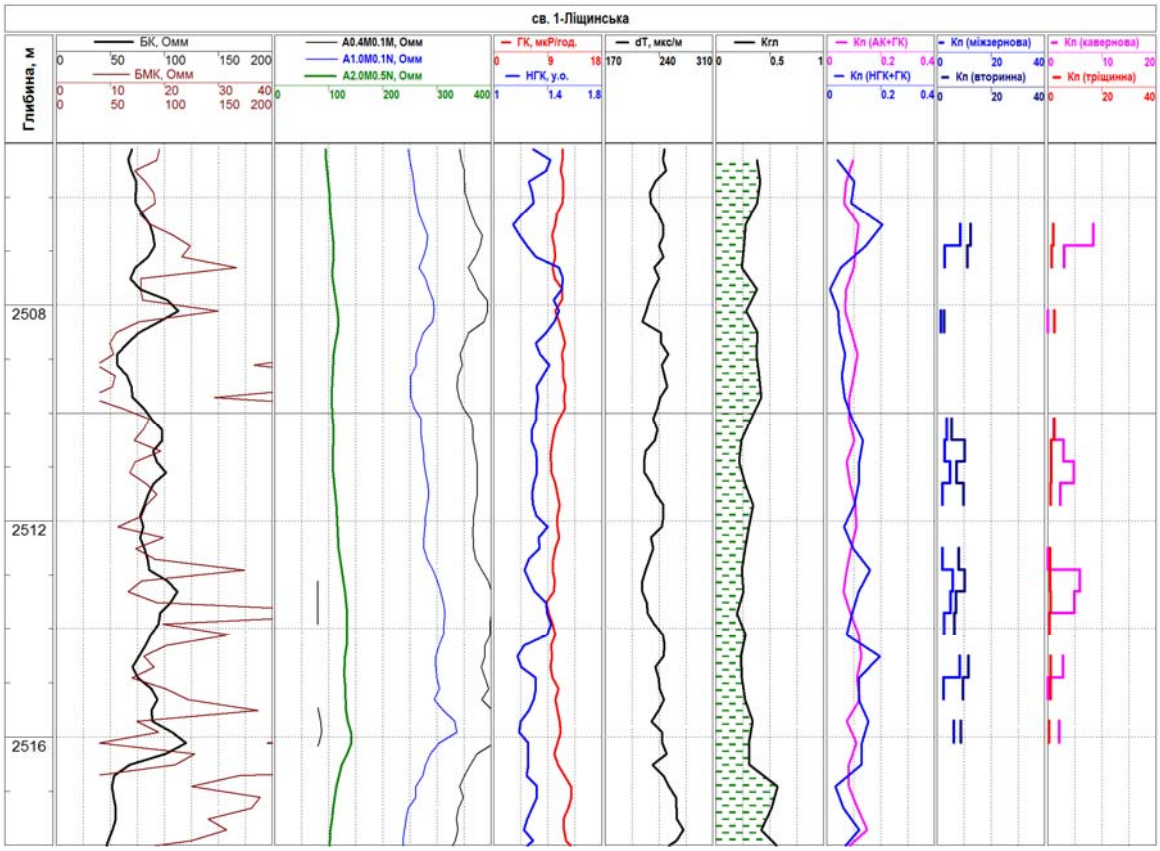



**Рис. 1. Результати переінтерпретації даних ГДС та визначення коефіцієнтів різних типів пористості порід-колекторів свердловини Ліщинська, 1 (інтервал 2506-2516 м)**

***Таблиця 3***

**Результати дослідження структури пустотного простору виділених порід-колекторів свердловини Ліщинська, 1**

| Глибина, м | C(*a*), % | | | | Тип колектора |
|---|---|---|---|---|---|
| | ***a* = 0,9** | ***a* =0,05** | ***a* = 0,001÷0,003** | ***a* = 4** | |
| 2346,30-2346,70 | 4,90 | 6,45 | 0,36 | 0,00 | гранулярно-тріщинний |
| 2346,70-2347,50 | 2,11 | 6,17 | 0,27 | 0,00 | тріщинно-гранулярний |
| 2349,90-2350,30 | 2,91 | 3,91 | 0,29 | 0,00 | тріщинно-гранулярний |
| 2351,10-2351,90 | 3,63 | 5,73 | 0,21 | 0,00 | тріщинно-гранулярний |
| 2506,51-2507,31 | 5,66 | 1,84 | 1,75 | 5,70 | гранулярно-кавернозно-тріщинний |
| 2508,10-2508,51 | 1,44 | 2,58 | 2,41 | 0,00 | гранулярно-кавернозно-тріщинний |
| 2510,10-2511,71 | 3,33 | 8,16 | 1,50 | 2,77 | гранулярно-кавернозно-тріщинний |
| 2512,51-2512,91 | 1,91 | 8,09 | 0,81 | 0,00 | гранулярно-тріщинний |
| 2512,91-2514,10 | 4,47 | 7,86 | 0,84 | 3,66 | гранулярно-кавернозно-тріщинний |
| 2514,51-2514,91 | 8,32 | 1,52 | 1,06 | 2,79 | гранулярно-кавернозно-тріщинний |
| 2514,91-2515,31 | 2,48 | 9,52 | 1,06 | 0,00 | гранулярно-тріщинний |
| 2515,71-2516,11 | 6,22 | 8,78 | 0,39 | 2,09 | гранулярно-тріщинно-кавернозний |

**Висновки.** Таким чином, показано, що наведена вище методика дозволяє отримувати цінну інформацію про структуру пустотного простору складнопобудованих порід-колекторів на основі використання матеріалів та обробки даних ГДС. Застосування її надає можливість одержати більш повну характеристику ємнісних властивостей порід-колекторів, ніж при стандартній обробці матеріалів ГДС. У роботі виділено породи-колектори в інтервалах глибин свердловини Ліщинська, 1 (породи девону: пісковики в інтервалі 2346-2352 м та вапняки в інтервалі 2444-2516 м досліджень), оцінено їх типи та виділено перспективний (2506,51-2516,11 м) на газоносність інтервал.

**Список використаних джерел**

1. *Klimentos T.* Relationship among compressional wave attenuation, porosity, clay content and permeability in sandstones / T. Klimentos, C. McCann // Geophysics. – 1990. – Vol. 55, № 8. – P. 998-1014.

2. *Sellier E.* Estimation of the effective porosity of the Dogger oolitic limestone in the Villeperdue oil-field / Sellier E., Bousquet Ph., Boichard R., Brun R. – Paris basin, France, 1991. – C. 241-248.

3. *Tournat V.* Probing granular media by acoustic parametric emitting antenna: clapping contacts, nonlinear dilatancy and polarization anisotropy / V. Tournat, V. Zaitsev, V. Gusev, V. Nazarov, P. Bequin, B. Castagnede // Phys. Rev. Lett. – 2004. – Vol. 92, № 8.

4. *Белоножко А. И.* Определение емкости пустот по данным разработки месторождений Беларуси // Проблемы нафтогазової промисловості // А. И. Белоножко, И. Н. Пасконный, А. А. Бохан // Зб. наук. праць. – К., 2005. – Вип.2.- С. 89-96.

5. А. с. 1350643. Способ определения трещинной пористости пород / А. Ф. Боярчук, Г. А. Шнурман, А. Л. Брайловский, И. С. Гольдерберг // № 41. – 1987.

6. Комплексні геолого-петрофізичні дослідження складнопобудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину : звіт з НДР / КНУ; № У-11-213/13. – К., 2011. – 594 с.

7. *Дзебань И. П.* Влияние различных сочетаний межзерновой и вторичной пористости на скорости упругих волн / И. П. Дзебань // Развед. геофиз. – 1986. – № 103. – С. 127-135.

8. *Добрынин М. М.* Изучение сложных карбонатных коллекторов / М.М. Добрынин // Геология нефти и газа. – 1991. – № 5. – С. 30-34.

9. Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу / Г.Т. Продайвода, С.А. Вижва, І.М. Безродна, Т.Г. Продайвода : монографія. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. – 367 с.

10. *Рафиков В. Г.* Изучение трещинных коллекторов нефтегазовых месторождений Башкирии и Татарии по данным волнового акустического каротажа / В. Г. Рафиков, В. Н. Еникеев, О. Е. Рыскаль // Каротажник. – 2004. – № 68. – С. 77-83.

11. *Черемисин А. Н.* Воздействие акустического поля на фильтрацию двухфазной жидкости в пористом колекторе / А. Н. Черемисин : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – 2010. – 17 с.
12. *Шнурман И.Г*. Методика определения составляющих пористости сложных трещинно-кавернозно-гранулярных коллекторов продуктивных отложений месторождения "Тенгиз" по данным волнового акустического каротажа / И. Г. Шнурман, Г. А. Шнурман // Геофизика. – 1994. – № 3. – С. 20-25.

**Надійшла до редколегії 17.02.13**

**И. Безродная, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА И ТИПОВ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ СКВАЖИНЫ № 1 ЛИЩИНСКОЙ ПЛОЩАДИ ВОЛЫНО-ПОДОЛЬЯ

***Исследованы возможности закономерностей изменения структуры пустотного пространства сложнопостроенных пород-коллекторов по данным ГИС скважины № 1 Лищинской площади Волино-Подолия. Определены концентрации пустот рассчитанных форматов, выделены пласты-коллекторы, оценены типы коллекторов и их перспективность.***

**I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## EVALUATION OF STRUCTURE OF EMPTY SPACE AND TYPES OF ROCK-RESERVOIRS BOREHOLE № 1 LISHCHYNSKA AREA VOLYNO-PODILLYA

***The possibilities of the determination regularities of the changes of empty space of composite reservoirs of the intervals boreholes Lishchynska № 1 Volyno-Podillya area on the data of geophysical investigation were studied. Concentration of formats emptiness rocks-collectors, types of collectors and their prospects were evaluated.***

**УДК 550.334**

**Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, О. Грицай, інж.,**
**О. Муйла, канд. фіз.-мат. наук**
**Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів**

# ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МЕХАНІЗМІВ МІСЦЕВИХ ОСЕРЕДКІВ ЗЕМЛЕТРУСІВ НА ПРИКЛАДІ БЕРЕГІВСЬКОЇ ПОДІЇ 23.11.2006 р.

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Г.Т. Продайводою)***

***Досліджено особливості побудови механізмів осередків у Карпатському регіоні України. Розглянуто принцип і особливості побудови механізму вогнища графічним методом. За допомогою запропонованого методу побудовано механізм вогнища для землетрусу, що відбувся 23.11.2006 р біля м. Берегово. Зроблено порівняння механізмів, побудованих графічним методом і з допомогою комплексу програм.***

**Вступ.** Побудова і дослідження механізмів вогнищ землетрусів є важливою і актуальною задачею сейсмології і геофізики в цілому [4]. Відомо, що поле пружних напружень Землі, яке проявляється в деформуванні і наступному руйнуванні середовища у вогнищах землетрусів, визначає географічний розподіл джерел сейсмічних хвиль [1]. Тому, визначення зв'язків між механізмами вогнищ землетрусів і напружено-деформованим станом гірських масивів у заданому сейсмічно-активному регіоні є важливою задачею, яка потребує свого вирішення для Карпатського регіону. Зазначимо, що проблеми побудови таких механізмів у Закарпатській сейсмогенній зоні пов'язані перш за все із недостатньою кількістю сейсмічних станцій, які реєструють події, а також із невисокою сейсмічною активністю даного регіону. Такі події відрізняються невеликою магнітудою і порівняно малою глибиною залягання вогнища землетрусу. Характерною особливістю для землетрусів Закарпаття є те, що вони реєструються невеликою кількістю станцій. Відомо,що для побудови їх механізмів важливе значення мають як швидкісна модель середовища, так і точність визначення вступу повздовжніх хвиль, а також кількість та широкий азимутальний спектр станцій. На сьогоднішній день розроблено достатньо багато програмних пакетів для побудови механізму вогнища землетрусу, які використовують азимути станції і кути виходу прямих P- і S- сейсмічних хвиль. Зазначимо, що для даних програм основним є точні вступи, наприклад, повздовжніх хвиль на кожній станції. Відомо, що в сейсмологічних бюлетенях є інформація про станції, для яких вступи прямих хвиль P є неточні. Це може бути пов'язано з рядом причин, головними із яких є апаратурні неточності, шуми, які викликані техногенними факторами. Але причиною неточних вступів прямої P- хвилі може бути також певне розміщення станції по відношенню до гіпоцентру землетрусу, тобто близькість станції до однієї із нодальних площин на стереографічній сітці Шмідта, що буде показано нижче. Таким чином, для малої кількості станцій, які зафіксували точні вступи повздовжніх хвиль, не можливо побудувати механізм з допомогою комплексу програм. Тому в роботі запропоновано побудову механізмів вогнищ землетрусів за допомогою графічного методу, в якому використано дані як про точні, так і про неточні вступи повздовжніх хвиль. Щоб показати, на скільки ефективною і точною буде така побудова, використаємо дані з сейсмологічного бюлетеня України. 23 листопада 2006 року в районі м. Берегово відбувся достатньо сильний землетрус на території України з магнітудою MSM=3.9, MD=4.2 [5]. Згідно сейсмологічного бюлетеня за 2006 рік [5] точні вступи повздовжніх хвиль зафіксовано 9 станціями. Таким чином, для порівняльного аналізу буде побудовано механізм вогнища землетрусу, який відбувся 23 листопада 2006 року в районі м. Берегово за допомогою комплексу програм та графічним методом. Це дасть можливість використовувати графічний метод для побудови механізмів, коли стандартний пакет програм не можливо застосувати із-за недостатньої кількості станцій, на яких зареєстровано подію із точними вступами поздовжніх хвиль. Такі випадки є характерними для сейсмічних подій Карпатського регіону.

**1. Принцип побудови механізму вогнища землетрусу графічним методом.**

Перш ніж перейти до побудови механізму Берегівського землетрусу, який відбувся 23 листопада 2006 р., потрібно пояснити, що таке механізм вогнища землетрусу, і як він будується для будь-якого землетрусу. Під параметрами механізму вогнища землетрусу будемо розу-

**© Малицький Д., Грицай О., Муйла О., 2013**

міти орієнтацію в просторі нодальних площин, напрямок подвижки і також орієнтацію головних осей: стиску, розтягу і нульової [2]. Дані параметри визначено з діаграми направленості виходу променя з джерела, яку зображено на проекції сфери малого радіуса, що оточує вогнище. Таку сферу називають фокальною сферою. Положення точок на фокальній сфері представлено кутовими координатами: кутом виходу променя (***i***), який вимірюється у вертикальній площині і азимутом на станцію (AzSt), який визначено в горизонтальній площині від напрямку на північ (рис. 1). Величина і знак кута виходу променя залежать від таких параметрів: епіцентральної відстані, глибини вогнища та швидкісної моделі середовища [1]. Для визначення кута виходу променя і азимуту на стацію використано програму підготовки вихідних даних TOFA [7], що дає більш точний результат. Дана програма входить у програмний комплекс для побудови механізмів вогнищ землетрусів mech-Lander [7]. Вхідними даними для програми є координати гіпоцентру, полярність вступу повздовжньої хвилі на конкретній станції та швидкісна модель середовища.

Для стереографічної проекції фокальної сфери використано сітку Шмідта (рис.1). На кальці, прикладеній до сітки, зображуємо зовнішнє коло, епіцентр в центрі кола , а також напрямок на північ (North). Наступним кроком є позначення полярності вступу повздовжніх хвиль (P- хвиль) для кожної станції, яка зафіксувала землетрус [1-3;6]. Якщо P- хвиля прийшла зі знаком "+" (стиск), то будемо позначати її на сітці Шмідта червоним кружечком. Якщо P- хвиля прийшла зі знаком "-" (розтяг), то будемо позначати її блакитним кружечком (рис.2). Як зазначалось вище, неточність вступу P- хвилі на деяких станціях є також важливою інформацією для графічного методу в побудові нодальних ліній. Такі вступи позначено чорним кружечком (рис.2) [6]. Щоб позначити точку вступу P- хвилі конкретній станції на стереографічній сітці Шмідта, потрібно по зовнішньому колу на кальці від позначки напрямку на північ відзначити азимут на станцію AzSt, який відповідає даній точці. Поворотом кальки поєднаємо позначку азимута AzSt і позначку напрямку на північ North. Відрахувавши значення кута виходу ***i*** від зовнішнього кола до епіцентру, ставимо відповідну позначку, яка відповідає полярності P-хвилі конкретної станції, як показано на рис.1. При цьому слід взяти до уваги, що частина променів направлені вверх від вогнища землетрусу, а частина – вниз . У першому випадку промені проходитимуть через верхню півкулю фокальної сфери, а в другому – через нижню [1]. Відповідно до цього, кути виходу для проекції нижньої півсфери будуть з різними знаками: "+" для променів, які йдуть вниз і "-" для тих, що йдуть вверх. Для проекції нижньої півсфери точок, що відповідають променям, які йдуть вниз, використано азимут на станцію і додатній кут виходу. Для того щоб зобразити точку, що відповідає променю у верхній півсфері, потрібно взяти азимут, який змінено на 180˚, а від'ємний кут виходу вважати додатнім [1].

Таким чином, на сітку Шмідта (рис. 2) наносимо вступи P- хвиль на усіх станціях, які зафіксували Берегівський землетрус, який відбувся 23 листопада 2006 року, використовуючи табл.1. Після того, як всі вступи P- хвиль нанесено на кальку, потрібно розділити нодальними лініями області стиску від областей розтягу. Для зображення нодальних ліній використано меридіани стереографічної сітки. Повертаючи кальку довкола центру, знайдено положення, яке найкраще відділяє точки стиску від точок розтягу. При цьому можна нанести декілька варіантів нодальних ліній із різними азимутами простирання і кутами падіння. Для запропонованого графічного методу корисними є позначки неточних вступів, які уточнюють розміщення нодальних ліній, а саме вказують на їх проходження біля даних точок (чорні точки на рис. 2). Хоча це є не обов'язковою умовою, так як причиною неточного вступу може бути не лише нульова амплітуда. Для кожної нодальної лінії будуємо ще одну, яка розміщена перпендикулярно до неї. Для першої нодальної площини визначаємо її полюс: середину дуги нодальної лінії з'єднуємо з центром і продовжуємо її на відстань 90˚. Через визначений полюс проходить друга нодальна лінія, при чому її полюс має бути на першій нодальній лінії, що свідчитиме про перпендикулярність нодальних площин. Друга нодальна лінія теж повинна розділяти точки стиску від точок розтягу. Якщо точного розділення на квадранти стиску і розтягу не відбулось, то слід повторити побудову нодальних площин.

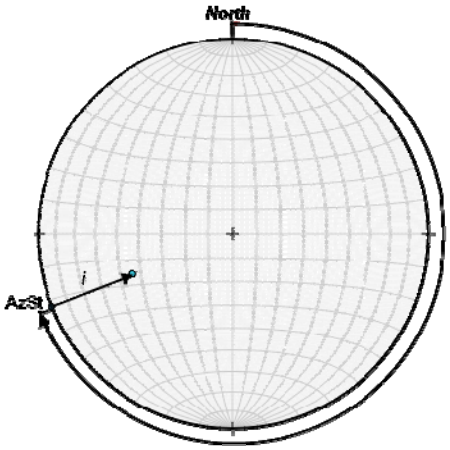



**Рис.1. Зображення точки вступу P- хвилі на сітку Шмідта**

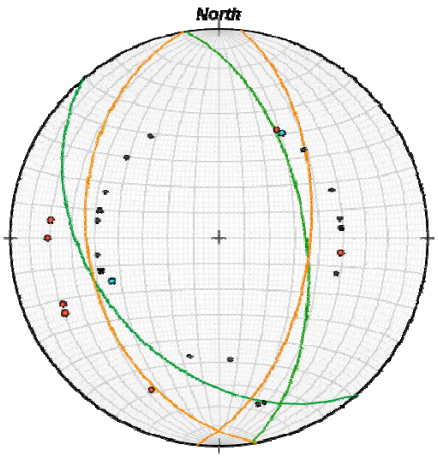



**Рис. 2. Зображення точок вступу P- хвиль на стереографічній сітці Шмідта і розділення їх на зони стиску і розтягу нодальними лініями, побудованими допомогою програмного комплексу mech-Lander (зелений колір) і графічним методом (оранжевий колір) для Берегівського землетрусу 23 листопада 2006 року з використанням табл.1.**

Зазначимо, що у випадку використання пакету програм може існувати сотні, а інколи і тисячі можливих варіантів побудови механізму вогнища землетрусу. Критерієм кращого розподілення вважають, коли в потрібні квадранти попадає максимальна кількість станцій. Можливий випадок, коли маємо кілька нодальних ліній, які достатньо добре розділяють точки з різною полярністю. Такий випадок є можливий для недостатньої кількість станцій із точними вступами P- хвиль, або коли станції є недостатньо широко роз-

поділені по азимуту довкола епіцентру на стереографічній сітці Шмідта. Порівняння механізмів побудованих програмою і графічною побудовою дає привід вважати найкращим варіантом лінію із середнім значенням азимуту простирання і середнім значенням кута падіння для графічного методу.

*Таблиця 1*

**Дані з вихідного файлу програми TOFA**

| Назва станції | Вступ P- хвилі | Епіцентральна відстань | Азимут на станцію | Кут виходу променя |
|---|---|---|---|---|
| BERU | -iPg | 0.91 | 67.9 | -43.8 |
| MUKU | +iPg | 0.277 | 23.5 | -21 |
| BRIU | +iPg | 0.360 | 67.3 | -19.8 |
| KORU | +iPg | 0.412 | 95.8 | -19.6 |
| ONO | ePg | 0.480 | 345.1 | -19.4 |
| NSLU | +iPg | 0.625 | 89.8 | -19.3 |
| MEZ | +iPg | 0.729 | 64.3 | -19.3 |
| KOLS | ePg | 0.752 | 347.3 | -19.3 |
| RAK | +iPn | 1.13 | 96.8 | 40.6 |
| SHIU | +iPn | 1.16 | 28.1 | 40.6 |
| MORU | ePn | 1.29 | 43.6 | 40.6 |
| KECS | ePn | 1.38 | 282.6 | 40.6 |
| DRGR | ePn | 1.41 | 174.7 | 40.6 |
| STHS | ePn | 1.48 | 325.9 | 40.6 |
| KSV | ePn | 1.70 | 85.2 | 40.6 |
| PZS | ePn | 1.78 | 261.9 | 40.6 |
| NIE | ePn | 1.90 | 310.8 | 40.6 |
| LVV | -iPn | 1.90 | 30.9 | 40.6 |
| BURAR | ePn | 1.90 | 106.9 | 40.6 |
| CHRU | ePn | 2.27 | 86.3 | 40.6 |
| LIKS | ePn | 2.41 | 291.9 | 40.6 |
| BUD | ePn | 2.45 | 254.3 | 40.6 |
| VYHS | ePn | 2.47 | 278.2 | 40.6 |
| BZS | ePn | 2.66 | 193.8 | 40.6 |
| HORU | ePn | 2.77 | 67.1 | 40.6 |
| PKSG | ePn | 2.89 | 255.3 | 40.6 |
| NDNU | ePn | 3.24 | 81.2 | 40.6 |

Після побудови нодальних ліній визначено орієнтацію нодальних площин і кут нахилу подвижки. Азимут простирання Strike визначається по азимуту зовнішнього кола, відраховуючи від напрямку на північ до перетину нодальної лінії і зовнішнього кола. Поєднавши дугу нодальної лінії з меридіаном, відраховуємо кут падіння Dip по центральній паралелі від зовнішнього кола до епіцентру. Кут нахилу подвижки Slip відраховано по дузі нодальної лінії від зовнішнього кола до полюсу, який позначено на даній лінії. Якщо епіцентр розміщено в області розтягу, то кут нахилу буде від'ємний і буде рахуватись від азимуту простирання, якщо в області стиску, то кут нахилу буде додатнім і буде рахуватись від азимуту зміненого на 180˚. Важливим параметром механізму вогнища землетрусу є напрямки осей напружень стиску і розтягу, які зображують точками на дузі, що проходить через два полюси. Щоб їх показати на стереографічній сітці, потрібно помістити два полюси на один меридіан. Точка вісі стиску P знаходиться в квадранті розтягу на відстані 45˚ від точки полюсу, а точка вісі розтягу T – в області стиску і також на відстані 45˚. Точка перетину нодальних ліній N – це проекція нульової лінії, яка є лінією перетину нодальних площин. Напрямок кожної осі визначається азимутом в горизонтальній площині Azm і кутом напрямку осі з горизонтальною площиною Plunge (табл.2). Щоб визначити ці параметри, потрібно точку проекції осі повертанням кальки помістити на центральний меридіан і зробити позначку для азимуту Azm і відрахувати від зовнішнього кола до точки кут Plunge. Напрями осей стиску і розтягу для Берегівського землетрусу 23 листопада 2006 року показано на рис. 4–5.

**2. Механізм вогнища Берегівського землетрусу 23.11.2006 р.( φ=48.2˚, λ= 22.52˚, h=12.3 км., MD=4.2).**

Побудову механізму вогнища землетрусу 23.11.2006 р. біля м. Берегово здійснено за допомогою програмного комплексу для побудови механізмів вогнищ землетрусів mech-Lander і за допомогою графічного методу, описаного вище . Вхідними даними є назви станцій і полярність вступу повздовжніх хвиль, отриманих із сейсмологічного бюлетеня України за 2006 рік [5], а також швидкісна модель середовища для Карпатського регіону . За допомогою програми TOFA визначено кути виходу і азимути на кожну станцію. Для графічної побудови механізму використано дані з вихідного файлу цієї програми (табл.1). У колонці "Вступ P- хвилі" зазначено знак вступу, точність вступу (і – точний вступ, е – неточний) і тип хвилі. Епіцентральну відстань, азимут на станцію і кут виходу вказано у градусах. Зазначимо, що спосіб побудови нодальних площин за знаками зміщень у повздовжніх хвилях є найбільш простий і надійний для визначення двох можливих положень поверхні розриву і осей головних напружень, які діють у вогнищі.

Використовуючи дані з табл. 1, на стереографічну проекцію Шмідта нанесено точки вступу P- хвилі за методикою, яка описана вище (рис.2). Червоним кольором позначено точки, що відповідають точному вступу P-хвилі зі знаком "+", тобто точки стиску. Блакитним кольором – точки, що відповідають точному вступу P-хвилі зі знаком "-", тобто точки розтягу. Нодальними лініями розділили точки стиску і розтягу, і для їх побудови враховано розміщення точок, що позначають неточні вступи P-хвиль. Ці точки зображені чорним кольором (рис. 2)

У процесі побудови через брак достатньої кількості станцій побудовано кілька варіантів нодальних ліній, які достатньо точно розділяли області стиску і розтягу. Параметри орієнтації відповідних нодальних площин варіювали в діапазоні: азимут простирання від 158˚ до 170˚ і кут падіння від 42˚ до 36˚ для однієї нодальної площини і азимут простирання від 344˚ до 28˚ і кут падіння від 48˚ до 60˚ для іншої нодальної площини. Для

вибору найкращого варіанту було усереднено значення параметрів орієнтації однієї з нодальних площин. За ними побудовано дві нодальні лінії і визначено решта параметрів (Slip,Strike,Dip) за методом описаним вище. Паралельно було здійснено побудову даного механізму за допомогою програмного комплексу mech-Lander. Зображення точок вступу P- хвиль для кожної станції, яка зафіксувала землетрус на стереографічній сітці і розділення їх на зони стиску і розтягу нодальними лініями показано на рис.2. Для порівняння механізмів, побудованих за допомогою комплексу програм і графічним методом, нодальні лінії для двох методів зображено на одному рисунку різними кольорами: зеленим – для механізму побудованого з допомогою комплексу програм і оранжевим – для механізму побудованого графічним методом (рис. 2).

За допомогою програмного комплексу mech-Lander можна зробити оцінку правильності побудови механізму вогнища землетрусу графічним методом. Якщо значення параметрів визначені комплексом програм mech-Lander вважати 1-м найкращим варіантом з 4970 можливих варіантів, то значення параметрів, які визначені побудовою графічним методом будуть 17-м найкращим варіантом із 4970. Якщо ж детально розглянути побудову, то відзначено, що дві точки з дуже близькими значеннями азимуту і кута виходу позначають різну полярність вступу P-хвилі. А це означає, що одну з них доведеться не враховувати. Від цього вибору і буде залежати найкращий варіант. У побудові механізму комплексом програм не враховано точки, яка позначає розтяг. У графічній побудові цю точку вважали корисною, так як за браком кількості точних вступів, є лише дві точки, які позначають розтяг. Крім того, чорні точки для неточних вступів P- хвиль розміщені на близькій відстані від нодальних площин, що використано для побудови механізму вогнища графічним методом.

Параметри механізму вогнища, визначені програмним комлексом mech-Lander (Пр.к.) і методом графічної побудови (Гр.п.) наведено в табл. 2. За даними параметрами зроблено висновок, що даний землетрус відбувся під дією близько-вертикальних сил стиску і близько-горизонтальних сил розтягу (рис. 4–5). Тип подвижки у вогнищі, що відповідає даним параметрам – скид із зсувом. Вид деформації – розтяг. Відмінність між параметрами механізму, побудованого з допомогою програм і графічним методом є незначною для параметрів кута падіння площини Dip і кута нахилу подвижки Slip. Більш суттєво відрізняється простирання площини Strike, що зумовлено суб'єктивним вибором станції з правильним вступом (рис. 2).

***Таблиця 2***

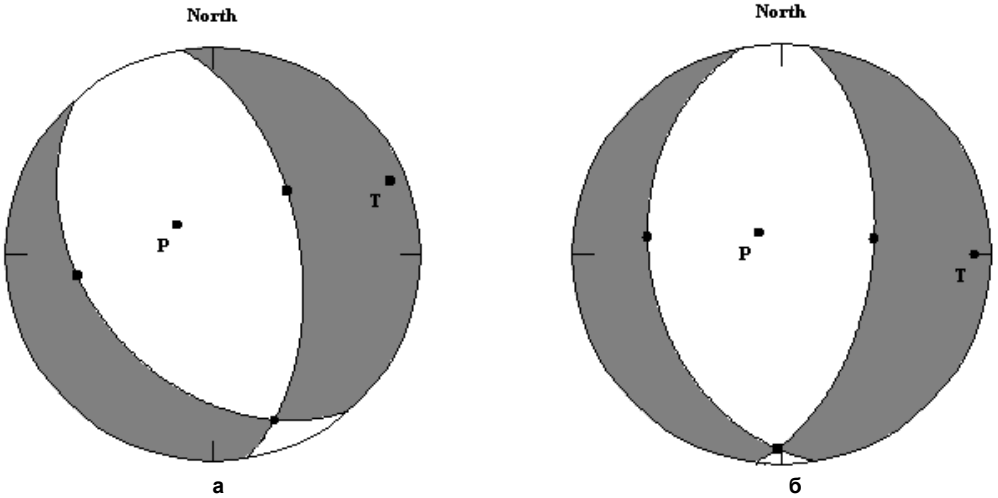
**Параметри механізму вогнища землетрусу 23.11.2006 р. в районі Берегово**

| | Нодальна площина 1 | | | Нодальна площина 2 | | | вісь P | | вісь T | | вісь N | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Strike** | **Dip** | **Slip** | **Strike** | **Dip** | **Slip** | **Azm** | **Plunge** | **Azm** | **Plunge** | **Azm** | **Plunge** |
| Пр.к. | 139˚ | 39˚ | -116˚ | 351˚ | 56˚ | -71˚ | 309˚ | 72˚ | 67˚ | 9˚ | 159˚ | 16˚ |
| Гр.п. | 170˚ | 37˚ | -104˚ | 6˚ | 54˚ | -80˚ | 311˚ | 78˚ | 89˚ | 8˚ | 180˚ | 9˚ |

Зображення механізму вогнища Берегівського землетрусу 23.11.2006 р. у вигляді проекції фокальної сфери із затіненими областями стиску і світлими областями розтягу а також точки виходу осей стиску і розтягу показано на рис.3.

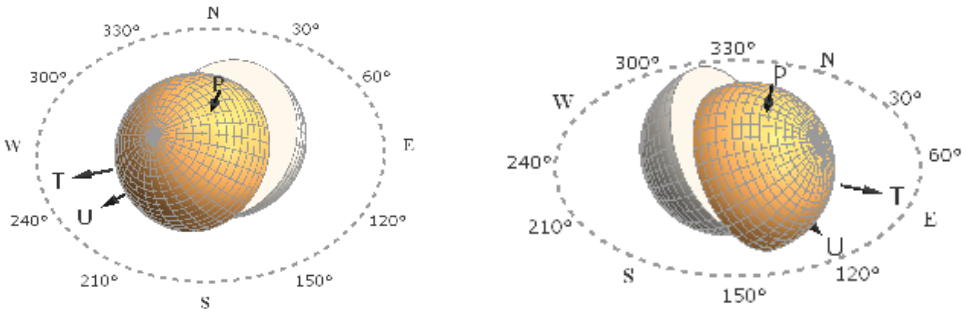
На рис.4 і рис.5 зображено розломи, що відповідають кожній із нодальних площин з використанням програми Styles of Faulting from the Wolfram Demonstrations Project [8]. На рис.4 зображено можливі розломи для механізму, знайденого з допомогою комплексу програм, а на рис.5 – можливі розломи для механізму, знайденого з допомогою графічного методу. Оранжевим кольором показано півсферу, що містить ймовірну площину розлому. Щоб визначити, яка саме нодальна площина буде площиною розлому, потрібна додаткова інформація, наприклад про простирання активізованих розломів в області вогнища землетрусу.

На рис. 6 зображено діаграми випромінювання P- хвиль для механізмів, побудованих за допомогою комплексу програм mech-Lander і графічним методом. На основі представлених графіків на рис.6 і за параметрами осей головних напружень із табл.2, можна зробити висновок про подібність механізмів побудованих за допомогою програми і графічним методом. Таким чином, графічний метод можна успішно використовувати для побудови механізмів вогнищ для подій, коли стандартними процедурами не можливо виявити нодальні площини і, відповідно, визначити параметри вогнища землетрусу.



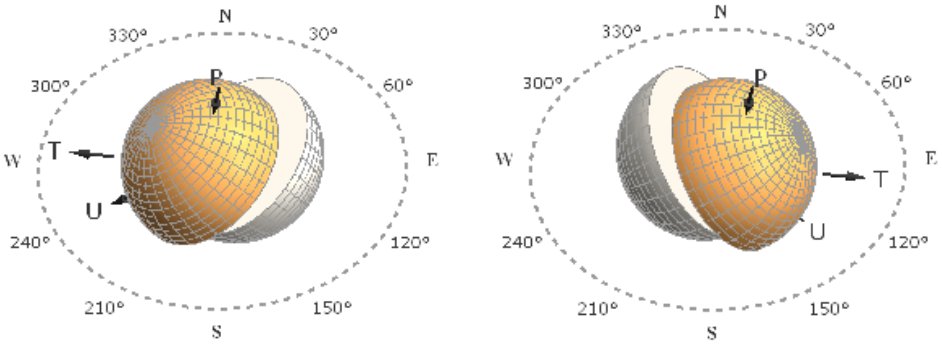

а б

**Рис.3 .Механізми землетрусу 23.11.2006 р. в районі Берегово (φ=48.2˚, λ= 22.52˚, h=12.3 км., MD=4.2):**
а – механізм побудований з допомогою комплексу програм mech-Lander; б – механізм побудований графічним методом



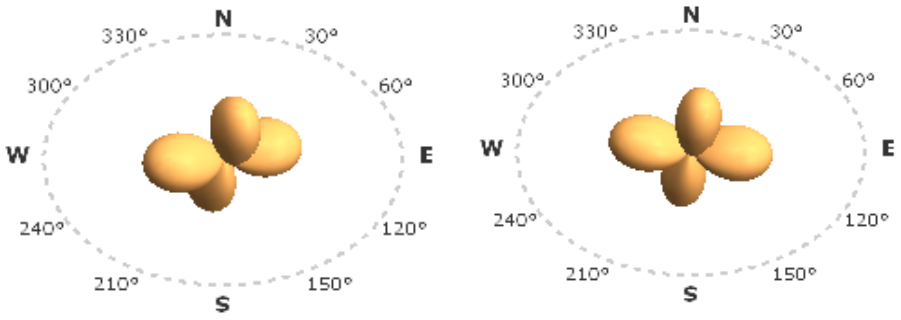

а б

**Рис. 4. Зображення розлому для механізму землетрусу 23.11.2006 р. в районі Берегово (φ=48.2˚, λ= 22.52˚, h=12.3 км., MD=4.2), знайденого з допомогою комплексу програм mech-Lander:**
а – розлом з параметрами площини розриву: Strike – 139˚, Dip – 39˚, Slip – -116˚;
б – розлом з параметрами площини розриву: Strike – 351˚, Dip – 56˚, Slip – -71˚




а б

**Рис. 5. Зображення розлому для механізму землетрусу 23.11.2006 р. в районі Берегово (φ=48.2˚, λ= 22.52˚, h=12.3 км., MD=4.2) , знайденого з допомогою графічного методу:**
а – розлом з параметрами площини розриву Strike – 170˚, Dip – 37˚, Slip – -104˚;
б – розлом з параметрами площини розриву Strike – 6˚, Dip – 54˚, Slip – -80˚




а б

**Рис. 6. Напрямок випромінювання Р- хвиль для землетрусу 23.11.2006 р. в районі Берегово:**
а – випромінювання Р-хвиль для механізму знайденого з допомогою комплексу програм mech-Lander.
б – випромінювання Р-хвиль для механізму, знайденого за допомогою графічного методу.

**Висновок.** У роботі побудовано механізм вогнища Берегівського землетрусу 23.11.2006р. (φ = 48.2˚, λ = 22.52˚, h = 12.3км, MD = 4.2) графічним методом. Точність побудови механізму вогнища будь-яким методом залежить від точності і кількості вихідних даних. На основі усіх порівнянь можна вважати, що побудова механізму графічним методом є досить точною процедурою Як показано в роботі, для слабких землетрусів є досить важко побудувати точні механізми вогнищ, а з використанням пакету програм інколи і не можливо. Тому запропонований графічний метод, який використовує крім точних вступів і неточні вступи хвиль для багатьох випадків може бути використано для побудови механізму вогнища землетрусу, що несуть інформацію про тип подвижки у вогнищі і орієнтацію сил, під дією яких відбувся землетрус. Порівнявши орієнтацію площин з орієнтацією активізованих розломів в області вогнища землетрусу, можна отримати більш точний механізм. Отримані результати для Берегівського землетрусу 23.11.2006 р. графічним способом буде використано для побудов механізмів місцевих подій, що буде показано у наступних публікаціях.

**Список використаних джерел**

1. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. / [ Балакина Л. А., Введенская А. В., Голубева Н.В. и др.] – М.: Наука,1972. – 198 с.
2. Воронина Е.В. Механика очага землетрясения. Спецкурс. – М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. – 92 с.
3. Касахара К. Механика землетрясений. – М.: Мир,1985 – 264 с.
4. Пустовивитенко А. А. Механизм очага Береговского землетрясения 23 ноября 2006 г./ А. А. Пустовивитенко, Р. С Пронишин // Геодинаміка –2011. – № 2(11) – С. 260–262.
5. Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. / под ред. Б.Г.Пустовитенко. – Севастополь: НПЦ "Экоси-Гидрофизика", 2008. – 295 с.
6. Vince Cronin. A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists. – Baylor University, 2004.
7. http://grinikkos.com/view_post.php?id=153
8. http://demonstrations.wolfram.com/StylesOfFaulting/

**Надійшла до редколегії 09.02.13**

Д. Малицький, д-р физ.-мат. наук, О. Грицай, инж., О. Муйла, канд. физ.-мат. наук
Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Львов

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ МЕСТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ БЕРЕГОВСКОГО СОБЫТИЯ 23.11.2006 г.**

*Исследованы особенности построения механизмов очагов для землетрясений в Карпатском регионе Украины. Рассмотрено принцип и особенности построения механизма очага графическим методом. С помощью предложенного метода построено механизм очага для землетрясения, произошедшего 23.11.2006г. около г. Берегово. Сделано сравнение механизмов, построенных графическим методом и с помощью комплекса программ.*

D. Malytskyy, Dr. Sci. (Phys.-Math.), O.Hrytsai, Engineer., O. Muyla, Cand. Sci. (Phys.-Math.),
Carpathian branch of Institute of Geophysics National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv

**THE FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF THE FOCAL MECHANISMS OF LOCAL EARTHQUAKES USING THE EXAMPLE OF AN EVENT NEAR BEREGOVO 23.11.2006**

*The features of the construction of the focal mechanisms for earthquakes in the Carpathian region is researched. Principle and features of the construction of the focal mechanism using graphic method are considered. Focal mechanism is built for earthquake, occurred 23.11.2006 near Beregovo, using this method. The constructed mechanism using graphical method is compared with the mechanism, which is built using complex of programs.*

**УДК 551.2/.3:537.315:(551.508.94+551.14)**

**В. Бублясь, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.,
М. Бублясь, мол. наук. співроб.
Інститут геологічних наук НАН України, Київ**

# ПРОЦЕСИ І ЯВИЩА В МІКРОГЕОДИНАМІЧНИХ ЗОНАХ ПОКРИВНИХ ВІДКЛАДІВ РІВНИННИХ ТЕРИТОРІЙ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії чл.-кор. НАН України, д-ром фіз.-мат. наук, проф. М.А. Якимчуком) Розглянуто нові дані про підвищену активність більшості процесів, які відбуваються в мікрогеодинамічних зонах, порівняно з фоновими ділянками. У першу чергу це стосується геомагнітного поля, електромагнітних і електричних полів, питомої активності радіоактивних газів ($Rn^{222-220}$), геохімічних процесів, руху порових розчинів.*

**Вступ.** Земна кора є досить складною структурованою системою. Структурними елементами покривних відкладів є макро-, мезо-, мікро- і пікозони із певним рівнем порушення порід. С.І. Субботін (1968), розглядаючи роль спонтанно глибинних процесів в структуроутворенні, висловив гіпотезу про їх виникнення і активізацію під впливом зміни швидкості обертання Землі. Більш детально цю гіпотезу було досліджено І.І. Чабаненком [14] і Т.Ф. Тяпкіним [9]. Відповідно до нових гіпотез, що пояснюють природу геодинамічних процесів і причини формування структури земної кори, крім теплових глибинних переміщень певних мас геологічних тіл велику роль відіграють гравітаційні і ротаційні сили [9]. У результаті дії ротаційних сил в земній корі і верхній мантії накопичуються напруження, які при перевищенні межі міцності порід певних ділянок приводять до її тектонічної активізації з утворенням системи ортогональної тріщинуватості, яка розділяє земну кору на блоки різного порядку – від сотень кілометрів до декількох сотень метрів. А більш дрібними коливальними тектонічними рухами із меншими силами, що не в змозі розірвати геологічні тіла, сформовані зони із підвищеним напружено-деформаційним станом порід. Їх розміри складають від декількох кілометрів до декількох метрів. На сьогодні встановлено велику низку різновидів зон із підвищеним або пониженим (порівняно із фоновими ділянками) напружено-деформаційним станом порід [4].

Найбільший інтерес, з точки зору пізнання процесів енергомасообміну і практичних цілей, представляють зони із переважаючими нисхідними потоками високорухомих складових порід покривних відкладів. За класифікаційним поділом [4] ці зони були віднесені до рангу мікрогеодинаміних зон (МГЗ). У рельєфі вони часто виражені пониженими (депресивними) морфоскульптурами. Характерною їх особливістю є певна ритмічна зміна напружено-деформаційного стану порід і підвищений енергомасообмін між атмосферою і літосферою [1-4]. Викликані ротаційними силами пружні хвилі в різних геологічних умовах (відмінних за щільністю, вологістю, літологічним складом порід) будуть мати різні фізичні характеристики (частоту, амплітуду, швидкість переміщення). У покривних відкладах на рівнинних територіях, не вражених розломними зонами, ймовірно кожна ділянка може знаходитись (переважно) в стані періодичного стиснення, розтягнення або відносного спокою. В першому випадку можуть формуватися додатні, а в другому – від'ємні форми мікрорельєфу. На таких ділянках відбуваються переважно процеси акумуляції і розвантаження механічної енергії. Напружено-деформаційні сили постійно змінюються в часі за величиною і характером – мають певну циклічність зміни. Мікрорельєф, сформований під впливом напружено-деформаційних коливань, у більшості випадків, як і розломні зони, також орієнтований за чотирма азимутами [13], що підтверджує думку про поєднання ендогенних і екзогенних процесів у їх походженні.

Оскільки геологічне середовище за своєю природою є неоднорідним, то і всі процеси будуть відбуватися в ньому неоднаково, що відображено у внутрішній і зовнішній структурі МГЗ, які відрізняються за розмірами, формою, глибиною ерозійних процесів, характером розповсюдження тощо.

На сьогодні залишається ще багато нерозв'язаних проблем у дослідженні мікрогеодинамічних зон, і в першу чергу – наукових і науково-методичних. Не з'ясовано питання щодо: 1) формування і розвитку мікроструктури покривних відкладів; 2) впливу мікроструктури на енергомасообмін, 3) розвитку геохімічних ареалів у межах цих форм; 4) нерівномірного вологообміну в порівняно однорідних за літологічним складом породах; 5) надзвичайно глибокого проникнення за короткий проміжок часу ряду привнесених хімічних елементів (факти фіксації радіонуклідів чорнобильського походження в підземних водах глибоких водоносних горизонтів); 6) періодичної зміни напрямку і швидкості руху вологи в зоні аерації без зміни зволоження і температури; 7) ритмічного коливання рів-

© Бублясь В., Бублясь М., 2013

нів ґрунтових вод протягом доби, року та під час зміни атмосферних фронтів. Крім того: 8) відсутні надійні методи дослідних польових робіт, які не призводили б до порушення природних гідрогеологічних процесів у зоні аерації; 9) невисокий рівень існуючих методів якісної і кількісної обробки результатів режимних спостережень і експериментів тощо.

Практична сторона полягає в тому, що в даних мікроструктурних елементах відбуваються процеси (особливо енергомасообмінні), які в декілька разів перевищують фонові, що сильно впливає на низку напрямків господарської діяльності [4, 13]: 1) підземне водоспоживання – поповнення підземних вод атмосферними опадами відбувається в основному через зони швидкої міграції, від чого залежить якісний і кількісний стан підземних вод; 2) будівельну сферу – будівельні конструкції в декілька разів швидше втрачають свою несучу здатність; 3) сільськогосподарську галузь – кількість і якість сільськогосподарської продукції в МГЗ різко знижується, а також ускладнюється технологія обробітку земель; 4) екологічний стан забруднених територій – кількість і швидкість міграції забруднювачів у МГЗ у декілька разів більша, ніж на фонових ділянках тощо. Особливу увагу на територіях зі складними екологічними умовами привертають ділянки з підвищеними геодинамічними, геохімічними, гідродинамічними, термо- і газодинамічними процесами. Тому при освоєнні чи експлуатації певних територій необхідно враховувати фізичний стан, властивості і особливу енергообмінну роль МГЗ.

**Матеріали, методи та об'єкт дослідження**. Аналіз опублікованих матеріалів [6] і даних експериментальних досліджень МГЗ [2, 5] показують, що в основі найдрібніших ритмів, так само як і найбільших геотектонічних циклів, лежить періодичність подій, що відбуваються із рухом Землі. Можна припустити, що дрібні ритми впливають на більш тонкі процеси, а великі – призводять до глобальних геотектонічних рухів.

Про присутність в геосфері дрібних (місцевих) шляхів і великих (регіональних) зон аномально високої міграції рідкої та твердої фаз ґрунтів і порід з денної поверхні в глибокі горизонти геологічного середовища свідчать факти фіксації радіонуклідів Чорнобильського походження в підземних водах глибоких водоносних горизонтів [10].

На сьогодні ці складні природні утворення досліджені ще далеко не повною мірою. В більшості праць, як правило, висвітлюються тільки окремі їх складові і деякі їх властивості.

І.М. Степанов [8], вивчаючи структуру ґрунтового покриву, висловив припущення, що завдяки закономірній циркуляції внутрішньо-теплових потоків, імовірно створених електромагнітними полями, формується структурна система, подібна чарунковій мережі чи бджолиним стільникам. Таким чином енергетично неврівноважений стан ґрунтового покриву стає причиною утворення в ньому просторово-часових структур у вигляді певних геометричних форм.

Формування структурних елементів ландшафтів рівнинних територій спостерігається практично у всіх фізико-географічних зонах [3].

Одним із найбільш чітких утворень елементарних геометричних (округлих) форм є западинні морфоскульптури із розмірами від декількох десятків метрів (степові блюдця) до декількох кілометрів (поди). Комплексне дослідження цих форм геофізичними і ландшафтними методами показує, що їх природа тісно пов'язана із глибинними і поверхневими процесами.

Наша увага приділена, в основному, мікрогеодинамічним зонам, розвиненим у межах замкнених, понижених форм мікрорельєфу, які належать до високоактивних – стосовно горизонтального і вертикального масопереносу. В загальних рисах вони представляють собою специфічні, історично обумовлені природні об'єкти, сформовані під впливом ендогенних і екзогенних геологічних процесів. Вони мають своєрідні (відмінні від фонових ділянок) будову, склад порід, ґрунтів, рослинного покриву, а також процеси, які в них відбуваються. Особливий інтерес до цих форм зумовлений їх специфічними властивостями швидкого масообміну між атмосферою і літосферою, а також широким їх розповсюдженням на більшості рівнинних територій України. Морфометричні обстеження западин та їх водозбірних площ основних ландшафтних комплексів Чорнобильської зони відчуження свідчать, що на долю западинного мікрорельєфу припадає основна функція перерозподілу рідкого і твердого стоку. Як показують дані досліджень мікроландшафтів з аномальними властивостями, кількість вологи, яка перетікає через зону аерації в підземні води на цих ділянках, в декілька разів перевищує фонові значення (інколи досягає десятикратних значень) [4].

Режимні спостереження за процесами енергомасообміну в западинній морфоскульптурі полігону "Лютіж" за допомогою геофізичних і гідрофізичних методів дали можливість встановити високу геодинамічну активність цих специфічних природних геоструктурних елементів. Із широкого арсеналу методів даного напрямку застосовувались лише ті, завдяки яким було виявлено геодинамічний стан морфоскульптур і інтенсивність домінуючих процесів. За допомогою методу визначення варіацій магнітного поля Землі було встановлено глибинне походження геодинамічних процесів. Підвищені значення і варіації з високою амплітудою питомої активності $Rn^{222}$ в центральній частині западини по відношенню до фонових ділянок відображають, імовірно, геодинамічну активність аномальних зон і напружено-деформаційний стан порід. Досить значні результати були отримані в результаті вивчення електричних і електромагнітних потенціалів у атмосфері і покривних відкладах і їх вплив на рух вологи в зоні аерації. Водні розчини в покривних відкладах досить чутливі до зміни електромагнітних полів і електричних потенціалів. Ритми електричного поля, що формуються під впливом сонячної радіації, атмосферних фронтів і геодинамічних процесів геологічного середовища, відіграють значну роль у енергомасообмінних процесах.

**Результати та обговорення.** Детальний аналіз виявлених за аерофотознімками (АФЗ) характерних геоіндикаційних ознак у межах полігонів дозволив за принципами системного аналізу виділити [1, 2, 7] широко розповсюджені дискретні лінії сучасної поверхневої тріщинуватості (*структурні лінії*), які у сукупності є полем елементарних лінеаментів. Безпосередньо вивчаючи загальну структуру даного поля, на перший погляд різноорієнтовані, роз'єднані поверхневі індикатори вдалося згрупувати у лінеаментні зони (поля). В останніх сконцентровані вказані напруженно-деформаційні стани порід, які відображають внутрішню їх будову. Вважають [7], що сучасна поверхнева тріщинуватість утворюється у процесі тектонічних рухів на новітньому і сучасному етапах розвитку земної кори, які ведуть до механічних переміщень як окремих шарів поверхневих відкладів, так і її денної поверхні. Особливості тріщинуватості (густота, розкритість тріщин), які фіксуються на АФЗ, перш за все залежать від характеристик напруженого стану гірських порід. Так, щільність тріщин зростає на більш напружених елементах структур. Тобто підвищена тріщинуватість приурочена до зон максимальних градієнтів амплітуд неотектонічних і сучасних рухів і ділянок найбільших перегинів шарів геологічного середовища.

Геодинамічна активність МГЗ визначалась за даними еманаційної зйомки, результати якої дали можливість встановити рівень інтенсивності аномальних проявів, і, якоюсь мірою, оцінити інтенсивність геодинамічних процесів на певних ділянках. Цей метод належить до групи структурно-геодинамічного картування геодинамічних зон, які фіксуються безпосередньо в покривних відкладах [8]. А еманаційне обстеження певних територій дозволяє виявити геодинамічні зони, в яких вільні гази шляхом дифузії і конвекції активно переміщуються в покривних відкладах у місцях тектонічних напружень і порушень. Такі зони формуються практично у поверхневих відкладах, оскільки період напіврозпаду радону становить 3,8 доби, а торону – 54 с. А тому глибина формування еманацій, згідно з розрахунком швидкості їх переміщення, не може бути глибшою за 10 м для радону і 0,5 м для торону, що свідчить про вплив на поверхневі відклади ротаційних і гравітаційних сил. Як показують матеріали дослідження, еманації виділяються із розсіяних в осадових породах ізотопів радію внаслідок зміни поля напруги в породах.

Для вимірювання концентрації (питомої активності) еманацій в ґрунтовому повітрі використовувались альфа-бета аналізатор, гамма радіометр ТС-4826. Профіль еманаційної зйомки проходив через центральну частину западини по лінії з північного сходу на південний захід (по довгій осі). На підставі цих даних виділено 5 чітко виражених аномальних зон (рис. 1).

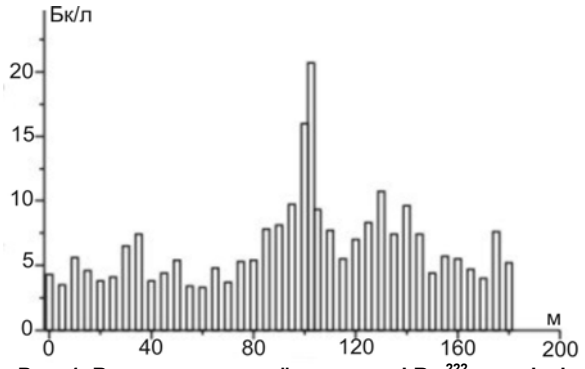



**Рис. 1. Величини питомої активності $Rn^{222}$ у повітрі ґрунтового покриву западинної морфоскульптури в межах мікрогеодинамічної зони і фонової ділянки станом на травень 2007 р. (полігон "Лютіж")**

Одна центральна зона (центральна частина западини), дві – в межах днища і дві – на схилах. Найбільшою інтенсивністю характеризуються зони, що розміщені в центральній частині і на крутому схилі. При віддаленні від бортів на фонові ділянки інтенсивність еманацій згасає. А в 2007-2008 рр було проведено режимні спостереження за зміною еманацій на фоновій і аномальній ділянках. Результати цих вимірювань показують (рис. 2), що, крім підвищених значень питомої активності $Rn^{222}$ в аномальній зоні, виділяється підвищена амплітуда коливання і значне підвищення еманацій у літній період. Високі показники $Rn^{222}$ у теплий період року, ймовірно, пов'язані з підвищеними значеннями електричних струмів, які влітку часто активізуються (рис. 3).

Аномальні явища у МГЗ були зафіксовані і за результатами обстеження магнітного поля дослідної ділянки полігону "Лютіж". Магнітна зйомка на полігоні проведена за двома профілями, які перехрещуються в центральній частині западини. Зйомка проводилась у декілька етапів (26.10.04, 12.11.04, 13.12.04). Дослідження показало, що індукція магнітного поля в певних точках змінюється в часі і просторі (рис. 4). У центральній частині западини періодично фіксується дуже сильна магнітна аномалія з інтенсивністю, яка перевищує фонову більше, ніж на 300 нТл (зйомка 26.10.04). Хоча при повторних замірах (12.11.04) магнітна аномалія не була виявлена, але в період зйомки (13.12.04) аномальне проявлення магнітної індукції знову було зафіксовано із величиною, яка перевищувала фонову понад 100 нТл з відхиленням центра максимальних значень. Аналізуючи умови в періоди зйомок, було встановлено, що магнітні поля частіше всього змінювалися в періоди зміни баричних режимів і змін напруженості електромагнітного поля. Викладені дані наштовхують на логічну думку, що зміна індукції магнітного поля, можливо, пов'язана зі зміною електромагнітної напруженості, яка має тісний зв'язок із атмосферними процесами. При подальших дослідженнях було встановлено, що при зміні теплого фронту холодним різко підвищується напруженість електромагнітного поля. Дані режимних спостережень за магнітним полем показали також значно вищу амплітуду коливання магнітного поля в аномальній зоні по відношенню до фону (періодичні стрибки в МГЗ).

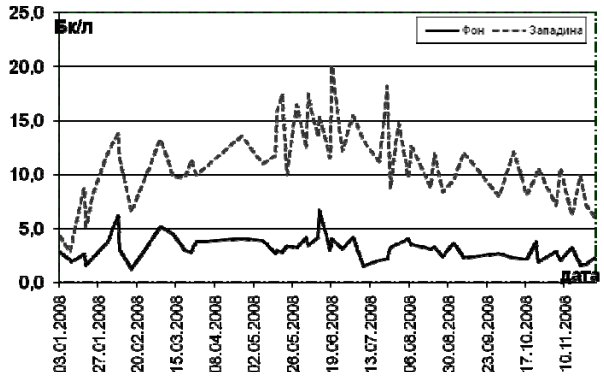



**Рис. 2. Зміна питомої активності $Rn^{222}$ у повітрі ґрунтового покриву западинної морфоскульптури в межах мікрогеодинамічної зони і фонової ділянки впродовж 2008 р. (полігон "Лютіж")**

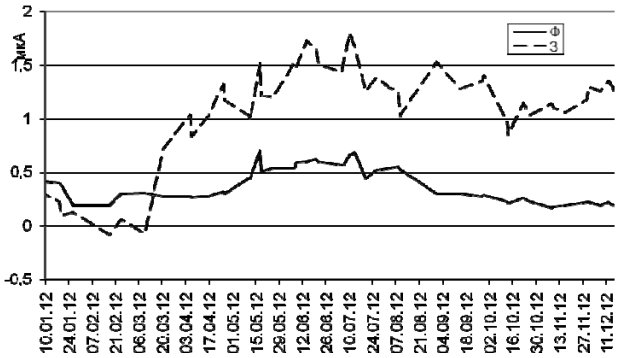



**Рис. 3. Характер зміни сили електричного струму в породах зони аерації фонової (Ф) і западинної (З) морфоскульптури полігону "Лютіж" за 2012 р.**

Особливо вагомим результатом наших досліджень за останні роки стало виявлення впливу електричних і електромагнітних полів, що формуються в атмосфері і літосфері, на енергомасообмін в покривних відкладах, які найбільш активно проявляють себе у МГЗ [5]. Експериментальні дані дослідження свідчать, що у більшості випадків на значні коливання сили електричного струму в породах зони аерації впливають: 1) сонячна радіація, 2) атмосферні фронти, що різко змінюють іонне середовище приземної атмосфери, 3) напружено-деформаційний стан порід, 4) вологість порід. Завдяки детальному дослідженню зміни рівнів ґрунтових вод (РҐВ), вологості і температури порід в зоні аерації, інтенсивності сонячної

радіації, електричних потенціалів у атмосфері, на поверхні ґрунту і в породах зони аерації було виявлено ряд нових (досить суттєвих) факторів, що впливають на рух рідкої і твердої фаз порід в геологічному середовищі. За результатами аналізу метеорологічних даних було встановлено, що кожну зміну погодних умов супроводжують певні потоки повітряних мас, які приносять і відповідні електричні потенціали (холодні зі знаком "-", а теплі – з "+"), в результаті чого виявлено закономірні залежності зміни рівнів ґрунтових вод від зміни електричних потенціалів (рис. 5). Були встановлені добові варіації РҐВ, пов'язані із сонячною радіацією, фронтальні варіації – при зміні погодних умов, річні варіації – пов'язані зі зміною напружено-деформаційного стану порід під впливом ротаційних сил – відмічаються чітко виражені зниження РҐВ у зимовий і літній періоди і їх підвищення в весняний і осінній періоди (в чіткі строки і мало залежні від опадів). Аналіз добових і фронтальних варіацій, сили електричного струму, вологості порід і рівнів ґрунтових вод свідчить, що волога в зоні аерації постійно рухається у висхідному і нисхідному напрямку залежно від знаку електричних потенціалів (іонів), генерованих атмосферою [5].

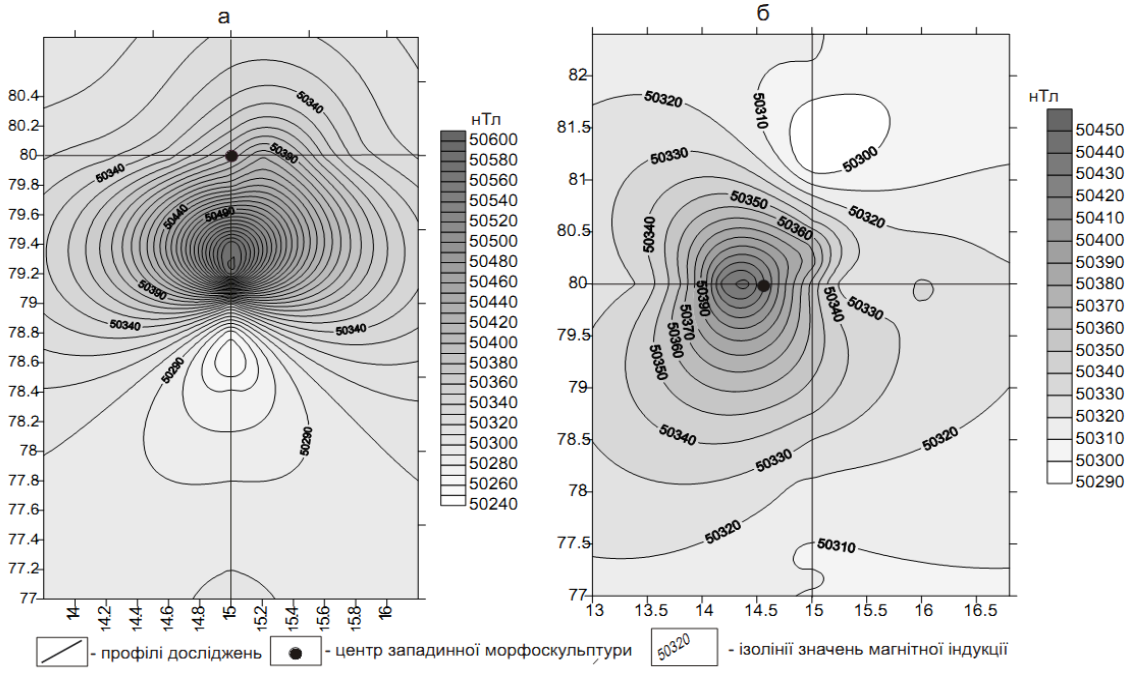



**Рис. 4. Схема прояву аномального магнітного поля в центральній частині западинної морфоскульптури полігону "Лютіж" станом на:** а – 21.10.04, б – 13.12.04

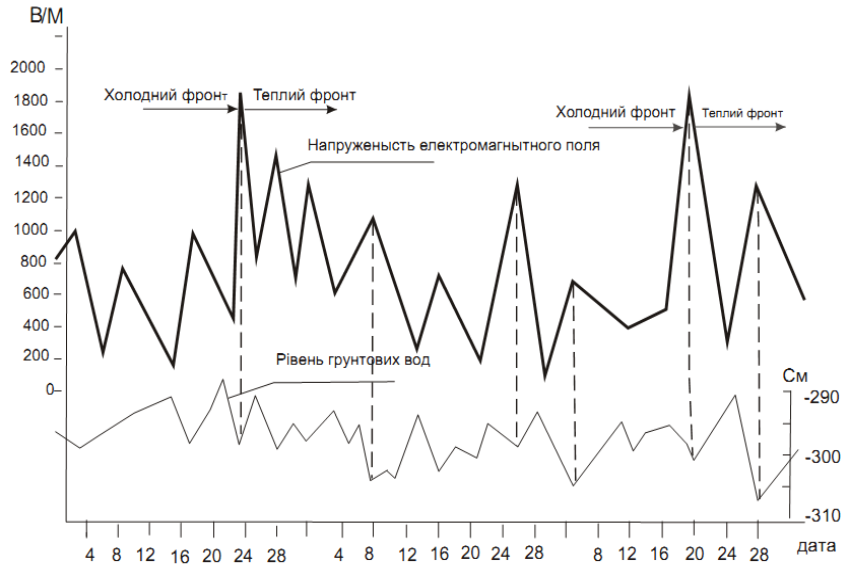



**Рис. 5. Графіки зміни напруженості електромагнітного поля в приземному шарі атмосфери і рівнів ґрунтових вод у западині на полігоні "Лютіж" за січень-березень 2008 р.**

Крім того, було встановлено, що більшість процесів у МГЗ і на фоновій ділянці часто мають протилежно направлені напрямки руху в певні проміжки часу. Такий характер зміни процесів має чітку залежність зміни сили електричного струму від вологості. Так, за даними їх моніторингу у 2010, 2011, 2012 рр. було встановлено, що кількість опадів у ці роки відповідно збільшувалися – 460 мм, 560 мм, 620 мм, а середні значення сили електричного струму зменшувалися – 0,65 мкА, 0,41 мкА, 0,38 мкА. У даному разі на фоновій ділянці підтверджено обернену залежність величини сили електричного струму від вологості порід, тоді як у мікрогеодинамічній зоні ми маємо ясно виражену пряму залежність – 0,08 мкА, 0,47 мкА, 1,13 мкА.

За останні два десятиліття проведено велику роботу з вивчення впливу мікрогеодинамічних зон на переміщення радіонуклідів чорнобильського походження. Западини як місцеві базиси ерозії сприяють переміщенню рідкого і твердого стоку (в тому числі і радіонуклідів) у центральну їх частину. Ґрунтовий покрив у найбільш понижених ділянках має порівняно важкий механічний склад, який виконує, в основному, функцію фізичного бар'єру, де накопичуються техногенні речовини. Чужорідні елементи або речовини, які не збалансовані в певних ландшафтних умовах в агресивному середовищі активних геохімічних процесів, трансформуються в більш рухомі форми і періодично (при зміні відповідних кліматичних умов) швидко переміщуються через розущільнені (промиті) зони (у верхніх шарах через палеокріогенні псевдоморфози, тріщини усихання і просадок, ходи землерийок) у шари, що залягають глибше, і переходять у підземні води. Аналіз матеріалів дослідження особливостей руху радіонуклідів у МГЗ показав, що через тіло западини переміщується в 2,5 рази більше радіонуклідів $Cs^{137}$, ніж через породи фонових ділянок [4].

Суттєвим підтвердженням гіпотези про особливу геологічну дію електричних струмів є руйнування структурних зв'язків елементарних часток у межах мікрогеодинамічних зон (визначених електронним мікроскопом) [4]. У МГЗ спостерігається періодичне винесення за межі западинних морфоскульптур твердої фази порід, особливо кремнезему. Імовірно, підвищені електрохімічні процеси в геодинамічних зонах є причиною зменшення загальної мінералізації у пробах першого водоносного горизонту в центральній частині западинної форми у 2-4 рази по відношенню до фонової ділянки і переміщення радіонуклідів у глибокі горизонти (100 м і глибше) [10].

**Висновки.** Важливим результатом наших досліджень стало те, що було виявлено мікроструктуру в покривних відкладах рівнинних територій, у межах якої сформовані мікрогеодинамічні зони із аномально високим рівнем енергомасообмінних процесів.

Аномальні прояви магнітного поля (періодична його зміна) свідчать про високі електродинамічні процеси і формування феромагнетиків у породах МГЗ.

Підвищені еманації $Rn^{222}$ у западинних формах відображають геодинамічну активність аномальних зон і напруженно-деформаційний стан порід.

Виявлені дані про аномально глибоке проникнення радіонуклідів у геологічне середовище свідчать про міграційну роль МГЗ, і що механізм проникнення антропогенних речовин і окремих елементів на сьогодні, крім впливу електричних струмів, пояснити важко.

Суттєвим підтвердженням гіпотези про особливу геологічну дію електричних струмів є порушення структурних зв'язків у елементарних часток в межах мікрогеодинамічних зон, руйнація і винесення за межі западинних морфоскульптур твердої фази порід, особливо кремнезему тощо.

Водні розчини в покривних відкладах досить чутливі до зміни електромагнітних полів і електричних потенціалів. Ритми електричного поля, що формуються під впливом сонячної радіації, атмосферних фронтів і геодинамічних процесів геологічного середовища, відіграють значну роль у енергомасообмінних процесах.

Розв'язання розглянутих наукових проблем дасть можливість розв'язувати ряд актуальних сьогодні наукових і практичних задач, які належать до екології, гідрогеології, інженерної геології, геоморфології, ґрунтознавства, кліматології, біології тощо.

**Список використаних джерел**


1. *Азімов О. Т.* Використання комплексу дистанційних і геофізичних даних як інформаційного ресурсу при дослідженні сучасних тектонічних напруг у межах аномальних зон вертикального масопереносу (на прикладі Старошепелицької ділянки Зони відчуження ЧАЕС) / О.Т. Азімов, С.П. Левашов, В.М. Бублясь // Геоінформатика. – 2002. – № 3. – С. 64–74.

2. *Азімов О.Т.* Дослідження геодинамічних процесів у зонах аномального массопереносу / О. Т. Азімов, В. М. Бублясь // Вісник Київського національного ун-ту ім. Т.Г. Шевченка. Геологія. – 2005. – № 34-35 – С. 97-102.

3. *Бублясь В. М.* Мікрогеодинамічні зони як елементарні складові структур літосфери і роль електромагнітних явищ в ух розвитку / В.М. Бублясь // Енергетика Землі, її геолого–екологічні прояви, науково-практичне використання. Збірник наукових праць КНУ. – 2006. – С. 86-90.

4. *Бублясь В. Н.* Аномальные зоны и их роль в перераспределении радионуклидов из поверхности почв в подземные воды / В.Н. Бублясь, В.М. Шестопалов // Водообмен в гидрогеологических структурах и чернобыльская катастрофа. Ч. 1: Распространение чернобыльских радионуклидов в гидрогеологических структурах [гл. ред. В.М. Шестопалов]. – К., 2001. – С. 251-356.

5. *Бублясь В. М.* Електрогеодинамічні явища в атмосфері і літосфері та їх вплив на масообмін / В.М. Бублясь, В.М. Шестопалов, М.В. Бублясь // Вісник Київського національного ун-ту ім. Т.Г. Шевченка. Геологія. – 2008. – № 44. – С. 67-72.

6. *Куликов К. А.* Вращение Земли / К.А. Куликов. – М.: Недра, 1985. – 159 с.

7. *Розанов Л.Н.* Динамика формирования тектонических структур платформенных областей / Л. Н. Розанов. – Л.: Недра, 1981. – 324 с.

8. *Степанов И. Н.* Формы в мире почв / И.Н. Степанов. – М.: Наука, 1977. – 190 с.

9. Тяпкин К. Ф. Новая ротационная гипотеза структурообразования и ее геолого-математическое обоснование / К.Ф. Тяпкин, М.М. Довбнич. – Донецк: НОУЛИДЖ, 2009. – 342 с.

10. *Шестопалов В. М.* Пути миграции "чернобыльских" радионуклидов в наземных ландшафтах. Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления / В.М. Шестопалов, В.А. Кашпаров, Ю.А. Иванов, И.М. Богдевич. – К.: Чернобыльинтеринформ, 2001. – С. 96-117.

11. *Шестопалов В. М.* Про необхідність аналізу геодинамічних зон при виборі ділянок для захоронення радіоактивних відходів / В.М. Шестопалов, В.М. Бублясь, М.Я. Якимчук // Геохімія та екологія. Зб. наук. праць. Вип. 3-4. – 2001. – С. 37-49.

12. *Шестопалов В. М.* Визначення показників інфільтрації в гірських породах зони аерації за допомогою хлорного индикатора / В.М. Шестопалов, С.Т. Звольський, В.М. Бублясь // Доповіді Академії наук України – 2002. – №9. – С. 130-136.

13. *Шестопалов В. М.* Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции / В.М. Шестопалов, Ф.С. Богуславский, В.Н. Бублясь. – К.: НИЦ РПИ НАН Украины, ИГН НАН Украины, 2007. – 118 с.

14. *Чебаненко И.И.* Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры / И. И. Чебаненко. – К.: Наук. Думка, 1977. – 83с.


**Надійшла до редколегії 15.03.13**

**В. Бублясь, канд. геол.-минералог. наук, ст. науч. сотруд., М. Бублясь, мл. науч. сотруд.**
**Институт геологических наук НАН Украины, Киев**

## ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В МИКРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЗОНАХ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

***Рассмотрены новые данные про повышенную активность большинства процессов, которые происходят в микрогеодинамических зонах, по сравнению с фоновыми участками. В первую очередь это касается геомагнитного поля, электромагнитных и электрических полей, удельной активности радиоактивных газов ($Rn^{220-222}$), геохимических процессов, движения поровых растворов.***

**V. Bublyas, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, M. Bublyas, Junior Researcher**
**Institute of geological sciences of NAS of Ukraine, Kyiv**

## PROCESSES AND PHENOMENA IN THE MICRODYNAMIC ZONES OF COVERING DEPOSITS WITHIN THE PLAIN TERRITORIES

***The paper presents the new data on increased activity of the most of processes occurring in the microdynamic zones as compared to background areas. First of all it concerns the geomagnetic field, electromagnetic and electric fields, specific activity of radioactive gases ($Rn^{222-220}$), geochemical processes, motion of pore fluids.***

УДК 551.31+902.2

К. Бондар, канд. геол. наук,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ
В. Ерліх, д-р іст. наук,
Державний музей мистецтв народів Сходу, Москва, Росія
І. Віршило, канд. геол. наук, Д. Кравченко, канд. геол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

# ПРОСТОРОВА СТРУКТУРА ЕШЕРСЬКОГО ГОРОДИЩА АНТИЧНОЇ ДОБИ ЗА ДАНИМИ ВИСОКОТОЧНОЇ МАГНІТОРОЗВІДКИ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. М.І. Орлюком)*

***У статті обговорюються результати високоточних магнітних вимірювань на Ешерському городищі - унікальній фортифікаційній споруді античної епохи. В результаті археологічної інтерпретації геофізичних аномалій встановлені особливості планування городища, виявлені окремі об'єкти пам'ятки.***

**Вступ.** У серпні-вересні 2010 рр. вперше на території Абхазії проведені геофізичні дослідження археологічної пам'ятки. На Ешерському городищі - унікальній фортифікаційній споруді античної доби - виконані магнітні вимірювання високої точності і детальності. Роботи виконані археолого-геофізичною групою Київського національного університету імені Тараса Шевченка на замовлення Кавказької археологічної експедиції в рамках спільного проекту Російського Гуманітарного Наукового Фонду і АН Республіки Абхазія "Ешерське городище- ключ до Древньої Діоскурії" № 10-01-18142е/А.

**Ешерське городище - об'єкт геофізичних досліджень.** Ця пам'ятка унікальна тим, що є на сьогоднішній день єдиною фортифікаційною спорудою античної доби на території Абхазії. Городище знаходиться в 10 км на захід від Сухума на правому березі річки Гуміста, на території села Нижня Ешера.

Пам'ятка є багатошаровою. Тут відомі окремі знахідки доби пізньої бронзи (імовірно ця територія використовувалася як могильник цього часу). На верхньому майданчику городища виявлений шар архаїчного часу (VI ст. до н.е.), імовірно тут знаходилася садиба представника місцевої еліти, що мав торгові або обмінні зв'язки з греками-колоністами.

Починаючи з епохи елінізму городище забудовується капітальними фортифікаційними спорудами (стіни і вежі), які зводяться переважно з каменю. Стіни були завтовшки до 2-х метрів. На нижньому майданчику споруджується велика будівля громадського призначення, звідки походять залишки бронзової таблички з грецьким написом кінця IV ст. до н.е. Городище мало власну систему водопостачання, що складалася з керамічних труб. Не пізніше першої половини 1 ст. до н. е. в результаті нападу місцевих племен воно було зруйноване і спалене вщент [2].

Ще на початку 20 ст. усе городище було вкрито лісом, вирубаним в 20-х роках. У 1968 р. схили пагорба терасували за допомогою плантажної оранки глибиною до 80 см.

Подробиці існування поселення і стан грунту на городищі винятково важливо знати для того, щоб вірно інтерпретувати польові геофізичні дані.

**Постановка завдання.** Оскільки Ешерське городище є багатошаровою археологічною пам'яткою, для його дослідження необхідний геофізичний метод, що дозволяє за короткий час отримати уявлення про просторове розташування об'єктів, тобто, карту. Завдання геофізичного картування в більшості випадків успішно вирішуються за допомогою магнітної зйомки [2]. Магнітометричне картування і вивчення магнітних властивостей археологічної речовини стали важливими елементами дослідження археологічних пам'яток різних епох [2-5]. Зокрема, значний об'єм магнітних досліджень античних поселень Криму та Тамані виконаний російськими фахівцями [6, 7].

Пошукова здатність магніторозвідки визначається контрастом намагніченості археологічного об'єкту і вміщуючого грунту. Означена різниця намагніченості майже завжди достатньо висока, щоб створити аномалію магнітної індукції від одиниць до тисяч нТл, яка з високим ступенем достовірності фіксується сучасною апаратурою.

Зокрема, із застосуванням сучасних цезієвих магнітометрів, якими можна виконувати детальні зйомки в русі, успішно виявляються аномалії низької інтенсивності, джерелами яких виступають житла-землянки, окремі вогнища і керамічні вироби в грунті [3]. При цьому слід відзначити високу виробничу здатність і ефективність досліджень.

**Методика і результати дослідження.** Загальна площа обстеженої території склала близько 2,5 га. Рельєф місцевості неоднорідний, тому територія городища була розділена на невеликі ділянки. Методика вимірювань на кожній з ділянок залежала від характеру рельєфу місцевості та наявної рослинності.

Магнітометрична зйомка виконана двосенсорною установкою на базі цезієвого магнітометрів ПКМ-1 (Геологоразведка, РФ) з роздільною здатністю датчиків 0,001 нТл. Установка являє собою змонтовані на ранцевий підвісці і синхронізовані за часом магнітометри, розташовані на відстані 0,5 м один від одного. За один прохід оператора записуються два паралельні профілі. Крок за профілем в режимі автоматичних вимірювань (10 вимірювань в секунду) складає в середньому 15 см. Найбільш круті схили обстежені за допомогою одного магнітометра ПКМ-1 з тією ж детальністю вимірювань.

Первинна обробка магнітометричної інформації включала упорядкування вимірювань в єдиному масиві і їх просторову прив'язку. Інформативною частиною магнітного поля вважалася його аномальна складова. Нормальна складова магнітного поля враховувалася шляхом віднімання від первинних вимірювань середнього або медіанного значення магнітної індукції для кожного профілю. Цей прийом дозволив також позбутися впливу геомагнітних варіацій.

У результаті була отримана карта локальних аномалій магнітної індукції. На рис. 1 магнітна карта, розфарбована за райдужною шкалою кольорів, накладена на топографічний план городища.

**Інтерпретація магнітних даних.** Виділення археологічно перспективних магнітних аномалій і їх подальша інтерпретація завжди несе в собі елемент неоднозначності. У цьому зв'язку задача інтерпретатора - запропонувати деяку несуперечливу модель на підставі результатів попередніх археологічних розкопок на даній пам'ятці або аналогічних та синхронних їй.

© Бондар К., Ерліх В., Віршило І., Кравченко Д., 2013

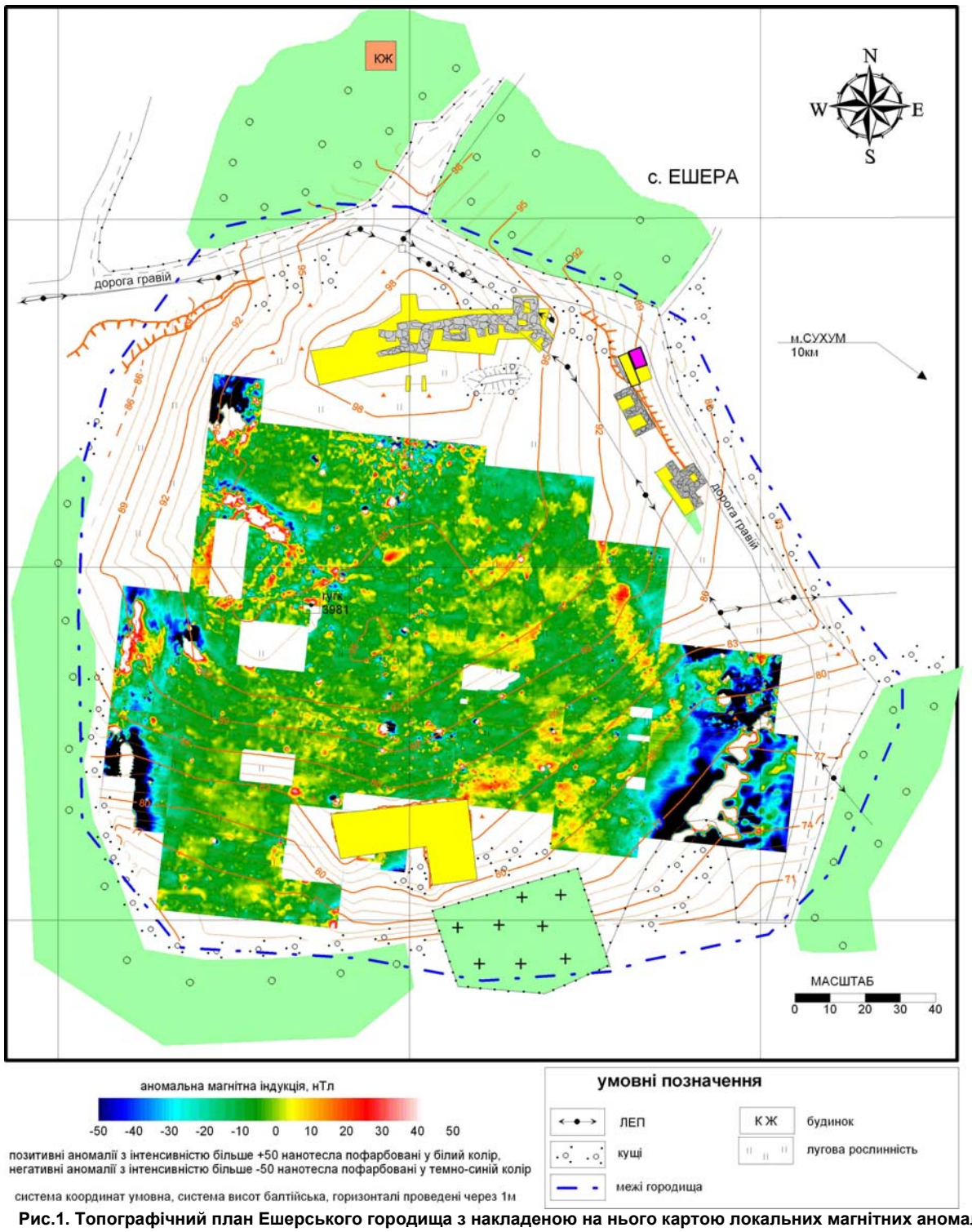



**Рис.1. Топографічний план Ешерського городища з накладеною на нього картою локальних магнітних аномалій.**

При інтерпретації магнітної карти Ешерського городища слід враховувати можливу переробку культурного шару плантажної оранкою і корінням дерев. З цієї причини буває складно визначити межі окремих споруд. Також викликають сумнів відносно дрібні аномалії, розташовані поблизу великих, оскільки вони можуть створюватись шматками древніх споруд, розтягнених плугом. Тому подальші пояснення стосуються тільки найбільш великих і чітко виражених аномалій.На інтерпретаційні схемі (рис. 2) представлені збурення магнітного поля, джерелами яких можуть виступати як археологічні так і техногенні об'єкти.

Прикладом техногенних збурень може служити структура магнітного поля в західній частині городища, на північ від аномалії 13. Тут проходить лінія електропередач, а також валяються кузови автомобілів.

Скупчення дрібних знакозмінних аномалій спостерігається на північному краю карти (рис. 2). Таким чином проявляють себе уламки снарядів та інше металеве сміття. За свідченнями місцевого населення, північна частини городища інтенсивно обстрілювалася під час війни 1992–93 рр.

У північно-східному куті городища знаходиться сильномагнітний об'єкт, ймовірно, вежа (аномалія 1) (рис. 2). Її розташування, розміри і форма подібні до раніше розкопаних на городищі фрагментів "житлових стін" (рис. 1).

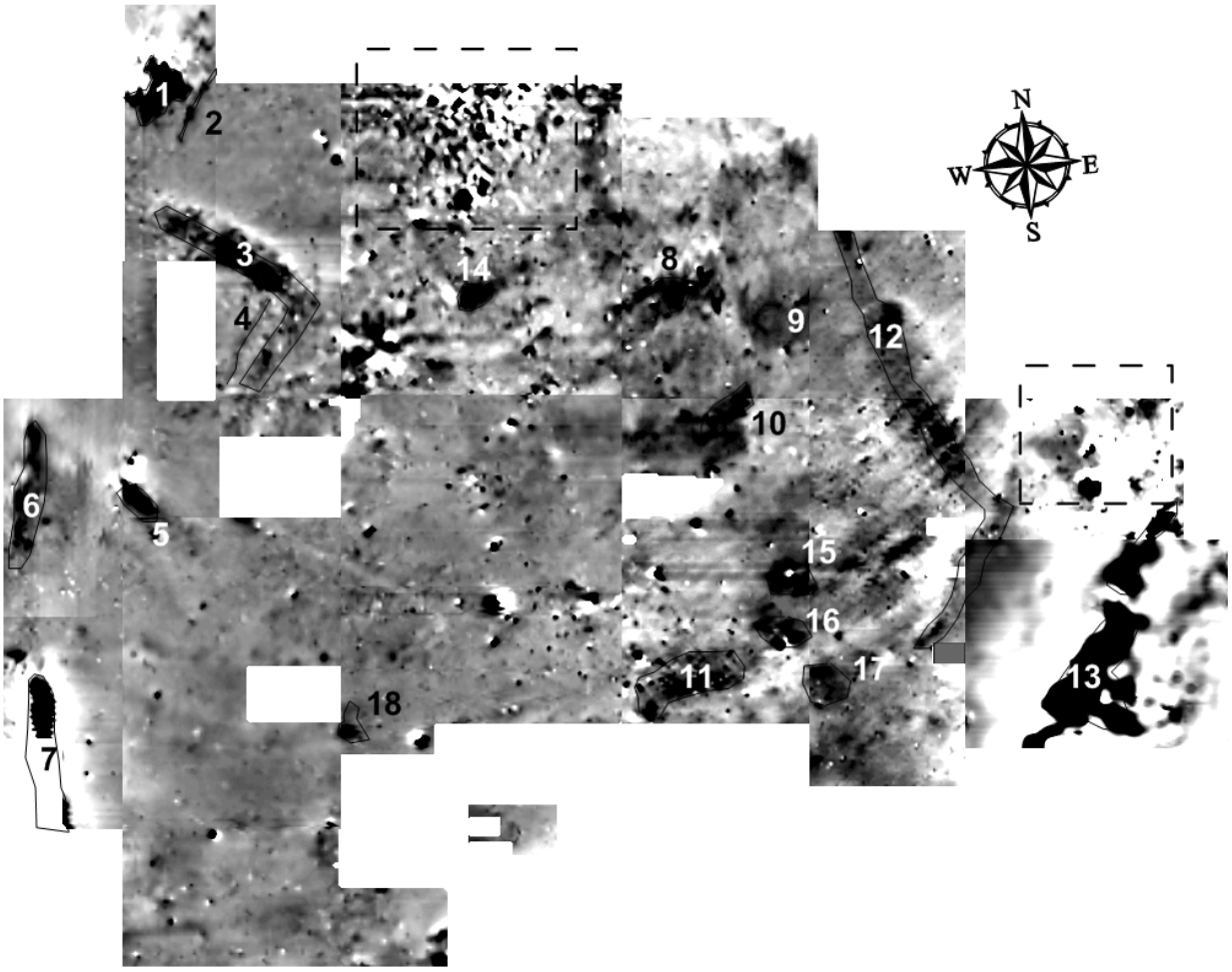



**Рис. 2. Інтерпретаційна схема ймовірного розташування археологічних об'єктів на підставі карти магнітних аномалій:**
1 – залишки вежі; 2,4 –фрагменти водогону; 3,6,7,12,13 – фрагменти стін; 5, 8-11, 14-18 – залишки давніх споруд.
Штриховими прямокутниками позначені скупчення техногенних аномалій.

Найбільш інтенсивні позитивні аномалії (до 1000 нТл) зі спряженими негативними частинами з північної сторони, імовірно пов'язані із стінами фортеці. Це аномалії 6, 7 і 13.

Фортифікаційні укріплення можуть створювати і такі аномалії як 3 і 12. Причому стіна 12 сильно пошкоджена плантажної оранкою, що добре видно на магнітній карті. Джерелами цих аномалії також можуть виявитись залишки великих будівель.

На західному краю ділянки зйомки, біля аномалій 6 і 7 в серпні 2010 р. був розбитий розкоп площею близько 25 кв. м. Даний розкоп був закладений на крутому схилі, в місці сходження верхньої та нижньої площадок городища, з метою виявлення західної стіни і межі культурного шару. Вибір місця розкопу був обумовлений тим, що тут спостерігалися виходи каменю. В розкопі великі камені розташовувалися хаотично і, швидше за все, були фрагментами змитих з пагорба обвалених стін городища. Отже, через руйнування частини стіни, утворився розрив у лінійній структурі аномалій 6-7.

Стародавні споруди всередині городища також можуть бути джерелами контрастних знакозмінних магнітних аномалій. Яскравими прикладами служать об'єкти 3 і 5. На користь їх археологічного походження свідчить північне розташування негативної частини аномалії. Менш потужними, меншими за розмірами, і гірше збереженими (більш зруйнованими), ймовірно, є споруди 8,10,11, 14-18. Цікавий об'єкт 9, який створює кільцеву позитивну аномалію правильної форми. Не виключено, що це можуть бути залишки поховальної або культової кромлехоподібної споруди доби пізньої бронзи.

Цілком ймовірно, що лінійна аномалії 2, що знаходиться в північно-східній частині городища, біля вежі 1; а також аномалія 4, можуть виявитися фрагментами древнього водогону.

**Магнітні властивості гірських порід і грунтів городища.** Для того, щоб визначити чому фортифікаційні споруди створюють аномалії різної інтенсивності, вивчалася польова магнітна сприйнятливість грунтів і валунів, з яких споруджені розкопані раніше північні й східні стіни Ешерського городища. Магнітна сприйнятливість (χ) показує концентрацію магнітних мінералів в гірській породі. Вимірювання виконані портативним капаметром ПІМВ (Геологорозвідка, РФ).

Грунт на городищі має сприйнятливість $\chi = 4 * 10^{-4}$ од. СІ. Обпалені грунтові шари мають червонуватий відтінок. Вони значно збагачені магнетиками, їх χ досягає $3 * 10^{-3}$ од. СІ.

В результаті вимірювань з'ясувалося, що гірські породи, використані при будівництві фортеці, можна умовно розділити на 2 групи: слабкомагнітні - сприйнятливість яких подібна до сприйнятливості необпаленого грунту, і сильномагнітні, χ яких може в сотні разів перевищувати χ грунту.

До першої групи відносяться вапняки ($1 ... 3 * 10^{-5}$ од. СІ), пісковики й алевроліти ($3 ... 5*10^{-4}$ од. СІ), діабази ($4 ... 15 * 10^{-4}$ од. СІ).

До другої групи належать пегматоїдні граніти (1,5 * $10^{-5}$ од. СІ), а також обпалені діабази, які в результаті пожежі набули магнітної сприйнятливості до 3 * $10^{-2}$ од. СІ.

За візуальною оцінкою близько 40% всього каміння в основі фортечних стін становлять саме діабази.

**Обговорення результатів.** Для того, щоб вірно інтерпретувати особливості магнітної структури Ешерського городища, з'ясуємо, що відбувається зі спорудами при пожежі і як змінюється створюване ними магнітне поле.

Висока магнітна сприйнятливість обпалених гірських порід порівняно з необпаленими свідчить про перетворення мінералів заліза. Під впливом високої температури утворилися феромагнетики – магнетит і магеміт. При збільшенні χ зростає індуктивна намагніченість породи ( $\vec{J}_i$ ):

$$\vec{J}_i = \chi \vec{H} ,$$

де $\vec{H}$ – напруженість магнітного поля, яка прямо пропорційна його індукції.

Будь-яке намагнічене тіло, до складу якого входять феромагнетики, може здобувати як індуктивну, так і залишкову намагніченість $\vec{J}_r$ . Сумарна намагніченість тіла визначається як векторна сума намагніченостей того й іншого походження:

$$\vec{J} = \vec{J}_i + \vec{J}_r .$$

У вогні порода додатково намагнічується. Процес намагнічування йде тим легше, чим вища температура, і навіть в слабкому магнітному полі виникає велика намагніченість, яка закріплюється при охолодженні речовини. Така намагніченість називається термозалишковою.

Отже, під час пожежі породи фортечних стін набули високої термозалишкової намагніченість (найсильнішої з усіх видів залишкової намагніченості), орієнтованої за напрямком магнітного поля. Завдяки цьому, фортечні споруди нині є джерелами значних збурень магнітного поля. Вони утворюють сильні знакозмінні магнітні аномалії. З північного боку від фортечних споруд, обпалених in situ, формується потужна негативна аномалія.

На цій підставі ґрунтується висновок, що вежа 1, а також стіни 6,7,13 побували в потужній пожежі. Пожежа охопила все городище [2], отже можна припустити, що джерела знакозмінних аномалій, споруди 5 і 3, також постраждали від вогню.

Фортечна стіна, яка не горіла, повинна створювати помірну позитивну аномалію за рахунок сумарної індуктивної намагніченості окремих блоків. Кожен камінь у споруді має свій напрямок вектора залишкової намагніченості і в мурі безліч різноспрямованих векторів взаємно компенсуються. Тож, можна припустити, що стіна 12 не горіла, або обпечена не так сильно, як стіни 6,7,13 і вежа 1.

***Висновки.*** Проведені магнітні дослідження дозволили відновити планування Ешерського городища і виділити окремі споруди в його внутрішньої частини. Фортечні стіни формують потужні магнітні аномалії завдяки тому, що складені, в основному, діабазами і сильно обпалені у пожежі.

Для більш точної інтерпретації магнітних даних необхідна перевірка виділених аномалій. Водночас, отримані результати вже зараз дозволяють організувати планомірне дослідження городища з наступною консервацією кам'яних стін і підготувати цей важливий об'єкт історичної спадщини Абхазії і Східного Причорномор'я в цілому до музейного показу.

**Список використаних джерел:**

1. Кошелев И. Н. Магнітна розвідка археологічних пам`яток/ И. Н. Кошелев. – К., 2004. – 337 с.

2.Шамба Г.К. Эшерское городище.Основные результаты археологических раскопок 1968, 1970-77 гг../ Г.К. Шамба .- Изд-во "Мецниереба", 1980. - 68 стр.

3.Becker, H. and Fassbinder J.W.E., 1999. Magnetometry of a Scythian settlement in Siberia near Cicah in the Baraba Steppe 1999. In "3rd International Conference on Archaeological Prospection", pp. 168-172.

4.Garrison, E., 2001. Physics and Archaeology. *Physics Today,* 54: 32-36.

5. Seeing the unseen. Geophysics and Landscape Archaeology /Eds. S. Campana, S. Piro/Institute of Technologies Applied, 2009 Taylor & Francis Group, London, UK, 330 p.

6. Смекалова Т.Н. Дистанционные и геофизические исследования поселений античной эпохи в северо-западном Крыму / Т.Н.Смекалова – Симферополь: Изд-во "Доля", 2011. – 296 с.

7. Смекалов С.Л. Магнитная разведка на античных памятниках Крыма и Тамани в 2009 г. / С.Л. Смекалов. - Археология и геоинформатика. Вып.6. – М.: ИА РАН, 2010 – ISBN 978-5-94375-097-7. (электронное издание).

**Надійшла до редколегії 11.02.13**

**К. Бондар, канд. геол. наук**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**
**В. Ерлих, д-р ист. наук**
**Государственный музей искусств народов Востока, Москва, Россия**
**И. Виршило канд. геол. наук, Д. Кравченко, канд. геол. наук**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ЭШЕРСКОГО ГОРОДИЩА АНТИЧНОЙ ЭПОХИ ПО ДАННЫМ ВЫСОКОТОЧНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ

***В статье обсуждаются результаты высокоточных магнитных измерений на Эшерском городище - уникальном фортификационном сооружении античной эпохи. В результате археологической интерпретации геофизических аномалий установлены особенности планирования городища, обнаружены отдельные объекты достопримечательностей.***

**K. Bondar, Cand. Sci. (Geol.)**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**
**V. Erlikh, Dr. Sci. (Hist.),**
**The State Museum of Oriental Art, Moscow, Russia**
**I. Virshylo, Cand. Sci. (Geol.), D. Kravchenko, Cand. Sci. (Geol.)**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## SPACE STRUCTURE OF ANTIQUE ESHERA SETTLEMENT FROM HIGH-PRESICION MAGNETIC PROSPECTING

***The paper discusses the results of high-precision magnetic measurements on Eshera settlement - the unique fortification structure of ancient times. Peculiarities of the settlement plan and separate buildings were discovered, from archaeological interpretation of geophysical anomalies.***

УДК 550 (093)

М. Решетник, наук. співроб.,
Національний науково-природничий музей НАН України, Київ

# МАЛОГЛИБИННА МАГНІТОМЕТРІЯ У ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ГЕОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ДОКЕМБРІЙСЬКОГО ФУНДАМЕНТУ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії, канд. геол. наук О.І. Меньшовим)*

***Обгрунтовано необхідність застосування комплексу детальних магнітометричних робіт для обстеження відслонених частин докембрійського фундаменту. Запропоновано застосувати нову методологію – малоглибинної магнітометрії, суть якої в поєднанні детальності, комплексності та інноваційної оновлюваності досліджень. Для вивчення відслонень докембрію розроблено метод магнітного сканування, для аналізу отриманих даних запропоновано порівняльний магнітний аналіз. Їх впровадження, продемонстроване на прикладі відслонень вздовж р. Південний Буг у Гайворонському районі, дозволило доповнити та уточнити геологічну карту докембрійського фундаменту.***

**Вступ.** Стрімкий науково-технічний прогрес останніх десятиріч змінив методологічну основу геофізики. Основним методологічним принципом геофізики стає системний підхід як під час виконання геофізичних досліджень (комплексування методів), так і під час інтерпретації одержаних результатів (у системі з даними попередніх досліджень) [6].

Ознакою геологічного сьогодення є постійний бурхливий розвиток техніки, наприклад, сучасні магнітометри і каппаметри GSM-19, POS2, KT-10 [9] мають надвисоку чутливість, багатофункціональність, оснащеність GPS-навігаторами, рідкокристалічний дисплеями і т.ін. Це дозволяє швидко, економно, колективом у кілька чоловік отримувати високодетальні та високоточні дані і обробляти результати безпосередньо під час польових зйомок, створювати комплексні бази даних, багатопрофільні об'єкти ГІС (геоінформаційних систем) та ін. Все це є наслідком стану неперервного оновлення технічних засобів, інженерних і комп'ютерних технологій. На нашу думку, склався третій принцип нової методології геофізики, так званий "принцип оновлення". Цей принцип вимагає постійного осучаснення технічних, методичних засобів та методології геофізики.

Впровадження "принципу оновлення" нової методології геофізики у магнітометрію дає можливість використовувати її в тих напрямках, де раніше вона не застосовувалась. Стає можливим швидко і на великих площах виконувати детальну зйомку магнітного поля, таким чином використовувати її не лише для дорозвідки чи на стадії експлуатації родовищ, а і для цілей геологічного картування.

У польовій наземній магнітометрії нові методологічні принципи геофізики ще не ввійшли у звичну практику. Польові геологічні і геофізичні роботи, польові магнітометричні роботи і лабораторні дослідження часто виконуються відокремлено і сприймаються як окремі операції, результати яких потім штучно поєднуються. Комплексність спостережень і аналізів у наземній магнітометрії, збереження просторового зв'язку точок спостереження магнітного поля і місць розташування порід, для яких визначаються петрофізичні властивості, набувають сьогодні особливого значення. Тому в останнє десятиліття виконується програма з довивчення раніше закартованих площ 1:200000 ГДП-200, для створення карт нового покоління потрібні нові детальні і комплексні дані [4]. Особливо потрібні системність і деталізація при вивченні складної структури докембрійського фундаменту, наприклад, у роботі вивчались Гайворонський і Гайсинський блоки Українського щита (УЩ). Тут докембрійський фундамент характеризується "битим" знакозмінним аномальним магнітним полем. Строкатість магнітного поля відображає високу диференціацію за магнітними властивостями гірських порід, їх петрографічний склад практично не має кореляції з розподілом магнітних властивостей за існуючими середньомасштабними картами аномального магнітного поля $\Delta T$.

Пошук реального зв'язку аномального магнітного поля з геологічною будовою докембрійського фундаменту сьогодні ускладнюється низкою причин. Над відслоненнями по берегах річок практично повсюдно не виконувалися магнітні спостереження ("білі плями" на картах $\Delta T$, взагалі відсутні дані польової зйомки магнітної сприйнятливості, каппаметрії). Навіть у місцях, де профілі вимірів проходять вздовж відслонень, мережа спостережень 250×50 м порівняно з розмірами закартованих тіл дуже розріджена. Сьогодні виникає проблема покриття детальною первісною магнітною зйомкою відслонень і інших територій по берегах річок. Важливою проблемою сьогодення є стан існуючої бази даних внаслідок низки причин. Втрачено частину документації і "кам'яного матеріалу" через руйнацію керносховищ і бібліотек у геологічних підприємствах. Ускладненоий або неможливий аналіз зв'язку координат місця відбору зразків з даними зйомки магнітного поля через їх шифрування (карти фізичних полів наводяться у звітах без гідромереж, тоді як відбір зразків здебільшого виконаний за окомірними прив'язками геологів за місцевими ознаками, і т.ін.). Слід зауважити також, що відсутність фінансування геологічної галузі не дозволяє виконувати нове буріння і тому сучасні геологічні дані можуть отримуватися в основному на відслоненнях.

*Малоглибинна магнітометрія.* Зв'язок морфології магнітного поля з реальною геологічною структурою порід кристалічного фундаменту природно вивчати на відслоненнях. А відтак це стає задачею малоглибинної геофізики. За визначенням А.К. Манштейна [2], малоглибинна геофізика це одне з нових науково-практичних напрямів геофізики, що займається вивченням приповерхневої частини земної кори (від одиниць до десятків метрів). Вона реалізується в основному у напрямках забезпечення інженерно-гідрологічних, екологічних, агрономічних робіт та при археологічних дослідженнях. Малоглибинна магнітометрія (МГМ) розширює діапазон застосування малоглибинної геофізики і може бути задіяна для вивчення геологічного структурування докембрійського фундаменту під час геологічного картування.

Методи, що за змістом відповідають МГМ, уже використовуються в археології, педомагнітних дослідженнях, інженерній геології. Наземні магнітні зйомки, наприклад, в археології ведуться сучасними каппаметрами і магнітометрами майже в неперервному режимі (2-5 вим/с в русі). У роботі [3] показано, що нестача детальності веде до зниження інформативності одержаних даних (рис. 1).

У роботі [3] (рис. 1) наочно показано, що неперервна зйомка значно підвищує інформативність магнітного поля порівняно зі зйомкою масштабу 1:5000. Вона дозволяє отримати додаткову інформацію і точніше виявляти геологічні структури. Якщо 50-ти метровий крок мережі зйомки зсунути на 25 м, то така зміна суттєво вплине на інтерпретацію результатів великомасштабної зйомки (рис. 1). Сказане обґрунтовує актуальність розбудови МГМ як підрозділу малоглибинної геофізики на

© Решетник М., 2013

базі методологічних принципів комплексування методів, деталізації, потокового оновлення.

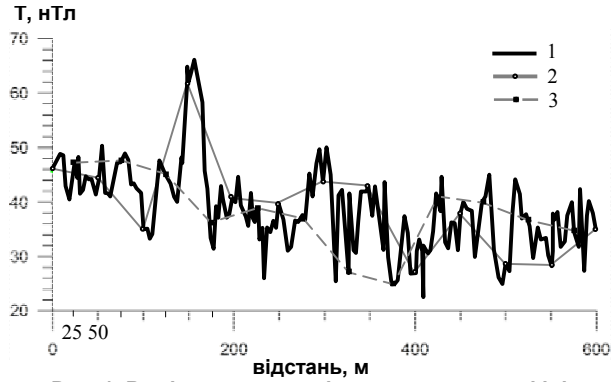



**Рис. 1. Вимірювання магнітного поля на профілі:**
1 – вимірювання в русі, 2 – вимірювання на пікеті,
3 – вимірювання на пікетах, що зсунуті на 25 м, за [5]

Роботи з детального комплексного магнітометричного і геологічного вивчення відслонень гірських порід докембрію були розпочаті у планових дослідженнях науковцями геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (роботи А.В. Сухоради, М.І. Гузія, С.А. Попова, М.М. Решетник та ін.). У цих дослідженнях визріла необхідність введення методології малоглибинної магнітометрії та розробки методів МГМ, які були б пристосовані до вивчення структури докембрійських утворень, що близько підходять до денної поверхні або відслонюються.

**Метод МС і ПМА.** За методологією МГМ нижче побудовано метод магнітного сканування (метод МС). Термін "магнітне сканування" запозичений з англомовної літератури [8] і означає послідовне зчитування магнітної інформації (магнітного поля T і магнітної сприйнятливості □) шляхом ультрадетальних зйомок. Загальний опис методу МС наведений у роботі [5]. До новацій методу МС відноситься:

а) Використання міжметодної і внутрішньометодної комплексності і системності як при виконанні польових та лабораторних робіт, так і при геологічній інтерпретації одержаних даних;

б) Використання системи GPS і створення бази даних згідно з вимогами ГІС;

в) Введення в практику польових робіт сканування $\chi$ у комплексі з T на відслоненнях (відкритих або з примітивним покривом);

г) Деталізація польових магнітних зйомок здійснюється аж до неперервності зйомок (сканування).

Поєднання зйомок T і $\chi$ у єдиному комплексі підвищує інформативність МГМ оскільки:

- Оцифровані графіки і карти $\chi$ дозволяють побачити структуру розподілу магнітних мінералів та областей їх високої концентрації у приповерхневому шарі на відслоненнях незалежно від фізіографії порід;
- Польова зйомка $\chi$ (каппаметрія) у комплексі з різновисотною зйомкою T дає можливість диференціювати породи за характером зміни $\chi$ і T, відокремлювати глибинні і приповерхневі джерела аномального магнітного поля;
- За значеннями $\chi$ можливий простий обрахунок індуктивної намагніченості $\mathbf{I}_i$, що необхідно для швидкої оцінки аномального магнітного поля;
- Результати маршрутної зйомки $\chi$ і T є підґрунтям для обрання місць площадних обстежень та свідомого відбору зразків на магнітометричні обстеження. Лабораторні дослідження відібраних таким чином зразків дозволяють поєднати у цілісний комплекс вивчення магнітних властивостей породи на різних рівнях (геологічного тіла, відслонення, зразка, мінералу) та розкрити зв'язок польової зйомки T і $\chi$ з речовинним складом і мікроструктурними особливостями породи.

Магнітні мінерали в даному обсязі геологічного середовища формують джерело, яке вирізняє (маркує) цей обсяг через надані йому (цим джерелом) магнітні властивості. Надалі таку частину геологічного середовища, що вирізняється за специфікою своїх магнітних властивостей, називатимемо магнітним маркером ММ (цей термін без визначення введений у роботі [7]). Таким чином, ММ визначається розподілом магнітних мінералів та особливостями магнітних властивостей гірської породи, що безпосередньо пов'язані із вміщуючим їх геологічним середовищем.

Під час обробки даних магнітного сканування необхідно враховувати, що можуть існувати певні розбіжності між результатами каппаметрії та лабораторними вимірюваннями $\chi$. Вони природно виникають за умов неоднорідного розподілу магнітних мінералів, про що свідчить полімодальність розподілу $\chi$.

Крива ультрадетальної зйомки T відображає як глибинні, так і приповерхневі магнітні маркери (ММ). При деталізації магнітної зйомки приповерхневі джерела, на відміну від глибинних джерел, породжують "зубчасту" будову кривої T, що характеризується підвищеною частотою коливань $T_{max}$, $T_{min}$ і високим градієнтом. Внаслідок безпосередньої близькості скануючого магнітометра до приповерхневих джерел магнітного поля, "сплеск" неоднорідності магнітних властивостей середовища по маршруту зйомки T провокує відповідний "сплеск" у вигляді зубця на кривій T. При неоднорідному розподілі магнітних властивостей при достатній деталізації зйомки T виникає адекватна цьому розподілу "зубчаста" форма кривої T. Вона характеризується частою зміною max та min, великими градієнтами, перебігом амплітуд $\Delta T=T_{max}-T_{min}$.

У випадку неоднорідного приповерхневого магнітного маркера ($ММ_{пр}$) "зубчастий" вигляд кривої T створюється диференційованістю магнітних властивостей $ММ_{пр.}$ з різних причин, наприклад:

- диференційований розподіл магнітних мінералів у кристалічних породах. Він добре діагностується за допомогою площадної деталізаційної зйомки $\chi$,
- різна величина та хаотичний характер напрямку вектора залишкової намагніченості **In**.

Ці причини можуть діяти разом, підсилюючи або послаблюючи одна одну.

Зубчасту криву T можна представити сумою двох складових: $T=T_{ср}+T_{пр}$, де осереднена крива $T_{ср}$ відображає дію глибинних ММ та однорідних приповерхневих джерел. Саме для згладжених, плавних графіків T розроблені і працюють стандартні алгоритми і прийоми інтерпретації аномалій магнітного поля. В роботі пропонується спрощена побудова $T_{ср}$ по середніх точках сторін зубців між $T_{max}$ і $T_{min}$ (рис. 2).

**Порівняльний магнітний аналіз.** Нові можливості методу магнітного сканування породжують нові засоби, прийоми обробки та структурно-геологічної інтерпретації магнітних властивостей. Зубчаста складова $T_{пр}$ вказується на кривій T зубчастим коливанням навколо графіка $T_{ср}$ або графіком $T_{пр}=T-T_{ср}$, що зносить це коливання на горизонтальну вісь. Зубчаста деталізаційна крива T характерна для високометаморфізованих порід докембрію і може стати засобом структурно-геологічного вивчення приповерхневого шару докембрійського фундаменту. Зубчастість кривої T схематично пов'язується з приповерхневою частиною її профільного геологічного розрізу. Але насправді крива $T_{пр}$ визначається певним геологічним околом навколо цього розрізу. Цей окіл назвемо профільним приповерхневим магнітним маркером (профільний $ММ_{пр}$). Крива $T_{пр}$ при-

родно пов'язана як із структуруванням магнітних мінералів, так і з вміщуючим їх геологічним середовищем даного профільного $ММ_{пр}$. Цей зв'язок дозволяє використати зубчасту криву Т та її складову $Т_{пр}$ для аналізу геологічного середовища. На основі вивчення детальник кривих Т нами побудовано дієвий методичний засіб структурування докембрійського фундаменту – порівняльний магнітний аналіз (ПМА).

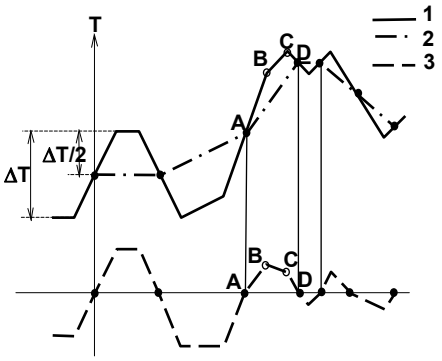



**Рис. 2. Зміна форм зубців при переході від Т до $Т_{пр}$:**
1 – крива Т; 2 – усереднена крива $Т_{ср}$; 3 – крива $Т_{пр}=Т-Т_{ср}$

В історичному процесі творення та переробки гірських порід докембрію магнітні мінерали та вміщуючі їх породи утворювалися та перетворювалися неповторним чином. Здається очевидним, що детальна крива Т при достатній протяжності маршруту зйомки і достатньо розвиненій зубчастості здатна відобразити індивідуальну неповторність магнітної і геологічної структури свого профільного $ММ_{пр}$. Відомо, що будь-який об'єкт реального світу є індивідуальним і кожна його властивість має в деталях свої неповторні індивідуальні особливості, які вирізняються при детальному дослідженні. В багатьох випадках виявляється, що при достатньому рівні детальності навіть одна характерна властивість здатна створити "портрет" свого об'єкта настільки індивідуалізований, що за ним стає можливим ідентифікувати цей об'єкт. Таким ідентифікатором може стати деталізована крива, що виражає характерну ознаку об'єкта. Якщо крива Т відображає цю неповторність, то вона стає ідентифікатором свого профільного $ММ_{пр}$. Звідси випливає, що схожість кривих Т пов'язана зі схожістю відповідної геологічної ділянки. В роботі приймається істинним положення: достатньо протяжна та виразно зубчаста деталізаційна крива Т може бути ідентифікатором свого профільного $ММ_{пр}$. Істинність цього твердження підтверджується конкретними прикладами структурно-геологічних досліджень (див. нижче). Зі сказаного випливає висновок, який становить зміст евристичного методичного засобу – порівняльного магнітного аналізу (ПМА): *подібним зубчастим деталізаційним кривим Т відповідають подібні профільні $ММ_{пр}$*. Це спрощений висновок з експериментального досвіду схожих ситуацій при структурно-геологічних дослідженнях. У ПМА розглядаються достатньо протяжні і виразно зубчасті деталізаційні криві $Т_1$ і $Т_2$ та відповідні ним профільні маркери $ММпр_1$ і $ММпр_2$. Стверджується: чим більша подібність кривих $Т_1$ і $Т_2$, тим вища ймовірність подібності профільних маркерів $ММ_{пр1}$ і $ММ_{пр2}$ за їх геологічною структурою. Очевидною є подібність кривих Т для паралельно рознесених на малу відстань *l* маршрутів зйомки Т, оскільки при малому *l* крива Т та її профільний маркер не встигають сильно змінитися. Однак перевагою деталізаційної зйомки Т є те, що вона дозволяє виділити певне геологічне утворення з посеред інших за його індивідуальними рисами, тобто ідентифікувати його. Якщо деталізаційна зубчаста крива Т ідентифікує свій профільний маркер, то виникає можливість дослідити конкретно його простягання шляхом рознесення маршрутів зйомки Т або послідовним підбором маршрутів, на яких криві Т лишаються подібними. Можна знаходити виходи на поверхню U- та S-подібної складки за подібністю детальних "перерізів" аномалій магнітного поля (кривих Т вхрест простягання).

У зв'язку з використанням подібності детальних кривих Т у роботі застосовувався "інтуїтивно-візуальний" спосіб порівняння двох кривих $Т_1$, $Т_2$. Для перевірки подібності кривих $Т_1$ і $Т_2$ у цій роботі запропонована така технологія: 1) виділити значущі деталі обох кривих; 2) побудувати графіки Т в однаковому форматі і суміstити їх, максимально зближуючи подібні елементи (зубці, Tmax, Tmin) та ін.; 3) оцінити візуально подібність індивідуальних властивостей, уявляючи поступовий перехід від однієї кривої до іншої; 4) оцінити загальні властивості – протяжність, максимальну амплітуду, загальний тренд і ін.; 5 ) оцінити візуальну подібність кривих $Т_{пр}=Т-Т_{ср}$. Порівняння індивідуальних особливостей $Т_1$ і $Т_2$ зручно виконувати накладанням одного графіку на другий при їх максимальному зближенні і порівнювати деталі форми і площу між контурами кривих. Частково на певних проміжках крива $Т_2$ відносно $Т_1$ буде видозмінена, зсунута, з невеличкими зазубринками, але в цілому має бути подібна. Якщо при цьому одна з двох подібних ділянок кривої Т буде нижча і більш розмита, то відповідний її ММ може вважатися більш заглибленим (як це видно на рис. 3).

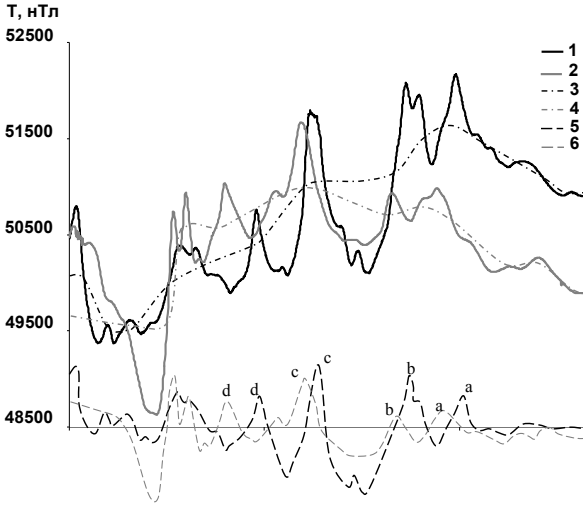



**Рис. 3. Подібність детальних кривих Т, знятих по профілях на проміжках *аб* та *вг* (див. рис. 4);**
1 – крива $Т_1$ на проміжку *вг*, 2 – крива $Т_2$ на проміжку *аб*, 3 – $Т_{ср}$ для $Т_1$, 4 – $Т_{ср}$ для $Т_2$, 5 – $Т_{пр}$ для $Т_1$, $Т_{пр}$ для $Т_2$

**Результати досліджень.** Методами МГМ авторами вивчалися частини Гайворонського і Гайсинського блоків УЩ, репрезентовані відслоненнями вздовж р. Південний Буг. Обраним ділянкам притаманна відсутність точок спостереження магнітного поля. Це, зауважимо ще раз, не дозволяє безпосередньо пов'язати поведінку магнітного поля, відображену на існуючих картах, зі структурно-геологічними особливостями відслоненої частини кристалічного фундаменту. До сказаного слід додати ще звичну ситуацію, коли відслонення гірських порід вивчаються геологічними методами, магнітні властивості вивчаються за зразками, а такі могутні засоби, як зйомка магнітного поля та зйомка $\chi$ на відслоненнях (каппаметрія), залишаються незадіяними. Детальне картування магнітних характеристик для обраних територій важливе тому, що дозволяє встановлювати місце положення реальних джерел аномалій магнітного поля і

вивчати їх у природному заляганні. Це, на сучасному етапі розвитку геологічного картування, є одним із завдань, поставлених перед ГДП-200 [4].

Для демонстрування можливостей методичних засобів МГМ покажемо результати досліджень, проведених по берегах р. Південний Буг між сс. Хащувате, Казавчин, Сальково. Сучасна геофізика вважає, що аномалії магнітного поля викликані ксенолітами гнейсів і кристалосланців (рис. 4). Дослідження геологів Львівського національного університету імені Івана Франка під керівництвом Е.М. Лазько (А.А. Сіворонов, В.П. Кирилюк) у 70-і роки минулого століття описали існування прошарків магнетитвміщуючих порід, що є маркерами ритмів.

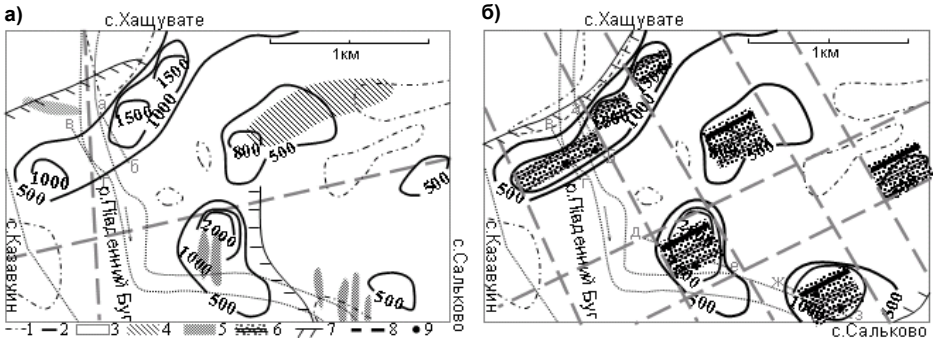



**Рис. 4. Фрагмент геологічної карти (за Р.Н. Довганем [1]) та карти ΔT:**
а) до, б) після проведення МС. 1, 2 – ізолінії нульового та позитивного ΔT в нТл, 3 – ендербіти, 4 – кристалосланці, 5 – гнейси, 6 – залізисті породи, 7 – границі товщ із залізистими породами (за Е.М. Лазько), 8 – розломи, що проведені за геофізичними данними, 9 – відслонення з високим значенням $\chi$

Саме завдяки їх присутності виділяють залізорудогнейсову формацію Побузького комплексу. Хоча ці породи, котрі будемо надалі умовно називати залізисті (варіюють за складом від магнетит-кварцового до магнетит-саліт-гіперстен-гранат-кварцового), є знаковими, однак вони залягають у прошарках незначної потужності і тому на існуючих картах масштабу 1:50000 відсутні ("провалюються у мережу" карти). Окрім того, існують проблеми неузгодженості у польових описах і прив'язках, котрі можна продемонструвати на прикладі відслонень у межах проміжків *аб* та *вг*, зображених на рис. 4б. Тут у польових щоденниках описано різні магнетитвміщуючі породи, на правому березі магнетитові кристалосланці, на лівому – залізисті кварцити (А.А. Сивороновим та Л.П. Барановою (під час картування у 80-і рр минулого століття) описано відслонення на лівому березі, В.П. Кирилюком – відслонення на правому березі). На карті фактматеріалів відслонення, що за описом у польових щоденниках відповідають вивченим методом МС відслоненням, вказані осторонь, так, що їх місце розташування не співпадає з місцем розташування аномалій Т. Все це раніше не дозволяло прив'язати аномалії магнітного поля до задокументованих у польових щоденниках залізистих порід.

На ділянці між сс. Хащувате та Сальково була виконана маршрутна каппаметрія, що визначила місця "сплеску" значень $\chi$, позначених на рис. 4 цяточками. Зйомка Т дозволила виявити місця "сплесків" магнітного поля над відслоненнями, що доповнило існуючу карту аномального магнітного поля, адже раніше тут по берегах р. Південний Буг точок зйомки Т не було (зйомка виконана сумісно з Р.В. Хоменком). Виявлений маршрутною зйомкою Т і $\chi$ факт, що над відслоненнями з високою $\chi$ виникають високоамплітудні позитивні аномалії Т, був якісно доведений площадною зйомкою на відслоненнях у межах проміжків *аб* та *вг*. Виконана площадна зйомка показала значну відповідність контурів мікромагнітних аномалії Т контурам аномалій $\chi$. Виявилося, що градієнт Т по латералі над високомагнітною зоною сягає 800 нТл/м. Після виконання зйомки Т на трьох висотах 0 м, 1 м, 1,5 м, було виявлено малу зміну Т по вертикалі (невеликий вертикальний градієнт). Слабка реакція на висоту зйомки Т свідчить про значну вертикальну потужність джерела. Поєднання цих фактів приводить до висновку, що виявлені на відслоненнях властивості можуть бути однорідно подовжені вглиб. Фізичні властивості залізистих порід і оточуючого середовища, вивчені на відібраних тут зразках, значно відрізняються: $\chi \cdot 10^{-3}$ од. CI>100$\chi \cdot 10^{-3}$ од. CI, In>10 А/м, 1,5<фактор Кениксбергера<6,5 одиниць. Маршрутна зйомка Т показала візуальну подібність фрагментів кривої Т на проміжках *аб* та *вг* (рис. 4).

Звідси (за ПМА) випливає існування суцільного високомагнітного тіла, котре перетинає русло і породжує єдину високоамплітудну аномалію магнітного поля (рис. 4). Доведемо це: на рис. 3 демонструється подібність кривих Т і безпосередньо (візуальна подібність кривих $T_1$ і $T_2$), і через $T_{пр}=T-T_{ср}$ (криві $T_{пр1}$, $T_{пр2}$). За поведінкою $T_{ср}$ можна бачити також картину заглиблення подібних магнітних маркерів один відносно одного. Наприклад, видно, що частина ММ на проміжку від літери *а* до *б* заглиблена на лівому березі (більше, ніж відповідна частина ММ на правому березі). На обох відслоненнях магнітні маркери мають неоднорідну структуру, магнітний матеріал розподілений нерівномірно і високомагнітні породи на поверхні відслонення виділяються у формі смуг і просмужків, інколи розбудинованих. Магнітні аномалії $\chi$ мають здебільшого чітку межу переходу в оточуюче низькомагнітне середовище. В цілому, за ПМА випливає існування суцільного високомагнітного тіла, котре перетинає русло р. Південний Буг. Воно частково відслонюється на лівому та правому берегах і породжує єдину високоамплітудну аномалію Т (рис. 4). Цей висновок за ПМА підтверджується перевіркою складу порід.

Мінералогічні дослідження (виконані Г.Г. Павловим , Ю.Л. Гасановим, співробітники геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка) зразків, відібраних на відслоненнях у межах проміжків *аб* та *вг* показали, що і тут, і там залягають однотипні гранат-кварц-магнетитові породи (до 50 % гранату, 30-40 % кварцу і до 10 % магнетиту). Породи, навколо ММ, майже всі містять понад 40 % кварцу, плагіоклазу 25-40 %, буває присутнім ортопіроксен до 20 %. У деяких зразках добре діагностується лінійна орієнтація зерен як кварцу, так і магнетиту. За термомагнітним аналізом і рудною мікроскопією встановлено, що основним магнітним мінералом є магнетит. Наведені дані доводять, що дійсно існує єдиний ММ, який переходить з одного берега на інший і породжує єдину протяжну аномалію Т.

Звичайно, існують і деякі відмінності (несуттєві для даного висновку) між породами, що складають ММ та відслонюються на протилежних берегах р. Південний Буг у межах проміжків *аб* та *вг*. Наприклад, для зразків з лівого берега чітко діагностується термомагнітним аналізом присутність піротину з температурою Кюрі Tq=300°C. Піротин часто зустрічається в зернах дрібної ізометричної форми або в окислених зернах середнього розміру і кутастої форми.

Площадна зйомка Т підтвердила той факт, що аномалії магнітного поля тягнуться за межі відслонень. Аномалії Т мають невеликі розміри (кілька метрів) і складаються у низку, що простягається на північ. Це узгоджується із поведінкою аномального магнітного поля на існуючих картах і може свідчити про розбудиновану форму залягання їх джерел.

Магнітне сканування вздовж лівого берега р. Південний Буг між сс. Казавчин та Сальково, де русло має субширотну орієнтацію, дало нові дані. Виявилось, що зафіксовані на карті ΔТ дві аномалії на проміжках *де* та *жз* за своєю "тонкою" будовою є подібними (рис. 5).

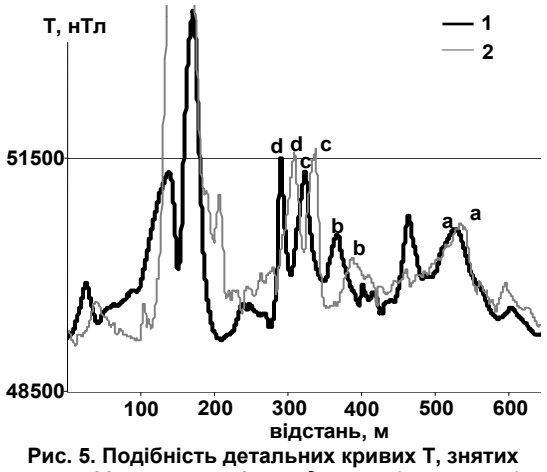



**Рис. 5. Подібність детальних кривих Т, знятих по профілях на проміжках *де* та *жз* (див. рис. 4):**
1 – крива $T_1$ на проміжку *жз*, 2 – крива $T_2$ на проміжку *де*

А.А. Сівороновим у польових описах тут вказано присутність перешарувань залізистих порід, точне місце їх відслонення було легко виявлене за результатами каппаметрії (де $\chi>40\cdot10^{-3}$ од.СІ). Оскільки ці проміжки кривої Т подібні, за ПМА можуть бути подібними профільні ММ. У північно-західному напрямку від проміжків *де* і *жз* простягаються ланцюжки аномалій, що очевидно створені продовженням профільних ММ. Вимірювання Т по паралельному профілю через 300 м від проміжку *де* підтвердило це припущення, оскільки криві Т виявились подібними. Висока подібність отриманих детальних кривих Т на проміжках *де* та *жз* дозоляє припустити, що вони створені двома частинами одного тіла. Оскільки на геологічній карті на вивченому проміжку зображений розлом північно-західного простягання, то очевидно, що дві частини одного тіла були у цьому напрямку зміщені один відносно одного.

**Висновки.** Започатковано введення малоглибинної магнітометрії (МГМ), яка базується на таких методологічних принципах, як детальність, системність, внутрішньо- та міжметодне комплексування і оновлюваність (модернізація) способів досліджень. На методологічних засадах МГМ розроблений інформативний метод магнітного сканування (метод МС). Запропонований порівняльний магнітний аналіз (ПМА), який базується на положенні: при достатній детальності зйомок подібним кривим Т відповідають подібні за структурою геологічні розрізи. На прикладах (досліджені ділянки УЩ) доведено, що методи МС та ПМА здатні значно підвищувати рівень структурно-геологічної інформативності магнітних властивостей гірських порід, знаходити і виправляти неузгодженості та неточності в існуючих картах магнітного поля і геологічних картах.

**Список використаних джерел**

1. *Довгань Р. Н.* Бандуровская палеовулканическая структура и связанные с ней перспективы алмазоносности / Р. Н. Довгань, В. А. Ентин, В. Н. Павлюк // Мінеральні ресурси України. – 2006. – № 10. – С. 22–28.

2. *Манштейн А. К.* Малоглубинная геофизика : пособие по спецкурсу / Манштейн А. К. – Новосибирск, 2002. – 136 с. – Режим доступу до книги : http://www.ggd.nsu.ru/geophys/Miniguide/POSOB/MaloglGF.pdf

3. *Муравьев Л. А.* Возможности высокочувствительных магнитометров POS при проведении геомагнитных схемок / Муравьев Л. А. // Уральский Геофизический вестник. – 2007. – N 10. – С. 23–26. – Режим доступу до статті : http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1178037

4. Організація та проведення геологічного довивчення раніше закартованих площ масштабу 1:200000, складання та підготовка до видання державної геологічної карти України масштабу 1:200000 / Інструкція. – К., 1999. – 296 с.

5. *Решетник М. М.* Новий спосіб підвищення структурно-геологічної інформативності магнітних властивостей метаморфізованих порід / Решетник М. М. // Наукові праці інституту фундаментальних досліджень. – 2009. – Вип. 15. – С. 47–53.

6. *Страхов В. Н.* Новая парадигма в теории линейных некорректных задач, адекватная потребностям геофизической практики. I. Общие положения / Страхов В. Н. // Геофизический журнал. – 2004. – Вип. 26. №1. – С. 36-41.

7. *Сухорада А. В.* Магнітні маркери структури кристалічного фундаменту Середнього Побужжя (на прикладі району Гайворон-Завалля) / А. В. Сухорада, М. М. Решетник, Р. В. Хоменко // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2008. – Вип. 44. – С. 17–20.

8. Товариство "Археологічні спостереження" [Електронний ресурс]: Режим доступу до сайту : http://www.archaeological-surveys.co.uk

9. *Eccles D.R.* Magnetic susceptibility measurements on kimberlite and sedimentary rocks in Alberta / D. R. Eccles, R. Sutton // Alberta Energy and Utilities Board, EUB/AGS Geo-Note. 2003. – P.109. – Режим доступу до книги : http://www.ags.gov.ab.ca/publications/GEO/PDF/GEO_2003_41.PDF.

**Надійшла до редколегії 21.12.12**

**М. Решетник, науч. сотруд.,**
**Национальный научно-природоведчиский музей НАН Украины, Киев**

## МАЛОГЛУБИННАЯ МАГНИТОМЕТРИЯ В ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДОКЕМБРИЙСКОГО ФУНДАМЕНТА

***В этой работе обоснована необходимость применения комплекса детальных магнитометрических работ для обследования обнаженных частей докембрийского фундамента. Предлагается применить новую методологию – малоглибинной магнитометрии, суть которой в сочетании детальности, комплексности и обновляемости исследований. Для изучения отложений докембрия разработан метод магнитного сканирования, для анализа полученных данных предложен сравнительный магнитный анализ. Их внедрение продемонстрировано на примере отложений вдоль реки Южный Буг в Гайворонском районе (Украина) позволило дополнить и уточнить геологическую карту докембрийского фундамента.***

**Reshetnyk M. Research Associate**
**The National Museum of Natural History at the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv**

## SMALL DEEP MAGNETOMETRIC ON FIELD INVESTIGATION OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF PRECAMBRIAN BASEMENT

***In this work the need for complex detailed magnetic survey work for part of the Precambrian basement outcrops. It is proposed to apply the new methodology – Small deep magnetometric, the essence of which is combined detail, complexity and innovation research. To study the outcrops of Precambrian magnetic scanning method developed for the analysis of the data suggested a comparative magnetic analysis. Their implementation demonstrated by outcrops along r. Southern Bug Haivoron region (Ukraine) allowed to amend and clarify the geological map of the Precambrian basement.***

# ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.042

О. Андрєєва, канд. геол. наук, М. Курило, канд. геол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

## ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ КЛАСИФІКАЦІЙ ЗАПАСІВ І РЕСУРСІВ ПРИ ОЦІНКАХ ВІТЧИЗНЯНИХ РОДОВИЩ БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Загнітком)*

***Проведено систематизацію і аналіз даних геологічного вивчення об'єктів вітчизняної МСБ бентонітових глин із використанням класифікацій за величиною запасів, за якісними і технологічними властивостями, за ступенем геологічного та техніко-економічного вивчення.***

**Постановка проблеми.** Бентонітові глини завдяки таким властивостям, як пластичність, здатність до набрякання, висока сорбційна активність, широко застосовуються у різних галузях промисловості. Всі об'єкти мінерально-сировинної бази (МСБ) бентонітових глин України характеризуються різним ступенем вивченості. Серед відомих на сьогодні понад 100 родовищ та проявів лише для 30 % визначені запаси та ресурси за промисловими категоріями А+В+$С_1$ і лише 9 родовищ включені до Державного балансу корисних копалин України [4]. Але видобуваються лише бентоніти Черкаського, Горбківського та Максимового родовищ. Потреби вітчизняної промисловості у бентонітових глинах майже повністю задовольняються власним видобутком, частково бентонітова сировина експортується до країн ближнього зарубіжжя, однак для технологічних процесів вітчизняних підприємств чорної металургії необхідна власна якісна мінеральна сировина, оскільки зараз лужні бентоніти імпортуються.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій та виділення невирішених раніше частин проблеми.** У літературі досить ґрунтовно висвітлено результати наукових досліджень з геології, мінералогії, фізико-хімічних особливостей бентонітових глин України [1, 2, 5, 6], але геолого-економічна характеристика родовищ зводиться лише до наведення техніко-економічних показників.

На даний час родовища, що включені до Держбалансу запасів корисних копалин України, – Григорівське, Горбківське, Ільницьке, Кудринське, Черкаське, Курцівське, Бережанське, Пижівське, Максимове [4], решта – мають ступінь вивчення прогнозних та перспективних ресурсів. Зважаючи на потреби вітчизняної промисловості у бентонітових глинах, які частково задовольняються власним видобутком, частково – імпортом, актуальною проблемою є визначення перспективності вітчизняних родовищ та рудопроявів бентоніту на основі сучасних підходів до економічної оцінки об'єктів надрокористування.

**Формулювання цілей статті.** Мінерально-сировинна база бентонітових глин України характеризується значною кількістю попередньо розвіданих запасів і перспективних ресурсів, які досліджувались у різні періоди відповідно до різних вимог щодо геологічного і техніко-економічного вивчення об'єктів. У результаті цього сформована інформаційна база потребує систематизації отриманих даних та їх оцінки за єдиними геолого-економічними критеріями.

Беручи до уваги вищезазначене, метою роботи є систематизація і аналіз даних геологічного вивчення об'єктів вітчизняної МСБ бентонітових глин із використанням таких класифікацій:

1. Класифікації родовищ корисних копалин за величиною запасів;
2. Класифікації корисних копалин за якісними і технологічними властивостями;
3. Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр за такими ознаками:
   a) за ступенем геологічного вивчення,
   b) за ступенем техніко-економічного вивчення,
   c) за промисловим значенням.

**Виклад основного матеріалу.** Вибірка об'єктів, для яких проведено класифікації за різними якісними і кількісними ознаками, включає в себе вітчизняні родовища та прояви бентонітових та бентонітоподібних глин з підрахованими запасами та оціненими ресурсами від категорії А+В+$С_1$ до категорії $Р_3$.

За величиною запасів родовища, балансові запаси яких враховані Державним балансом корисних копалин, представлені великими (понад 20000 тис т), середніми (20000-3000 тис т) та малими (менше 3000 тис т) за розміром родовищами, забалансові родовища характеризуються переважно середніми та малими за розмірами запасами (рис. 1, табл. 1).

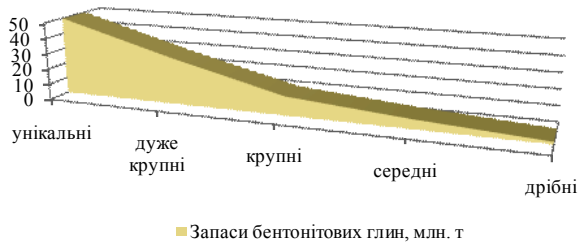



**Рис. 1. Градація родовищ бентонітових глин за величиною запасів**

*Таблиця 1*

**Класифікація вітчизняних родовищ та проявів бентоніту за величиною запасів**

| Крупні понад 20000 тис. т | Середні 3000-20000 тис. т | Малі до 3000 тис. т |
|---|---|---|
| **Черкаське, Ільницьке,** Сорищенське, Дроновське, Ільїчевське, Камиш-Бурунське, Олександровське | **Горбківське, Григорівське,** Городищенське, Надієвське, Нововодолажське, Підгорбське, Пісковське, Почаєвське, Стулепівське, Смиковецьке, Никифоровське, Лаловське, Онокське, Хижинське, Чабановське, Чернинське | **Курцівське, Кудринське, Бережанське, Пижівське, Максимове,** Киштинське, Осинівське, Линківське, Солоні маки, Золочевське, Великокопанське, Копанське, Новоселицьке, Раздоловський, Тячівське |

За мінеральним складом виділяють три типи бентонітових глин [4]. Перший тип – глини монтморилонітового складу. Глини цього типу поширені, в основному, в АР Крим (Курцівське, Кудринське родовища), Хмельницькій області (Пижівське родовище). Другий тип – глини бейделіт-монтморилонітового складу. Глини цього типу поши-

© Андрєєва О., Курило М., 2013

рені в Черкаській (Черкаське родовище) і в Тернопільській (Бережанське родовище) областях. Третій тип – монтморилоніт-бейделітового складу. Глини цього типу поширені в Хмельницькій, Тернопільській, Донецькій областях.

Мінеральні типи бентонітових глин за своїми технічними властивостями близькі між собою, але бентоніти першого типу мають більш високі відбілюючі властивості і використовуються для очищення олій, освітлення вин, соків. Бентоніти другого типу придатні для приготування формувальних сумішей у ливарному виробництві, при модифікації використовуються для виробництва окатишів залізорудних концентратів. Бентоніти третього типу придатні для виготовлення формувальних сумішей і бурових розчинів.

За складом обмінних катіонів бентоніти можна поділити на лужні, де головним компонентом обмінного комплексу є катіони натрію, та лужноземельні (кальцієві, кальціє-магнієві і магніє-кальцієві), де більше половини обмінних катіонів належить кальцію та магнію.

Лужні бентоніти характеризуються найвищою іонообмінною здатністю, здатністю збільшуватись у об'ємі, колоїдальністю, пластичністю та максимально можливою для глин зв'язуючою властивістю. Вони відносяться, в основному, до категорії високоякісної сировини, яка з успіхом використовується в багатьох галузях промисловості. В зв'язку зі специфікою їх утворення та переходу, який майже завжди спостерігається в приповерхневих зонах (зоні окислення), в лужноземельний різновид, промислові родовища лужних бентонітів, які доступні для розробки відкритим способом, зустрічаються дуже рідко. Лужноземельні бентоніти характеризуються меншою гідрофільністю та зв'язуючою властивістю. Вони, як правило, поступаються за якістю лужним бентонітам, і в своєму натуральному природному стані до використання в цілому ряді галузей народного господарства мало придатні. Але лужноземельні бентоніти при збагаченні їх натрієвими препаратами перетворюються в лужні з появою тих властивостей, які характерні для останніх.

Оскільки якість бентонітової глини залежить від вмісту в ній монтморилоніту та кількості Na в його обмінному комплексі, така характеристика корисної копалини, як її лужність чи лужноземельність, а також бентонітова це глина чи бентонітоподібна, слугує критерієм для якісної характеристики бентонітів (табл. 2).

*Таблиця 2*

**Класифікація вітчизняних родовищ та проявів бентонітових та бентонітоподібних глин за якістю сировини**

| Лужні | Лужні та лужноземельні | Лужноземельні | Бентонітоподібні |
|---|---|---|---|
| Киштинське | Кудринське, Сорищенське | Черкаське, Григорівське, Ільницьке, Курцівське, Бережанське, Пижівське, Городищенське, Надієвське, Підгорбське, Пісковське, Нововодолажське, Никифоровське, Тячівське, Дроновське | Горбківське, Стулепівська, Осинівська, Линківська, Смиковецьке, Великокопанська, Ільїчевське, Олександрівське, Онокське |

Наступна класифікація об'єктів МСБ бентонітових глин проведена відповідно до діючої Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр [3], яка передбачає розподіл запасів за трьома ознаками: промисловим значенням, ступенем техніко-економічного та геологічного вивчення.

За першою ознакою – промисловим значенням – запаси корисних копалин поділяються на три групи [3]:

1. Балансові – запаси, які на момент оцінки згідно з техніко-економічними розрахунками можна економічно ефективно видобути і використати при сучасному рівні розвитку техніки і технології видобутку та переробки мінеральної сировини, що забезпечують дотримання вимог раціонального, комплексного використання корисних копалин і охорони природи.

2. Умовно балансові – запаси, ефективність видобутку і використання яких на момент оцінки не може бути однозначно визначена, а також запаси, що відповідають вимогам до балансових запасів, але з різних причин не можуть бути використані на момент оцінки.

3. Позабалансові – запаси, видобуток і використання яких на момент оцінки є економічно недоцільними, але в майбутньому вони можуть стати об'єктом промислового значення.

За ступенем техніко-економічного вивчення запаси і ресурси корисних копалин поділяються на три групи [3]:

1. Запаси корисних копалин, на базі яких проведено детальну геолого-економічну оцінку ефективності їх промислового освоєння, матеріали якої, включаючи техніко-економічне обґрунтування постійних кондицій на мінеральну сировину, затверджені ДКЗ.

2. Запаси корисних копалин, на базі яких проведено попередню геолого-економічну оцінку їх промислового значення, а матеріали техніко-економічної доповіді про доцільність подальшої розвідки родовища, включаючи обґрунтування тимчасових кондицій на мінеральну сировину, апробовані ДКЗ або замовником геологорозвідувальних робіт.

3. Запаси і ресурси корисних копалин, на базі яких проведено початкову геолого-економічну оцінку можливого промислового значення перспективної ділянки надр, а матеріали техніко-економічних міркувань про доцільність проведення подальших пошуково-розвідувальних робіт, параметри попередніх кондицій на мінеральну сировину схвалені замовником геологорозвідувальних робіт.

За ступенем геологічного вивчення запаси та ресурси корисних копалин поділяються на такі групи [3]:

1. Розвідані (доведені) запаси – обсяги корисних копалин, кількість, якість, технологічні властивості, гірничо-геологічні, гідрогеологічні та інші умови залягання яких вивчені з повнотою, достатньою для опрацювання проектів будівництва гірничовидобувних об'єктів.

2. Попередньо розвідані (ймовірні) запаси – обсяги корисних копалин, кількість, якість, технологічні властивості, гірничо-геологічні, гідрогеологічні та інші умови залягання яких вивчені з повнотою, достатньою для визначення промислового значення об'єкту.

3. Перспективні ресурси – обсяги корисних копалин, кількісно оцінені за результатами геологічного, геофізичного, геохімічного та іншого вивчення ділянок у межах продуктивних площ з відомими родовищами корисних копалин певного геолого-промислового типу.

4. Прогнозні ресурси – обсяги корисних копалин, що враховують потенційну можливість формування родовищ певних геолого-промислових типів, що ґрунтується на позитивних стратиграфічних, літологічних, тектонічних, мінерагенічних, палеогеографічних та інших передумовах, встановлених у межах перспективних площ, де промислові родовища ще не відкриті.

Запаси і ресурси корисних копалин, що характеризуються певним рівнем промислового значення і ступенем техніко-економічного і геологічного вивчення, розподілені на класи, які ідентифікуються за допомогою міжнародного цифрового коду.

Результати класифікації запасів і ресурсів бентонітових глин за промисловим значенням, ступенем техніко-економічного та геологічного вивчення наведені в табл. 3.

*Таблиця 3*

**Класифікація запасів і ресурсів вітчизняних родовищ і проявів бентонітових глин**

| Родовище/прояв (категорія запасів, ресурсів) | Ознаки класифікації | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Промислове значення запасів | Ступінь техніко-економічного вивчення | Ступінь геологічного вивчення | Код класу |
| Черкаське А+В+$C_1$ | балансові | ГЕО-1 | Розвідані (доведені) запаси | 111 |
| Горбківське А+В+$C_1$ | балансові | ГЕО-1 | Розвідані (доведені) запаси | 111 |
| Григорівське А+В+$C_1$ | балансові | ГЕО-1 | Розвідані (доведені) запаси | 111 |
| Кудринське А+В+$C_1$ | балансові | ГЕО-1 | Розвідані (доведені) запаси | 111 |
| Курцівське А+В+$C_1$ | умовно балансові | ГЕО-1 | Розвідані (доведені) запаси | 211 |
| Бережанське А+В+$C_1$ | умовно балансові | ГЕО-1 | Розвідані (доведені) запаси | 211 |
| Пижівське А+В+$C_1$ | умовно балансові | ГЕО-1 | Розвідані (доведені) запаси | 211 |
| Ільницьке $C_1$+$C_2$ | умовно балансові | ГЕО-1 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 212 |
| Городищенське А+В+$C_1$ | позабалансові | ГЕО-2 | Розвідані (доведені) запаси | 221 |
| Надієвське А+В+$C_1$ | позабалансові | ГЕО-2 | Розвідані (доведені) запаси | 221 |
| Підгорбське $B_1$+$B_2$ | позабалансові | ГЕО-2 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 222 |
| Почаєвське $C_1$ | позабалансові | ГЕО-2 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 222 |
| Киштинське $C_1$+$C_2$ | позабалансові | ГЕО-2 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 222 |
| Нововодолажське $C_1$+$C_2$ | позабалансові | ГЕО-2 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 222 |
| Пісковське $C_1$+$C_2$ | позабалансові | ГЕО-2 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 222 |
| Ільїчевське $C_1$+$C_2$ | не визначено | ГЕО-3 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 332 |
| Сорищенське $C_2$ | позабалансові | ГЕО-2 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 222 |
| Стулепівська $C_2$ | не визначено | ГЕО-3 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 332 |
| Линківська $C_2$ | не визначено | ГЕО-3 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 332 |
| Осинівська $C_2$ | не визначено | ГЕО-3 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 332 |
| Смиковецьке $C_2$ | не визначено | ГЕО-3 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 332 |
| Смереків камінь $C_2$+$P_1$ | не визначено | ГЕО-3 | Попередньо розвідані (ймовірні) запаси | 332 |
| Дроновське $P_1$ | не визначено | ГЕО-3 | Перспективні ресурси | 333 |
| Солоні маки Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Золочевське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Великокопанське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Копанське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Камиш-Бурунське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Карповське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Никифоровське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Лаловське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Новоселицьке Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Олександровське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Раздоловське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Онокське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Тячівське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Хижинське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Чабановське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Чернинське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |
| Салтанівське Р | не визначено | ГЕО-3 | Прогнозні ресурси | 334 |

**Висновки.** Систематизація і аналіз даних геологічного вивчення об'єктів вітчизняної МСБ бентонітових глин із використанням класифікацій за величиною запасів, за якісними і технологічними властивостями, за ступенем геологічного та техніко-економічного вивчення визначили Черкаське родовище бентонітових і палигорськітових глин як найбільш перспективний об'єкт для подальшого освоєння. Балансові запаси цього родовища складають близько 80 % запасів країни. Серед балансових підтверджується перспективність таких родовищ, як Ільницьке (промислово-дослідна розробка), Горбківське, Григорівське (розробляється). Серед родовищ, що не враховані Держбалансом запасів корисних копалин України, найбільш перспективним об'єктом можна вважати Сорищенське родовище з великою кількістю запасів і сприятливими якісними і технологічними характеристиками.

**Список використаних джерел**

1. Бентонитовые глины Украины: [сб.статей / отв.ред. Овчаренко Ф. Д.]. – 1960.

2. Бентонитовые глины Чехословакии и Украины: [отв.ред. Овчаренко Ф. Д.]. – 1966.

3. Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр: постанова Кабінету Міністрів України №432 від 5.05.1997р. // Офіційний вісник України. – 1997. – №19. – С. 104.

4. Мінеральні ресурси України. – ДНВП "Геоінформ України", 2012. – С.127-130.

5. *Михайлов В. А.* Перспективи розвитку мінерально-сировинної бази бентоніту України / *Михайлов В. А., Андрєєва О. О.* // Вісник КНУ. Геологія.- 2002.- №21.- С. 15-18.

6. Украинские бентониты (Геология, минералогия, физико-химия и применение в народном хозяйстве) / [Овчаренко Ф. Д., Кириченко Н. Г., Коваленко Д. Н., Растрененко А. И.] – К: Изд-во АН УССР, 1958.

**Надійшла до редколегії 04.04.13**

**Е. Андреева, канд. геол. наук, М. Курило, канд. геол. наук**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КЛАССИФИКАЦИЙ ЗАПАСОВ И РЕСУРСОВ ПРИ ОЦЕНКАХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН

***Проведена систематизация и анализ данных геологического изучения объектов МСБ бентонитовых глин с использованием классификаций по величине запасов, за качественными и технологическими свойствами, за степенью геологического и технико-экономического изучения.***

**O. Andryeyeva, Cand. Sci. (Geol.), M. Kurylo, Cand. Sci. (Geol.)**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## MODERN CLASSIFICATIONS OF RESERVES AND RESOURCES APPLICATION IN EVALUATING DOMESTIC DEPOSITS OF BENTONITIC CLAYS

***The systematization and analysis of geological study of objects of bentonitic raw-material bases with using classifications largest reserves, the quality and technological properties, the degree of geological and technical-economic study were carried out.***

# ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:504

**О. Щербак, асп.**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

## МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ПІДЗЕМНУ ГІДРОСФЕРУ НА ПРИКЛАДІ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Є. Кошляковим)*

***Розглянуто проблему деградації підземних вод під впливом антропогенної діяльності. Зроблено наголос на застосуванні кількісних критеріїв та ГІС-технологій для оцінки просторово-часових особливостей зміни антропогенного впливу на підземну гідросферу. Запропоновано методичний підхід до регіональних оцінок цих змін на прикладі Херсонської області.***

**Вступ.** Антропогенна діяльність на сьогодні стала потужним фактором порушення природного стану геологічного середовища та деградації найбільш уразливих його складових. Високою уразливістю до антропогенного впливу характеризується і підземна гідросфера, а саме її верхня частина – зона активного водообміну. Саме в ній зосередженні ресурси питних підземних вод, стратегічно важливого природного ресурсу людства. Однак, деякі території з часом його втрачають.

До таких регіонів водно-екологічної кризи, на жаль, можна віднести і територію південної частини України, Херсонську область, де під впливом широкомасштабного гідротехнічного будівництва була порушена природна рівновага підземної гідросфери, що поклало початок її деградації.

Актуальним питанням для цього регіону є виявлення та просторово-часова оцінка впливу різних антропогенних факторів на підземні води зони активного водообміну. Адже на основі таких досліджень має ґрунтуватись подальша водно-екологічна політика області.

**Постановка проблеми.** Для кількісної оцінки антропогенного впливу на підземні води необхідне проведення широко комплексу моніторингових робіт. Такі роботи мають забезпечити вхідною інформацією про зміну стану підземних вод в часі і в просторі, на їх основі можливе подальше моделювання потоків підземних вод в умовах різного антропогенного впливу та прогноз їх можливих змін, обґрунтування захисних заходів для зменшення негативного впливу діяльності на підземні води. Однак, на сьогодні така мережа моніторингу на території Херсонської області майже відсутня. Станом на 2009 р на території області існувало лише 70 спостережних пунктів державного рівня моніторингу за станом підземних вод. Невелика кількість спостережних пунктів, а також частота замірів та опробування, особливо хімічного складу підземних вод, не дозволяє оцінити реальну картину стану підземних вод на території області.

Виходячи з наявної інформації про стан підземних вод Херсонської області, автором було запропоновано методику просторово-часової оцінки антропогенного впливу на підземні води. Така методика не потребує проведення додаткових моніторингових робіт та є ефективною для регіональних оцінок і узагальнень.

**Характеристика території досліджень.** Територія досліджень в адміністративному відношенні відповідає Херсонській області, площею 28,5 тис. км$^2$ на півдні України. Основу економіки області складає агропромисловий комплекс, розвиток якого на цій території можливий завдяки інтенсивному проведенню зрошувальних меліорацій. Важливе місце також займають нафтопереробна і легка промисловості. Однак, окрім прибутків економіці області, основні види виробництва завдали величезних збитків навколишньому середовищу, в тому числі і підземним водам зони активного водообміну.

У геоструктурному відношенні територія належить до північного крила Причорноморської западини, яка виповнена серією пластів осадових порід, що залягають моноклінально, занурюючись з півночі на південь в напрямку до осі западини. Широко розповсюджені відклади неогену, палеогену і крейди.

Згідно з гідрогеологічним районуванням, досліджувана територія, в основному, приурочена до Північно-Причорноморського артезіанського басейну пластових вод II порядку [3]. Гідрогеологічні умови цього басейну можна охарактеризувати як складні. Розповсюдження водоносних горизонтів і слабопроникних шарів є невитриманим, літологічний склад водовміщуючих порід фаціально мінливий. Фактично, зона активного водообміну включає різновікові водоносні горизонти, гідравлічно зв'язані між собою, зі строкатим хімічним складом підземних вод як по вертикалі, так і по площі поширення. Наявність такого гідравлічного зв'язку між водоносними горизонтами є важливим природним фактором, що сприяє активному просуванню забруднюючих речовин від ґрунтових вод у нищезалягаючі водоносні горизонти. Щодо ґрунтових вод, то захисну функцію для них виконують породи зони аерації, які є своєрідним бар'єром на шляху просування забруднюючих речовин з денної поверхні. Зона аерації на цій території в основному складена лесовидними суглинками невитриманої потужності, вертикальна проникність яких значно вища за горизонтальну. Забруднювачі з денної поверхні мігрують по вертикалі і досягають рівня ґрунтових вод. Таким чином, природні геолого-гідрогеологічні умови території дозволяють забруднюючим речовинам, що потрапили на денну поверхню, активно просуватись до водоносного горизонту, що експлуатується.

Щодо використання водних ресурсів, то підземні води на території Херсонської області відіграють підпорядковану роль порівняно з поверхневими. Наприклад, у 2009 р на поверхневі джерела припадало близько 94,5 % від обсягу відібраної води, тоді як на підземні – лише 5,5 % [4]. Однак, для питного водопостачання підземні води за своєю якістю є стратегічним ресурсом, кількість якого внаслідок антропогенного впливу почала скорочуватись.

Основна частина ресурсів прісних підземних вод зосереджена в основному неогеновому водоносному комплексі – потужній товщі водонасичених тріщинуватих вапняків з прошарками пісків, глин, мергелів сарматського, меотичного та понтичного ярусів. Водоносний комплекс повсюдно поширений на території області і забезпечує 98 % видобутку підземних вод. Потужність водовміщуючих порід збільшується з півночі на південь з 5-10 до 50-60 м на правобережжі та від 5-10 до 200 м на лівобережжі. В цьому ж напрямку зростає і глибина залягання водоносного комплексу від метра до 120-140 м. Щодо гідродинамічних особливостей комплексу, то на півночі він подекуди є безнапірним, з просуванням

© Щербак О., 2013

на південь – напірний. У покрівлі неогенового водоносного комплексу залягають верхньо-середньопліоценові, нижньочетвертинні та понтичні глини, що в цілому є позитивним фактором з точки зору його захищеності, однак глини по площі не мають повсюдного поширення та характеризуються різною потужністю по вертикалі. Вище по розрізу залягають підземні води у верхньо-середньопліоценових та четвертинних відкладах. Під впливом антропогенних факторів (гідротехнічне будівництво, зрошувальні меліорації та ін.) рівень першого від поверхні водоносного горизонту значно підвищився, тому вертикальний градієнт напору направлений зверху вниз, до водоносного комплексу, що експлуатується.

Нові гідродинамічні умови зони активного водообміну є сприятливими для міграції забруднюючих речовин до продуктивних водоносних горизонтів. Так, за результатами обстежень водозабірних свердловин у 2006-2009 рр на території Херсонської області зроблений висновок про забруднення основного неогенового водоносного комплексу фенолами, нітратами, Ba, Li, Se та ін. При цьому фенольне та нітратне забруднення вже набуло регіональних масштабів [2]. Регіональним можна назвати також процес засолення підземних вод. За даними ДНВП "Геоінформ України", обсяги ресурсів прісних підземних вод Херсонської області (з мінералізацією до 1 г/дм$^3$) на сьогоднішній день скоротились приблизно на 20 % порівняно з 1983 р.

Таке погіршення якості підземних вод області відбувається в результаті взаємного впливу природних та антропогенних факторів. Завданням автора було дослідження просторово-часових змін якості підземних вод внаслідок впливу антропогенних чинників та розробка методичного підходу до регіональної оцінки впливу згаданих чинників на підземні води на прикладі Херсонської області.

**Методика та результати дослідження.** Антропогенні фактори можуть викликати забруднення підземних вод або порушення природних гідродинамічних, гідрохімічних умов водоносного горизонту. Під забрудненням підземних вод розуміють зміну їх якості під впливом антропогенної діяльності порівняно з природним станом та нормами якості води, що робить дану воду частково або повністю непридатною для використання за цільовим призначенням [1, с. 9]. Антропогенними факторами, що викликають забруднення підземних вод, є розміщення техногенних джерел забруднення (точкових, лінійних та площинних), які виступають основним "постачальником" забруднюючих речовин. Подальша міграція забруднюючих речовин до водоносного горизонту буде визначатись гідродинамічними та гідрохімічними умовами зони активного водообміну, що можуть бути порушенні антропогенними факторами. Так, фактором, що викликає зміну гідродинамічних, а під їх впливом і гідрохімічних, умов водоносного горизонту, пов'язану зі зменшенням прибуткових елементів водного балансу, є відбір підземних вод. У результаті експлуатації підземних вод формуються лійки депресії; це викликає підтягування некондиційних вод із суміжних водоносних горизонтів до горизонту, що експлуатується. З іншого боку, порушення гідродинамічних умов може супроводжуватись і збільшенням прибуткових елементів водного балансу. Серед таких антропогенних факторів на території досліджень можна виділити: гідротехнічне будівництво (спорудження Каховського водосховища, магістральних каналів та ін.), зрошувальні меліорації, скидання стічних вод, втрати води на об'єктах водопостачання та водовідведення. Така діяльність викликала підйом рівня ґрунтових вод, часто до критичних глибин, що значно скоротило час досягнення забруднювачем поверхні підземних вод.

Дане дослідження включало просторово-часовий аналіз впливу трьох основних антропогенних факторів на підземні води:

1. розміщення локальних (точкових) техногенних джерел забруднення;
2. відбір підземних вод;
3. антропогенна діяльність, що супроводжується втратами води (гідротехнічне будівництво, зрошення, скидання стічних вод і т.ін.).

Методика такого аналізу включала: збір вхідної інформації по кожному фактору на досліджувані періоди (1980 і 2010 рр), розробку та підбір критеріїв для кількісної оцінки антропогенного впливу на підземні води в межах одиниці площі, картографічне відображення отриманих результатів. Методика розроблена для регіонального рівня досліджень, одиницею площі для оцінки впливу обрано територію адміністративного району. Для кожного з названих вище факторів отримано такі результати.

1. Розміщення локальних техногенних джерел забруднення. Локальними джерелами забруднення будемо вважати техногенні об'єкти, що займають невелику площу, в межах якої забруднюючі речовини з денної поверхні надходять у підземні води. На території дослідження такі джерела представлені сміттєзвалищами, складами отрутохімікатів і мінеральних добрив, скотомогильниками, полями фільтрації промислових стоків, тваринницькими комплексами, нафтосховищами, складами паливно-мастильних матеріалів та ін. Вхідною інформацією для аналізу впливу цього фактору було просторове розташування перелічених техногенних об'єктів. Звичайно, врахувати всі об'єкти неможливо, тому до уваги брались лише ті, що представленні у переліку небезпечних техногенних об'єктів Херсонської області, складеному ДРГП "Причорноморгеологія" на період 1980 та 2010 рр. За цими даними у середовищі ArcView 3.2a було створено інформаційні шари з точковими об'єктами, що супроводжувались атрибутивними таблицями.

Кожен тип об'єктів по-різному впливає на забруднення підземних вод, ступінь впливу залежить від забруднюючих речовин, що від нього надходять, і характеру їх міграції у даних геолого-гідрогеологічних умовах. Кількісним критерієм для оцінки впливу локальних джерел забруднення на підземні води було обрано індекс небезпеки (за О. Лущиком) як відношення кількості експериментально виявлених у підземних водах токсичних елементів до їх теоретично передбаченої кількості [2]. Цей критерій був розрахований для кожного типу техногенних об'єктів, виходячи з експериментальних даних обстеження водозаборів Херсонської області у 2006-2009 рр. Значення критерію змінюються в межах від 0 до 1. Відповідно, техногенні об'єкти з індексом небезпеки рівним 1 створюють найбільш негативний вплив на підземні води. Це, передусім, сміттєзвалища та поля фільтрації неочищених промислових стоків. Для переходу від локального рівня оцінки впливу даного антропогенного фактору на підземні води до просторового, автором був запропонований сумарний індекс небезпеки як сума індексів небезпеки кожного локального техногенного джерела забруднення, розташованого на одиниці площі. Для даного рівня досліджень сумарний індекс небезпеки розраховувався для кожного адміністративного району Херсонської області на два періоди часу. Враховувався також той факт, що після ліквідації деяких небезпечних джерел забруднення їх вплив на підземні води може залишатись достатньо довгий час. Тому сумарні індекси небезпеки, що розраховувались на 2010 р, включали індекси небезпеки ліквідованих техногенних об'єктів 1980 р.

Для просторового аналізу було побудовано серію карт, на яких кольоровим фоном виділено адміністративні райони з різним ступенем впливу локальних джерел забруднення на підземні води (рис. 1.).

2. Відбір підземних вод. Вхідною інформацією для аналізу даного фактору впливу була кількість відібраної підземної води за рік у межах адміністративного району. Так, за досліджуваний 30-річний період значно скоротилися обсяги водовідбору в Херсонській області. Відбувся перерозподіл за видами використання підземних вод. На сьогодні основна частка видобутої води йде на задовільнення господарсько-питних потреб, тоді як у 80-ті роки основним видом використання було зрошення. Безумовно, такі тенденції є позитивними, однак раціональність використання підземних вод є вкрай незадовільною. За досліджуваний період збільшилась кількість видобутих підземних вод, що скидаються без використання (близько 60 % від загального обсягу забраної підземної води).

Розподіл водовідбору по площі області є вкрай нерівномірним. Таким самим є і розподіл наявних прогнозних ресурсів підземних вод. Щоб кількісно оцінити вплив водовідбору на підземну гідросферу, як критерій оцінки впливу обрано коефіцієнт освоєння прогнозних ресурсів підземних вод (відношення кількості видобутої води до величини прогнозних ресурсів, виражене у відсотках). Якщо значення коефіцієнта будуть перевищувати 100 %, то можна говорити про те, що водовідбір на даній території викликає суттєве виснаження підземних вод. Такий коефіцієнт був розрахований для кожного адміністративного району на два періоди часу. Зміна значень коефіцієнта по площі області була представлена графічно (рис. 2.).

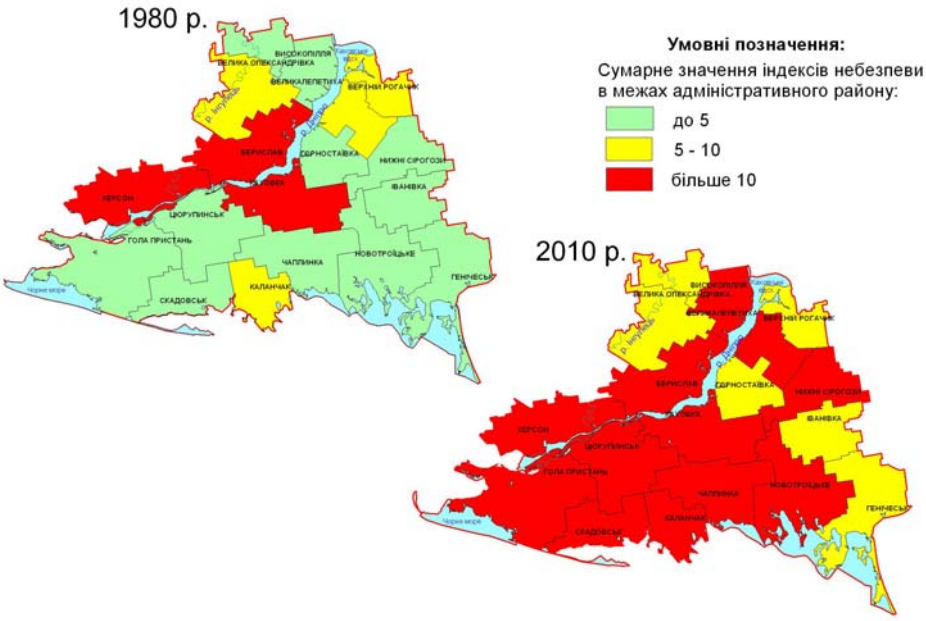



**Рис. 1. Просторова оцінка впливу локальних техногенних джерел забруднення на підземні води на території Херсонської обл станом на 1980 та 2010 рр.**

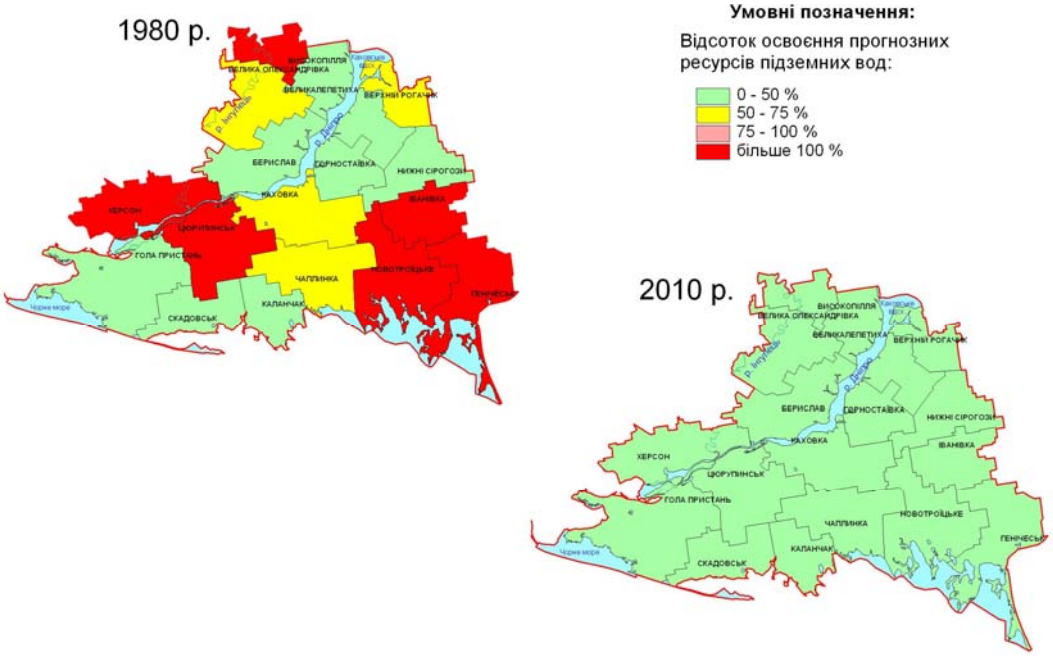



**Рис. 2. Просторова оцінка впливу водовідбору на стан підземних вод на території Херсонської обл на період 1980 та 2010 рр.**

3. Антропогенна діяльність, що супроводжується втратами води (гідротехнічне будівництво, зрошення, скидання стічних вод і т.ін.). Оскільки точно оцінити обсяги води, що надходять у підземну гідросферу від всіх видів антропогенної діяльності, практично неможливо, то для визначення впливу цього фактору необхідний пошук опосередкованих критеріїв. Наслідком впливу такої антропогенної діяльності є підйом рівня ґрунтових вод. На території Херсонської області, що зазнала інтенсивного впливу іригації та гідротехнічного будівництва, рівень ґрунтових вод на значній площі досяг критичних глибин і тому можна говорити про регіональний розвиток процесу підтоплення. Таким чином, розвиток процесу підтоплення є результатом впливу антропогенної діяльності, що супроводжується втратами води. Кількісна оцінка розвитку процесу підтоплення на території дослідження буде опосередкованим критерієм для оцінки впливу досліджуваного техногенного фактору на підземні води.

Критерієм для оцінки розвитку процесу підтоплення було обрано коефіцієнт ураженості території підтопленням як відношення площі підтоплених земель у межах адміністративного району до загальної площі району, виражене у відсотках [4]. Розподіл значень критерію по площі наведений на рис. 3.

**Висновки.** Таким чином, за запропонованою методикою виконано оцінку просторово-часового впливу трьох основних антропогенних факторів на підземні води Херсонської області станом на 1980 та 2010 рр. Отримані результати (рис. 1, 2 ,3) дають можливість зробити висновок про те, що за 30-річний період значно зріс вплив локальних техногенних джерел забруднення на підземні води, тобто збільшилася кількість забруднюючих речовин, що надходить з денної поверхні. В цих умовах, внаслідок антропогенних видів діяльності, що супроводжуються значними втратами води, відбувається постійне підвищення рівня ґрунтових вод, яке призводить до інтенсивного розвитку процесу підтоплення в часі. Неглибоке залягання рівня ґрунтових вод, особливо на правобережжі Дніпра та на півдні області, сприяє швидшому потраплянню забруднюючих речовин з денної поверхні до підземних вод.

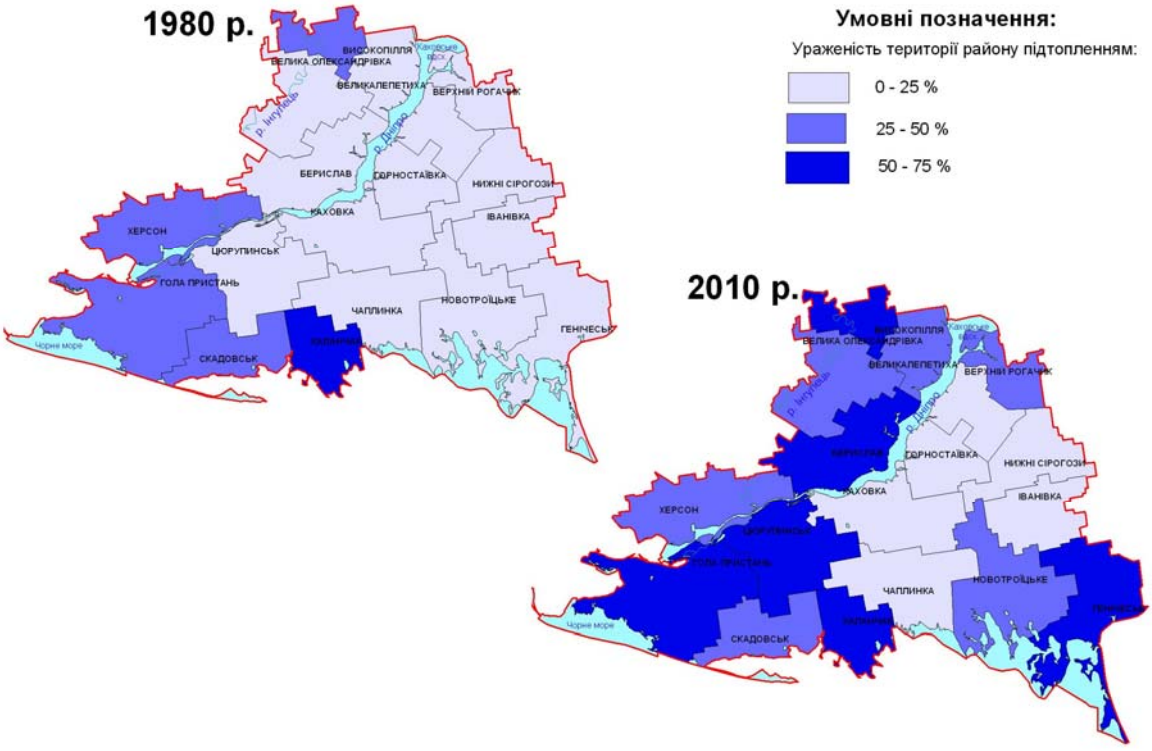



**Рис. 3. Просторова оцінка розвитку процесу підтоплення на території Херсонської обл станом на 1980 та 2010 рр.**

Однак, за досліджуваний період значно скоротилися обсяги відбору підземних вод. Якщо у 80-ті роки у шести адміністративних районах області (Білозерському, Високопільському, Геніческому, Іванівському, Новотроїцькому та Цюрупинському) внаслідок відбору відбувалось виснаження підземних вод, то на сьогодні ресурси освоюються найбільше у Білозерському районі (на 19 %). Зі зменшенням водовідбору розпочався процес відновлення рівня основного неогенового комплексу. Така тенденція є позитивною, адже зменшується перепад гідродинамічних напорів у суміжних водоносних горизонтах, а з ним і швидкість просування забруднюючих речовин зверху вниз до основного експлуатаційного водоносного комплексу. Але подальше нарощування водовідбору має супроводжуватись науковими дослідженнями, оскільки пришвидшить просування забруднювачів та подальше погіршення якості підземних вод.

Наведена методика потребує подальших доопрацювань. Необхідно також виконати оцінку впливу природних факторів на підземну гідросферу та збільшити кількість антропогенних факторів, що оцінюються. Завершальним етапом буде комплексна оцінка впливу природних та антропогенних факторів на стан підземної гідросфери області.

**Список використаних джерел**

1. *Гольтберг В. М.* Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. / Гольтберг В. М. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 248 с.

2. Звіт про науково-дослідну роботу "Оцінка впливу господарської діяльності на підземні води – джерела централізованого водопостачання в межах Причорноморського артезіанського басейну (Херсонська область)": в 3 кн. / [Лущик О., Петренко С., Парак Т. та ін.]. – Сімферополь, 2010. – Кн. 1. – 2010. – 104 с.

3. *Камзіст Ж. С.* Гідрогеологія України: навчальний посібник / Камзіст Ж. С., Шевченко О. Л. – К.: Фірма "ІНКОС", 2009. – 614 с.

4. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Херсонській області у 2009 році. [Електронний ресурс]. – Херсон, 2010. – 188 с. – Режим доступу: http://www.menr.gov.ua/content/article/7789.

**Надійшла до редколегії 25.12.12**

**О. Щербак, асп.**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНУЮ ГИДРОСФЕРУ НА ПРИМЕРЕ ХЕРСОНСКОЙ ОБЛАСТИ

***Рассмотрена проблема деградации подземных вод под влиянием антропогенной деятельности. Особое внимание уделено применению количественных критериев и ГИС-технологий для оценки пространственно-временных особенностей изменения антропогенного влияния на подземную гидросферу. Предложен методический подход для региональных оценок этих изменений на примере Херсонской области.***

**O. Scherbak, asp.**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING ANTHROPOGENIC LOAD ON THE UNDERGROUND HYDROSPHERE BY EXAMPLE OF KHERSON REGION

***In this paper the problem of groundwater degradation under the effect of anthropogenic activities was described. Special attention is paid to the application of quantitative criteria and GIS-technology to study the space-time features of change the anthropogenic load on underground hydrosphere. The methodological approach was proposed to analyze this process in regional scale by example of Kherson region.***

**УДК 577.41/:577.391**

**О. Шевченко, канд. техн. наук, докторант**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ПРІОРИТЕТНОСТІ ЧИННИКІВ МОБІЛІЗАЦІЇ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. М.М. Коржневим)***

***Продемонстровано ефективність методологічного підходу до створення емпіричних регресійних моделей формування концентрації та річного винесення радіонуклідів, шляхом поетапного підбору чинників, які характеризують водозбірний басейн і обумовлюють ступінь вторинного радіоактивного забруднення водотоків.***

**Вступ.** Забруднення наземної та підземної гідросфери в наш час набуло дуже значних масштабів, як за поширенням по площі та в глибину, так і за кількістю джерел забруднення та переліком забруднюючих речовин. Продовжується розповсюдження водними шляхами розчинних техногенних радіонуклідів аварійного викиду 1986 р. із прилеглої до Чорнобильської АЕС зони. Моніторингові спостереження, що проводяться в зоні відчуження, забезпечують контроль поточної об'ємної активності підземних і поверхневих вод; проте отримувана інформація не використовується повною мірою для прогнозування або хоча б екстраполяції на інші водні об'єкти, які не охоплені режимною мережею.

Досвід впровадження водоохоронних заходів в зоні відчуження Чорнобильської АЕС переконує, що об'єми водного винесення радіоактивного $^{90}Sr$ та $^{137}Cs$ слабо підпорядковуються цим заходам, а більшість прогнозів далекі від наступних реальних сценаріїв розвитку радіологічної ситуації. Можливо це пов'язано із тим, що радіоекологічні ефекти здебільшого виявляються тимчасовими а довготривалі наслідки від проведених заходів важко передбачити. Обгрунтування ефективності таких заходів, як правило, спирається на припущення про розвиток вірогідної загрозливої ситуації, яке підтвердити після впровадження заходу неможливо. Можна згадати загальновідомий приклад із будівництвом лівобережної дамби вище Янівського мосту в зоні відчуження, коли тривалий час в її верхньому б'єфі, за відсутності високих повеней, за рахунок підпору регулярно відбувалось вимушене підтоплення та затоплення сильно забруднених земель, а надлишкова вода з високим вмістом радіонуклідів скидалась за допомогою польдерної насосної станції у Прип'ять [1,3]. Найбільш вірогідно, що в р. Прип'ять починаючи з 1993 р. (введення у дію лівобережного водоохоронного комплексу) було штучно скинуто більше радіоактивності, ніж це могло статись за рахунок однієї високої повені 1999 р., коли дійсно могло відбутись суцільне затоплення огородженої частини заплави за відсутності захисної дамби.

Головне *завдання даної роботи* полягає у розробці методу аналізу зібраної інформації, який би дозволив виділяти головні предиктори та будувати регресійні прогнозно-епігнозні залежності для різних етапів післяаварійного циклу з можливістю адаптації моделей до слабо вивчених водозбірних басейнів. Знання про чинники вторинного забруднення водотоків допоможуть завчасно розробляти та скеровувати диференційовані водоохоронні заходи для попередження значного винесення радіонуклідів.

**Методи та об'єкт дослідження**. Тим не менш, порівняння радіоекологічної ситуації та величин водного винесення радіонуклідів з водозбірних басейнів, які мають порівнювані запаси забруднювачів та у різній мірі зазнали втручання, дозволяє стверджувати, що концентрація у воді та сумарна винесена відкритим водним шляхом активність відображають відносно сталі особливості природної та техногенної обстановки в межах кожного з водозборів. Ці стабільні індивідуальні ознаки басейнів: густину гідрографічної мережі, характер рельєфу, переважаючий тип ґрунтів, площу лісу тощо, будемо зараховувати до *статичних чинників***.** Завдяки останнім кількісне значення винесення з окремого водозбору могло б залишатись більш менш рівним, якби не змінювались зовнішні, переважно метеорологічні чинники, залежні від них характеристики стоку, а також властивості самого забруднювача: співвідношення його фіксованих та рухливих форм. Чинники, що змінюються по роках та в межах року будемо відносити до *динамічних*. Серед них *зовнішні*: сума річних опадів, їх розподіл у часі; а також *внутрішньобасейнові*: характер повені, річний поверхневий стік, окремі показники хімічного складу поверхневих та ґрунтових вод, а також їх рівні, стан каналів, пов'язаний із їх заростанням, замуленням та регулюванням, відносна площа підтоплених земель, окиснюваність і pH поверхневих вод тощо. Зовнішні чинники можуть бути спільними для усіх басейнів, а внутрішньобасейнові – мають індивідуальні значення. Усі перераховані вище чинники можна вважати сторонніми, оскільки напряму на обсяги винесення радіонукліду впливає лише його сумарна активність (запас) на водозбірній площі.

**© Шевченко О., 2013**

Внутрішньобасейнові чинники добре корелюють із концентрацією забруднювача у воді. Тобто, підставляючи їх прогнозні значення у регресійну модель, визначену для окремого водотоку, можна прогнозувати концентрацію полютанта (для радіонуклідів слід робити поправку на радіоактивний розпад). Динамічні зовнішні чинники обумовлюють суттєву мінливість об'ємів винесення з одного басейну за різні роки. Отже, для того щоб з'ясувати роль і ступінь впливу зовнішніх чинників слід порівнювати їх значення *по різних роках* із відповідними значеннями винесення *для кожного із басейнів окремо*, а для того щоб оцінити вплив статичних характеристик слід порівнювати вибірку значень винесення з *усіх* найбільш вивчених *басейнів* із вибіркою відповідних індивідуальних побасейнових показників *окремо для кожного року спостережень*. *Ретроспективний аналіз* полягає у визначенні причин мінливості ступеню обумовленості винесення або концентрації забруднювача певними статичними або динамічними показниками за різні періоди після його емісії в середовище. Ступінь обумовленості визначається коефіцієнтами парної кореляції між значеннями водного винесення та параметром, що кількісно виражає статичний чинник. Якщо значущість коефіцієнта кореляції між винесенням і певним чинником суттєво зменшується, для регресійної моделі слід вибирати інший чинник, високий ступінь впливу якого на даному етапі (або для певного року) підтверджується значущим коефіцієнтом кореляції. Для пояснення змін ступеню впливу чинника на винесення необхідно знати про реальні зміни, що мали місце в природній обстановці або у зв'язку із втручанням людини, та мати інформацію про трансформації, які відбувались із досліджуваним забруднювачем.

Звідси випливає, що вивчення ступеню впливу природних та антропогенних чинників (характеристик водозбору) на процеси вторинної контамінації впродовж тривалого часу допоможе пояснити та передбачити реакцію даного або подібного водозбірного басейну на забруднення, з урахуванням метеорологічної обстановки. Передбачається також, що ступінь впливу тих чи інших показників середовища на міграцію змінюватиметься в часі залежно від трансформацій та перерозподілу полютантів по поверхні і на глибину. Тобто, кожен трансформаційний етап з переважанням певної форми міграції забруднювача, або навіть кожен рік, будуть відрізнятись за набором пріоритетних чинників.

*Метою* вивчення зв'язків між річною кількістю водного винесення забруднювача з території певного басейну та окремими характеристиками цього басейну є визначення закономірностей часових змін цих зв'язків, пошук визначальних чинників, встановлення основних шляхів та механізмів залучення забруднювача до водної міграції, а також створення регресійних прогнозно-епігнозних моделей.

Для апробації даної методики цілком підходить Чорнобильська зона відчуження, яка достатньо вивчена, а більшість її водних об'єктів контролюється службою радіоекологічного моніторингу. Тут для порівняння можна використати не лише басейни малих річок але й басейни окремих магістральних каналів осушувальних систем. Концентрація певного радіонукліду у водах каналу відображатиме в першу чергу щільність забруднення ним водозбірної поверхні. Але значення річного винесення інтегрально враховує і сукупну дію всіх процесів та чинників, що визначають і впливають на вторинне забруднення або самоочищення ґрунтових вод та водотоку [4]. Оскільки для осушувальних систем характерна висока інтенсивність дренування ґрунтових вод відкритою мережею каналів, то забруднення вод каналів, особливо у меженний період, відображає також інтенсивність забруднення ґрунтових вод і ступінь сприятливості до цього природних умов.

В якості забруднювача вибрано найбільш рухливий водний мігрант – $^{90}$Sr, концентрації якого у поверхневих та ґрунтових водах Чорнобильської зони вищі, ніж інших радіонуклідів.

Методичний підхід до ретроспективного факторного аналізу передбачає наступні кроки:

1) збір інформації про винесення радіонукліда водотоками за окремі роки впродовж всього часу після його надходження на поверхню водозбору;

2) обґрунтування окремих метеорологічних етапів на основі визначення забезпеченості річної суми опадів, стоку, рівнів ґрунтових вод; оцінка зв'язку між динамічними чинниками та водним винесенням радіонукліду за весь період спостережень та по окремих етапах;

3) виділення і оцифрування границь водозбірних басейнів, визначення їх площі; оцінка запасів радіонукліду в межах окремих басейнів;

4) вибір провідних статичних чинників, – характерних ознак ландшафту, на основі аналізу експериментальних даних; класифікація та оцифрування граничних положень цих ознак в межах виділених басейнів, з утворенням відповідних шарів у геоінформаційній системі "MapInfo";

5) кількісна характеристика статичних чинників (відносна площа, щільність, кількість тощо);

6) проведення парного кореляційного аналізу по окремих роках для вибору найбільш інформативних змінних (предикторів);

7) побудова хронологічних графіків мінливості коефіцієнтів кореляції з виділенням періодів максимального впливу чинника на досліджуваний показник забруднення; обґрунтування цих періодів; вибір пріоритетних чинників впливу для кожного виділеного етапу;

8) виконання багатофакторного регресійного аналізу з вибірковим використанням 2-3 чинників;

9) використання вибраних чинників в якості незалежних предикторів для побудови регресійних моделей.

**Результати та обговорення.** Роль динамічного чинника оцінювалась для кожного з басейнів за весь період спостережень (рис. 1), а потім виконувався кореляційний аналіз між динамічним чинником і відповідними значеннями винесення *з* площі кожного окремого басейну за певні етапи, виділені на основі знань про багатоводні та маловодні періоди, цикли трансформації радіоактивних випадінь, а також на основі аналізу графіків мінливості коефіцієнтів кореляції по роках, побудованих для статичних чинників.

Коефіцієнти кореляції між кількістю річних опадів та водним винесенням $^{90}$Sr (табл. 1) демонструють ступінь підготовленості переважаючих форм радіонукліду до залучення у водні потоки і дозволяють обґрунтувати етапи, під час яких $^{90}$Sr перебував переважно у складі слаборухливої паливної компоненти (1986–2000 рр.) та перейшов у розчинні й обмінні форми (2001–2011 рр.). У зв'язку із переважанням паливної компоненти, в перші роки більш помітна затримка реакції винесення на високу кількість опадів (рис. 2). Так, підвищене винесення каналом МК-1 $^{90}$Sr в 1991 р. (46 ГБк) стало реакцією на високу кількість опадів (608 мм) у 1990 р. Так само, значне винесення 1994 р. пов'язано із високою сумою опадів (691 мм) у 1993 р. Надалі, з 2001 року, така залежність втрачається, набуваючи більш синхронного вигляду, і лише інерційне збільшення винесення у 2005–2006 рр. пов'язане із циклом багатоводних років, що почався з 2004 р.

Для Північно-західного басейну (МК-5) коефіцієнт кореляції між винесенням та кількістю опадів набуває стійких високих значень з 1993 року, – після спорудження нової Лівобережної дамби. До цього вирішальним чинником був рівень води в р. Прип'ять під час повеней, паводків та зимових зажорів.

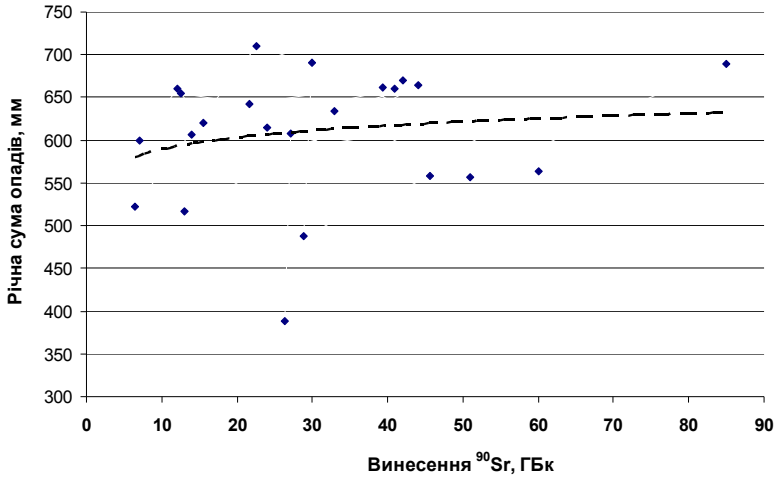



**Рис. 1. Ступінь залежності водного винесення $^{90}$Sr каналом МК-1 за рік від суми річних опадів**

***Таблиця 1***

**Коефіцієнти кореляції між кількістю винесеного з водозбірного басейну $^{90}$Sr та річною сумою атмосферних опадів**

| Період | Водозбірний басейн за назвою основного водотоку | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | МК-1 Прип'ятської осушувальної системи | Північно-західний до витоків МК-5 | р. Брагінка | р. Сахан | р. Глиниця | р. Ілля |
| 1989–2000 | 0.27 | 0.4 | 0.28 | 0.22 | -0.44 | -0.21 |
| 2001–2011 | 0.56 | 0.68 | 0.67 | 0.87 | 0.56 | н.д. |

н.д. – недостатньо даних

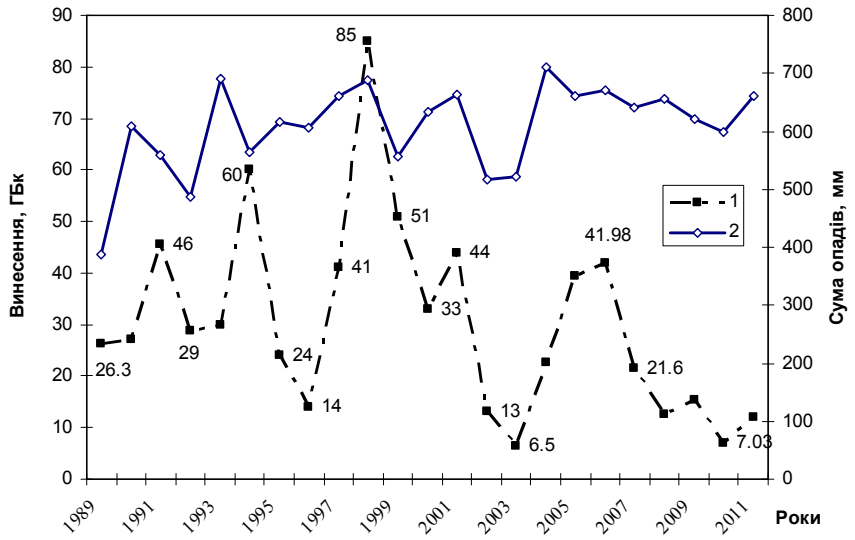



**Рис. 2. Співставлення річної кількості винесеного каналом МК-1 $^{90}$Sr (1) із сумою атмосферних опадів (2)**

Несподівано низькими виявились коефіцієнти кореляції між величиною річного стоку та сумою річних опадів: вони коливаються в межах від 0,43 (для одного з найбільш зарегульованих та меліорованих басейнів лівобережжя р. Прип'ять) до 0,55 (р. Сахан).

Таким чином, співставлення об'ємів винесення $^{90}$Sr із такими динамічними чинниками, як річна кількість опадів та обсяги річного стоку, виявило невисокий ступінь залежності для повного періоду спостережень та окремих метеорологічних та трансформаційних етапів, що переконує в існуванні інших дієвих чинників.

Для окремих магістральних каналів виконано багатофакторний аналіз залежності концентрації $^{90}$Sr у воді ($C_{Sr}$) від швидкості потоку ($V$), окиснюваності перманганатної ($Оп$) та pH води. Вибір цих чинників попередньо обґрунтовано парним кореляційним аналізом [2]. За результатами багатофакторного регресійного аналізу не всі чинники виявились значущими. Проте, практично в усіх варіантах регресійних моделей окиснюваність ($Оп$) мала найвищий рівень значущості: $p$-level коливався в межах $2*10^{-7}$ – $3*10^{-2}$. В експоненційних оптимізованих моделях достатній рівень значущості ($p = 1{,}67 *10^{-3}$) мала також експонента швидкості ($V$). Регресійна модель для цього випадку (об'ємна активність $^{90}$Sr у воді каналу МК-5 Прип'ятської системи за даними 1998–2001 рр.) має вигляд:

$$C_{Sr} = -4{,}526 + 0{,}99 \cdot On - 46{,}56 \cdot e^{V} - \\ -4{,}3 \cdot 10^{-16} e^{On} + 8{,}239\, pH \qquad (1)$$

Серед статичних чинників для факторного аналізу було вибрано: густину гідрографічної мережі, переважаючий тип ґрунтів (органогенні, мінеральні, органомінеральні); pH водної витяжки ґрунтів; площу, кількість та щільність западин; відносну площу лісу. Оскільки осушувальні системи розташовано переважно в межах пласких, заплавних територій, то ознаками макрорельєфу було вирішено знехтувати.

Густина гідрографічної мережі має дуже суттєвий вплив на водне винесення радіонуклідів – коефіцієнти кореляції досягають 1 (рис. 3). Причому цей зв'язок з роками посилюється та набуває стабільного характеру. Низькі коефіцієнти кореляції співпадають із маловодними роками (1990 і 1996), для яких характерний рівномірний розподіл та невисока кількість опадів, що відобразилось на аномально низьких значеннях водного винесення активності за наявності досить густої гідрографічної мережі.

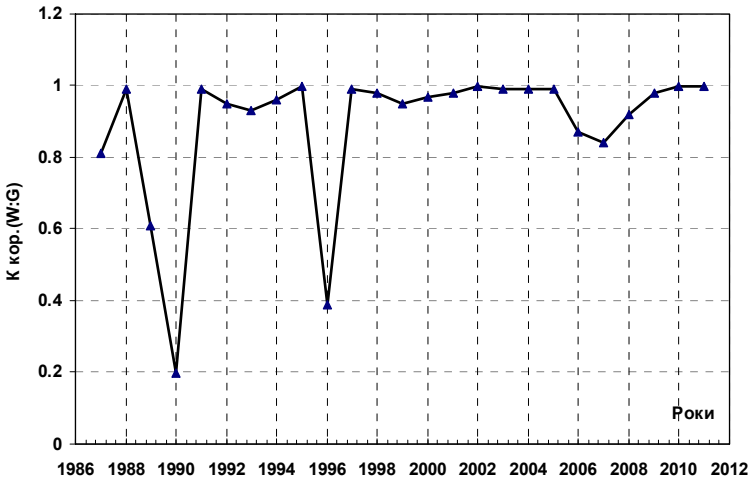



**Рис. 3. Зміни характеру впливу густини гідрографічної мережі (G) на винесення $^{90}$Sr (W) за період після аварії на ЧАЕС (для 11 малих водозбірних басейнів)**

Водневий показник (pH водної витяжки) ґрунтів проявляв значущий ступінь впливу на залучення $^{90}$Sr до водної міграції лише у перші роки після аварії (рис. 4). Загалом цей вплив дуже нестійкий у часі. Порівняно високі значення $K_{кор.}$ у перші роки після випадінь радіоактивних речовин можна пояснити участю органічних кислот ґрунту у вилуговуванні $^{90}$Sr з паливних частинок. Після виходу основної частини $^{90}$Sr із твердофазної матриці pH перестає відігравати суттєву роль у водній міграції радіонукліду. Вплив pH має обернений зв'язок із кількістю опадів ($K_{кор.}$ = – 0,58), що може свідчити про підпорядкованість кислотності ґрунту динамічним факторам, тобто про його мінливість по сезонах року та у роки різної водності. З початком багатоводних (>600 мм) 1996-2001 років (1999 р. відрізнявся багатоводною повінню) вплив цього чинника на винесення $^{90}$Sr помітно знизився. Так само незначним був його вплив під час наступного багатоводного циклу, що почався з 2004 р.

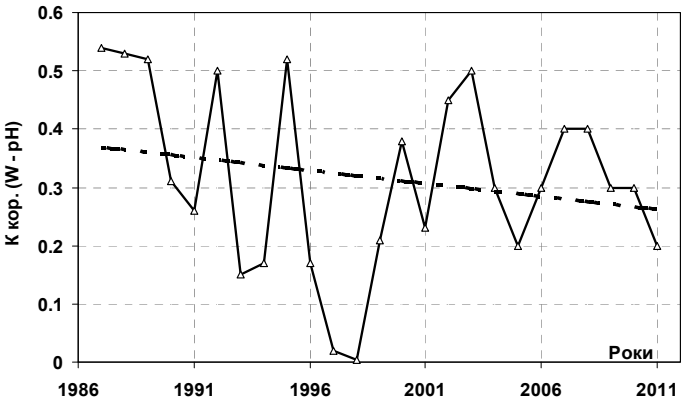



**Рис. 4. Коливання показника залежності винесення $^{90}$Sr (W) від відносної площі (%) кислих ґрунтів на водозборі (pH водної витяжки менше 6)**

Цілком логічною виглядає обернена залежність винесення стронцію від відносної площі лісу на водозбірній площі (рис. 5). Причому роль лісу у затримці $^{90}$Sr зростає по мірі віддалення від моменту аварійних випадінь, що пояснюється збільшенням частки обмінних і водорозчинних форм радіонукліду, здатних поглинатися рослинністю. У багатоводні роки роль лісу також більш вагома.

Серед западинних форм виділено п'ять класів: 1) западини сухі впродовж більшої частини року, 2) сухі западини на піску; 3) повздовжні западини, здебільшого тальвеги лінійних ерозійних форм, частина з яких перетинається каналами; 4) западини обводнені більшу частину року, 5) западини перезволожені на відкритій місцевості – переважно на вологих луках або на підтоплених лісових галявинах. Перші два класи об'єднано в групу западин, що сприяють переведенню поверхневого стоку в підземний; лінійні форми представлено як западини, що сприяють поверхневому стоку; четвертий і п'ятий класи об'єднано в групу, що відповідає переважно за утримання поверхневого стоку та витрачання його на випаровування і транспірацію рослинами. За результатами кореляційного аналізу побудовано хронологічні графіки, що демонструють невитриманість ступеню зв'язку між незалежним чинником і винесенням $^{90}$Sr водотоками. Винесення має істотну обернену залежність від абсолютного значення площі усіх западин в межах басейну, яка з роками посилюється (рис. 6). Найменш значущі $K_{кор.}$ знову характерні для маловодних років.

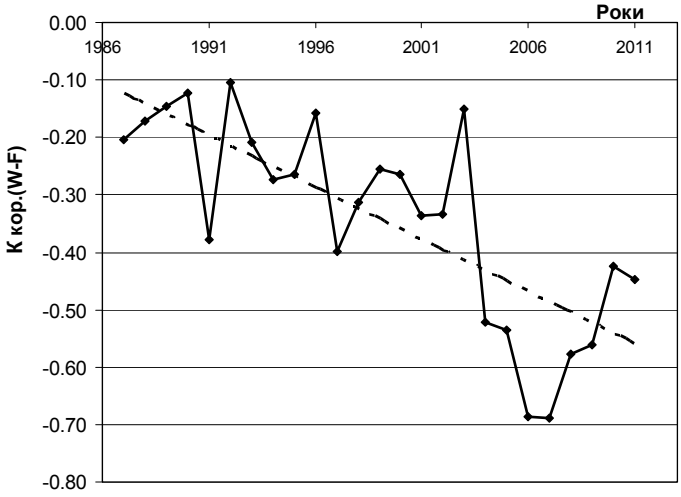



**Рис. 5. Хронологічна зміна ступеню оберненого впливу відносної площі лісу (F) на водозборі на водне винесення $^{90}$Sr (W) (для 9 водозбірних басейнів)**

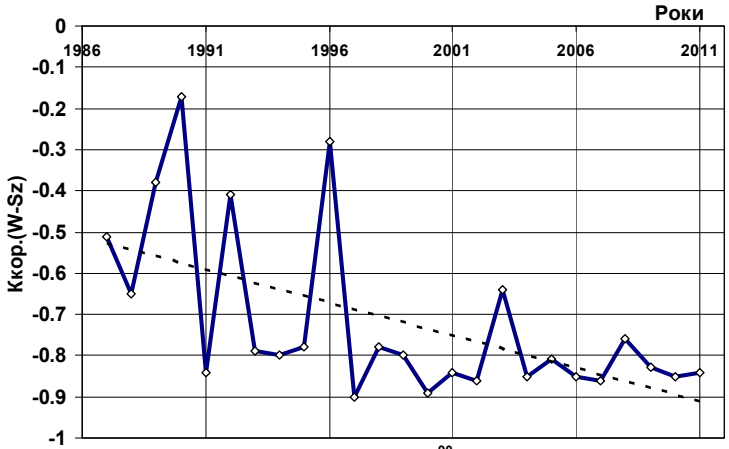



**Рис. 6. Динаміка залежності об'ємів винесення $^{90}$Sr (W) від площі всіх западин (Sz) в межах окремих басейнів зони відчуження (N= 9…11)**

Очевидно, що більша частина площі западин працює на утримання поверхневого стоку і механічних частинок, що містять $^{90}$Sr. Проте великі сухі, або так звані провідні, западини суттєво збільшують водне винесення $^{90}$Sr шляхом прискореного переведення його в ґрунтові води а з ними в канали, що проявляється через високі позитивні значення $К_{кор.}$ (0,5-1,0) між відносною (від площі басейну) площею цих западин та винесенням. Транзитна роль провідних западин збільшується по мірі вивільнення $^{90}$Sr із паливної матриці. Період відносної стабілізації значень коефіцієнта кореляції між винесенням $^{90}$Sr та показниками, що характеризують поширення западинних форм настає з 1997 року, що співпадає з початком багатоводного циклу та періоду наростання дисоційованих, рухливих форм радіонукліду і переважання їх над часткою $^{90}$Sr у паливних частинках.

Підтверджується значна роль западин у водній міграції радіонуклідів при проведенні факторного аналізу (табл. 2), який дозволяє враховувати не лише вплив окремих чинників на процес водного винесення але й сукупний вплив усіх вибраних чинників та їх взаємозалежність. Виявилось, що для окремих територій набір пріоритетних чинників за один і той самий рік може бути різним (табл. 2, 3).

***Таблиця 2***

**Результати множинного кореляційного аналізу за Пірсоном для окремих багатоводних років (усі змінні не підпадають під нормальний закон розподілу)**

| Показники | | Винесення | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Всі басейни | | Лівобережні басейни | |
| | | **1997** | **1998** | **1997** | **1998** |
| 1 | Площа сухих западин, % від площі басейну | 0,26 | -0,09 | **0,82** | **0,66** |
| 2 | Кількість всіх западин | 0,48 | **0,68** | -0,35 | -0,25 |
| 3 | Кількість западин з водою і перезволожених | **0,56** | **0,84** | -0,30 | -0,16 |
| 4 | Щільність западин, шт./км$^2$ | 0,19 | 0,48 | **0,58** | **0,58** |
| 5 | Густина гідромережі, км/км$^2$ | -0,13 | 0,09 | 0,34 | 0,5 |
| 6 | Меліорованість,% | -0,02 | 0,22 | 0,53 | **0,56** |
| 7 | Площа кислих грунтів, % | -0,29 | -0,15 | **0,91** | **0,98** |
| 8 | Площа нейтральних грунтів, % | 0,24 | 0,11 | **-0,91** | **-0,88** |

Регресійні моделі, що описують залежність водного винесення полютанта каналом або рікою (*W*) від пріоритетних чинників (предикторів) можуть мати різний математичний вигляд. Наприклад, для лівобережних басейнів р. Прип'ять винесення $^{90}$Sr в 1998 році добре апроксимується логарифмічною моделлю із статистично значущими значеннями параметрів $b_i$ при перемінних, що описують статичні чинники:

$$W = -11157,7 + 0,0041 \cdot Z_{Sr} - 776,2Gz - 2037,3Gg - \\ -156 \ln Z_{Sr} + 10191,2 \ln Gz + 2879,2 \ln Gg \quad (2)$$

Підставляючи у дану модель визначені величини статичних чинників (щільність усіх западин на водозбірній площі (*Gz*), густину гідромережі (*Gg*), запас активності стронцію-90 на водозборі ($Z_{Sr}$)) по одному з лівобережних водотоків, для якого винесення $^{90}$Sr у свій час не визначалось, можна встановити його з високою достовірністю. Для іншого року, або для водотоку правобережної частини зони відчуження, найбільш вдала регресійна модель виглядатиме інакше, оскільки більш впливовими можуть виявитись інші чинники (табл. 3). Наприклад, найбільш адекватна модель (коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,96, ступінь достовірності описання процесу або коефіцієнт детермінації $R^2$ = 0,93), що описує винесення $^{90}$Sr з правобережних та лівобережних басейнів в 1997 р., має кубічний вигляд (3) і, крім $Z_{Sr}$, використовує інші предиктори: кількість сухих западин, в т.ч. на піску ($N_{с.п.}$), та ступінь зарегулювання водотоків (*Rf*, %), оскільки комбінації інших чинників не дають більш точного математичного описання винесення $^{90}$Sr за цей рік.

$$W = -6035,923 + 0,014 Z_{Sr} - 2,736 N_{c.n.} + 87,147 Rf - \\ -2,14 \cdot 10^{-14} \cdot {Z_{Sr}}^3 + 5,3 \cdot 10^{-6} \cdot {N_{c.n.}}^3 - 0,0027 {Rf}^3 \quad (3)$$

При виконанні прогнозів для схожих за сценаріями водності років по формулах (2) і (3), звичайно, слід враховувати поправку на природний радіоактивний розпад для запасів радіонукліду на водозбірній площі.

*Таблиця 3*

**Ранжування чинників за Спірменом (усі змінні не підпадають під нормальний закон розподілу)**

| Показники | | Винесення | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Всі басейни | | Лівобережні басейни | |
| | | 1997 | 1998 | 1997 | 1998 |
| 1 | Площа всіх западин, км$^2$ | **0,63** | 0,067 | -0,29 | 0,036 |
| 2 | Площа сухих западин та на піску, км$^2$ | **0,7** | 0,2 | -0,39 | 0,07 |
| 3 | Площа сухих западин, % від площі басейну | 0,2 | 0,17 | 0,39 | **0,7** |
| 4 | Площа западин з водою та перезволожених, км$^2$ | **0,75** | 0,37 | -0,4 | -0,07 |
| 5 | Кількість всіх западин | **0,77** | 0,38 | 0,16 | -0,036 |
| 6 | Кількість западин з водою і перезволожених | 0,32 | 0,25 | -0,39 | **0,57** |
| 7 | Сума сухих западин і на піску | **0,77** | 0,38 | 0,036 | -0,04 |
| 8 | Щільність западин, шт./км$^2$ | 0,0 | 0,28 | 0,1 | **0,6** |
| 9 | Густина гідромережі, км/км$^2$ | **-0,63** | -0,35 | 0,18 | 0,0 |
| 10 | Площа кислих ґрунтів, % | -0,3 | -0,39 | -0,4 | **0,85** |
| 11 | Площа нейтральних ґрунтів, % | 0,13 | 0,26 | -0,29 | **-0,78** |

За результатами факторного аналізу виконано ранжування чинників впливу (окрім запасів забруднювача на водозбірній площі) для виділених метеорологічних і трансформаційних етапів. Наприклад, на першому маловодному етапі 1987-1992 рр., що характеризувався переважанням твердофазних слаборухливих форм $^{90}$Sr, винесення добре корелювало із площею перезволожених западин (обернена залежність); відносною площею всіх западин, сухих западин та кислих ґрунтів (в усіх випадках прямі залежності); відносною площею органогенних ґрунтів (обернена залежність).

**Висновки.** Розроблено метод прогнозування водного винесення забруднюючих речовин та їх концентрацій у воді, який спирається на параметризацію біогеохімічної обстановки всієї водозбірної площі водотоку, чим відрізняється від існуючих моделей, що описують складні та неоднозначні процеси вторинного забруднення і самоочищення лише в межах русла. Утримуюча або стимулююча до водної міграції функція водозбору реалізується через сукупну дію багатьох статичних та динамічних чинників, серед яких, шляхом кореляційного аналізу, вибираються провідні. Статичні характеризують слабо змінні в часі ознаки водозбірної площі, динамічні є проявом добових, сезонних і річних змін метеорологічних та кліматичних умов. За допомогою ретроспективного аналізу досліджено зміни ступеню впливу статичних та динамічних чинників на водне винесення $^{90}$Sr протягом тривалого періоду після аварії на ЧАЕС. Цей період можна розділити на етапи за набором визначальних чинників. В різний час до провідних статичних чинників належали: наявність западинних форм, густина гідрографічної мережі, площа лісу, переважаючі ґрунтові угрупування, pH водної витяжки, меліорованість, ступінь зарегулювання гідрографічної мережі. Серед динамічних чинників важливу роль у формуванні концентрації $^{90}$Sr посідають: окиснюваність і pH води, а також швидкість потоку. Неабияке значення повинні мати коливання рівня ґрунтових вод.

Ретроспективний аналіз змін ступеню впливу чинника на винесення впродовж тривалого періоду після початку забруднення дозволяє виявити загальний характер перерозподілу радіоактивних випадінь по поверхні спряжених ландшафтів, ступінь їх заглиблення, "внутрішні" зміни, що відбуваються із мігрантом – переважаючий перехід у рухливі або навпаки, – фіксовані форми.

Зручність і простота методу полягають у тому, що статичні характеристики водозбору можна визначати один раз на 15-20 років. Великі коефіцієнти парної кореляції та високий рівень значущості (*p*-level) забезпечують виявлення пріоритетних чинників впливу на об'єми водного винесення забруднювача для окремих етапів, виділених за циклами водності та переходами мігранта в інший фізико-хімічний стан. Побудовані на основі багатофакторного аналізу регресійні моделі дозволяють за значеннями статичних чинників визначати величину винесення за певний рік з басейну, що не входив до об'єктів охоплених моніторинговою мережею; а за значеннями динамічних чинників – прогнозувати або відтворювати концентрацію забруднювача у воді певного водотоку.

Прогнозування ступеню забруднення ґрунтових вод може бути пов'язане з моделями, в яких комбінуються як статичні, так і динамічні чинники: щільність забруднення водозбірної поверхні, інфільтраційне живлення, потужність зони аерації, pH води, вміст сульфатів тощо.

**Список використаних джерел**

1. Аналіз ефективності та варіанти експлуатації водоохоронного комплексу Лівобережної польдерної системи / *О.Л.Шевченко, О.М.Козицький, І.Ю.Насєдкін* та ін. // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. – 2001. – Вип. 7. – С. 112-125.

2. Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах Чорнобильської зони відчуження (за результатами досліджень 1986-2004 рр.): *О.Л.Шевченко, О.М.Козицький, І.Ю.Насєдкін* та ін., 2011.

3. Лівобережна заплава: шляхи вирішення проблеми перезволоження та зростання виносу $^{90}Sr$ через проран в дамбі №7 / *О.Л.Шевченко, В.М.Шестопалов, О.І. Сахацький* та ін. // Бюлетень екологічного стану Зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 1999. – №14. – С. 51–57.

4. *Шевченко О.Л.* Метод інтегральної оцінки бар'єрної здатності водозборів / *О.Л.Шевченко, С.І. Кірєєв* // Екологія і ресурси. – 2005. – Вип. 11. – С. 77-86.

**Надійшла до редколегії 20.12.12**

**А. Шевченко, канд. техн. наук, докторант**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТНОСТИ ФАКТОРОВ МОБИЛИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

***Продемонстрирована эффективность методологического подхода по созданию эмпирических регрессионных моделей формирования концентрации и годового выноса загрязнителя, на основе поэтапного подбора факторов, характеризующих водосбор и определяющих степень вторичного радиоактивного загрязнения водотоков.***

**O. Shevchenko, Cand. Sci. (Tech.)**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE PRIORITY FACTOR IN THE MOBILIXATION POLLUTANTS

***Efficiency of methodological approach is shown on creation of empiric regressive models of concentration forming and annual subtraction of contaminant. A model consists of independent parameters, characterizing of drainage area and determining the degree of the second radio contaminant of surface-stream flows.***

# ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

**УДК 550.3 (519.21)**

**З. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, доц.**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЕЙСМІЧНОГО ШУМУ У ТРИВИМІРНІЙ ОБЛАСТІ ЗМІННИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.Н. Жуковим)***

***Розглянуто задачу статистичного моделювання випадкових полів у тривимірній області змінних (однорідних за часом та однорідних ізотропних за просторовими координатами на площині) при впровадженні у сейсмологічні дослідження для визначення частотних характеристик геологічного середовища. Побудовано модель та сформульовано алгоритм чисельного моделювання реалізацій таких випадкових полів на основі модифікованих інтерполяційних розкладів Котельникова-Шеннона для генерування адекватних реалізацій шуму сейсмограм.***

**Вступ.** У статті розглянуто задачу статистичного моделювання реалізацій випадкових полів з обмеженим спектром, які залежать від часу та задані на області площини, для впровадження в сейсмологічні дослідження з потребами визначення частотних характеристик геологічного середовища під будівельними майданчиками. Побудовано модель та на основі оцінок похибок середньоквадратичного наближення таких випадкових полів цією моделлю сформульовано алгоритм для чисельного моделювання реалізацій полів, адекватних реалізаціям шуму сейсмограм.

Реалізації статистичного моделювання таких випадкових полів важливо використовувати на практиці для виділення сейсмічного шуму від зовнішнього впливу і для того, щоб отримати відповідні оцінки частотних характеристик геологічного середовища області спостереження на площині. Вказані оцінки необхідно враховувати при будівництві об'єктів різного призначення з метою забезпечення надійності споруд.

Застосування розкладів одновимірних та багатовимірних детермінованих функцій в ряди Фур'є, в ряди Фур'є-Бесселя та в ряди по синк-функціям (інтерполяційні формули Котельникова-Шеннона) до просторового вивчення сил тяжіння та земного геомагнетизму, спектрального вивчення геологічної будови земної кори, дослідженню вільних коливань Землі та сфероїдальних коливань при збудженні землетрусами використовувалось вже давно [1].

Моделі та алгоритми статистичного моделювання випадкових процесів та полів на основі розкладів в ряди широко використовується в геологічних науках порівняно недавно: [14], [11], [8], [12], [10 ] та ін.

В статті розглянуто приклад застосування побудованих моделей та алгоритмів статистичного моделювання випадкових процесів та полів до задачі дослідження параметрів сейсмічного шуму для потреб визначення частотних характеристик геологічного середовища під будівельними майданчиками на плоскій області спостереження.

**Модель та алоритм.** При статистичному моделюванні спостережених шумів сейсмограм використовувався метод, розроблений на основі спектрального розкладу [9] та модифікованої теореми Котельникова-Шеннона для випадкових полів з обмеженим спектром, однорідних за часом та однорідних ізотропних за просторовими координатами на площині.

Вказано розклад у модифікований ряд Котельникова-Шеннона для таких випадкових полів та тримано оцінки їх середньоквадратичного наближення частковими сумами цього розкладу з використанням результатів [7] та [2].

На основі такого розкладу побудовано модель [3] гауссівського однорідного за часом та однорідного ізотропного за просторовими координатами на площині випадкового поля $\xi(t,\rho,\phi)$ на $R\times R^2$ з обмеженим спектром, зосередженим на інтервалі $[-\tilde{\omega},\tilde{\omega}]$, у вигляді :

**© Вижва З., 2013**

$$\tilde{\xi}N,M\left(t,r,\varphi\right)=\sum_{k=-N}^{N}\frac{\sin\omega\left(t\frac{k\pi}{\omega}\right)}{\omega\left(t\frac{k\pi}{\omega}\right)}\left\{\varsigma_{0,1}^{k}\left(r\right)+\sqrt{2}\sum_{m=1}^{M}\left[\varsigma_{m,1}^{k}\left(r\right)\cos m\varphi+\varsigma_{m,2}^{k}\left(r\right)\sin m\varphi\right]\right\} \quad (1)$$

де $\omega$ – будь-яке число: $\omega>\tilde{\omega}$, $\varsigma_{m,1}^{k}\left(r\right)$, $\varsigma_{m,2}^{k}\left(r\right)$, $m=0,1,...M$; $k=-\overline{N,N}$ − послідовності гауссівських випадкових процесів, які задовольняють умовам:

$$E\varsigma_{m,i}^{k}\left(r\right)=0,\ E\varsigma_{m,i}^{k}\left(r\right)\varsigma_{n,j}^{1}\left(r\right)=\delta_{i}^{j}\delta_{n}^{m}\tilde{b}_{m}\left(\frac{\left(k-1\right)\pi}{\omega},r\right);\ m,n=0,1,...M;\ k,1=-\overline{N,N};\ i,j=1,2. \quad (2)$$

Причому, $\left\{\tilde{b}_{m}(t-s,r)\right\}$ − послідовність додатньо визначених ядер на R×R+, які можна обчислити за просторово-часовим спектром $\Phi\left(du,d\lambda\right)$ випадкового поля $\xi(t,r,\phi)$ та для яких виконується така умова: $\sum_{m=1}^{\infty}\tilde{b}_{m}\left(t-s,r\right)<\infty$. Вони мають наступний вигляд:

$$\tilde{b}_{m}\left(t-s,r\right)=\int_{|u|\le\tilde{\omega}}\int_{0}^{+\infty}e^{i(t-s)u}J_{m}^{2}\left(r\lambda\right)\Phi\left(du,d\lambda\right), \quad (3)$$

де $J_{m}\left(u\right)$ − функція Бесселя першого роду порядку $m$.

Сформульовано алгоритм статистичного моделювання реалізацій гауссівських однорідних за часом та однорідних ізотропних за просторовими змінними на площині випадкових полів $\xi(t,r,\phi)$ з обмеженим за часом $t$ спектром.

Алгоритм

1. Вибираємо, відповідно до необхідної точності ε > 0, натуральні числа *N* та *M* для моделі (1) за допомогою однієї з наступних нерівностей:

$$\frac{1}{\pi}\frac{1}{M}\left(\frac{1}{2}r\tilde{\mu}_{1}+r^{2}\tilde{\mu}_{2}\right)+\frac{4}{\pi^{2}\left(2N-1\right)}\tilde{B}_{M}\left(0,r\right)<\varepsilon,$$

де *r* – полярний радіус, $\tilde{\mu}_{k}=\int_{-\tilde{\omega}}^{+\tilde{\omega}}\int_{0}^{+\infty}\lambda^{k}\Phi\left(du,d\lambda\right)$,

$\tilde{B}_{M}\left(0,r\right)=\tilde{b}_{0}\left(0,r\right)+2\sum_{m=1}^{M}\tilde{b}_{m}\left(0,r\right)$.

2. Моделюємо послідовності гауссівських випадкових величин (*r* – фіксований полярний радіус) які задовольняють умовам (2).

3. Обчислюємо вираз (1) у заданій точці $\left(t,r,\varphi\right)\in\left[-T,T\right]\times A^{2},A^{2}\subset R^{2}$, підставляючи в нього обчислені за попередніми пунктами 1 та 2 величини *N* та *M* і послідовності значень гауссівських випадкових величин.

4. Перевіряємо згенеровану за п. 3 реалізацію випадкового поля $\xi\left(t,r,\varphi\right)$ у точках сітки в області спостереження на адекватність даним цього випадкового поля шляхом порівняння відповідних статистичних характеристик.

**1. Приклад чисельного моделювання**

В цьому прикладі розглянуто практичне використання розробленого алгоритму та моделі (1) для чисельного моделювання реалізацій дійснозначних однорідних за часом, однорідних ізотропних за змінними $r,\theta,\varphi$ на $R\times R^{2}$ випадкових полів $\xi\left(t,r,\varphi\right)$ з обмеженим спектром із просторово-часовою кореляційною функцією $B_{z}\left(\tau,\rho\right)$. При моделюванні випадкових полів із такою кореляцією можна скористатись підходом [5], який розділяє просторову та часову компоненти за правилом добутку-суми:

$$B_{z}\left(\tau,\rho\right)=k_{1}B_{x}\left(\rho\right)B_{t}\left(\tau\right)+k_{2}B_{x}\left(\rho\right)+k_{3}B_{t}\left(\tau\right), \quad (4)$$

де $k_1$, $k_2$, $k_3$ – коефіцієнти, які можна визначити із наступних співвідношень:

$$k_{1}=\frac{B_{x}\left(0\right)+B_{t}\left(0\right)-B_{z}\left(0,0\right)}{B_{x}\left(0\right)B_{t}\left(0\right)},$$

$$k_{2}=\frac{B_{z}\left(0,0\right)-B_{t}\left(0\right)}{B_{x}\left(0\right)},$$

$$k_{3}=\frac{B_{z}\left(0,0\right)-B_{x}\left(0\right)}{B_{t}\left(0\right)}.$$

Просторову кореляційну функцію $B_{x}\left(\rho\right)$ підібрано, відповідно до побудованої просторової варіограми $\gamma_{x}\left(\rho\right)$, у вигляді функції типу Коші при значеннях параметрів *a*=1 та ν=1, яка задана формулою:

$$B_{x}\left(\rho\right)=\left(1+\frac{\rho^{2}}{a^{2}}\right)^{-\nu},\ \nu>0,\ a>0. \quad (5)$$

Графічне зображення просторової варіограми $\gamma_{x}(\rho)$, (емпіричної та теоретичної) для згенерованої реалізації випадкового поля $\xi(t,r,\varphi)$ за моделлю (1) при значенні часу *t* = 0 на сітці точок площини $\rho\in[0.0,0.1,...,1],\varphi\in\left[0,\frac{2\pi}{10},...,2\pi\right]$ наведено на рис. 2а.

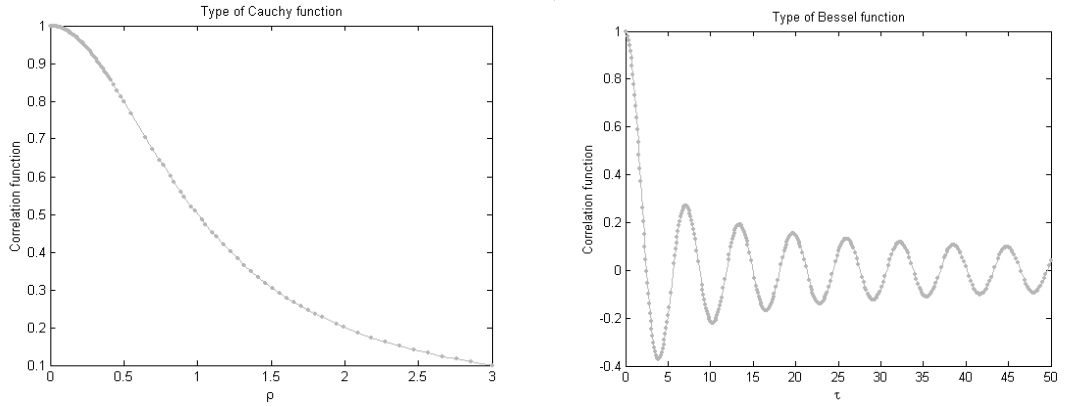
Часова кореляційна функція $B_{t}\left(\tau\right)$ була підібрана, відповідно до побудованої часової варіограми $\gamma_{t}\left(\tau\right)$, у вигляді функції бесселевого типу при значеннях параметрів *a*=1 та *v*=0,55, тобто із сімейства функцій:

$$B_{t}\left(\tau\right)=\Gamma(\nu+1)\ 2^{\nu}\ \frac{2\ J_{\nu}(a\tau)}{\left(a\tau\right)^{\nu}},\quad a>0,\ \nu>0, \quad (6)$$

де $\Gamma(x)$ − гамма- функція, а $J_{\nu}(u)$ − функція Бесселя першого роду порядку $\nu$.

Графіки гросторової кореляційної функції $B_{x}\left(\rho\right)$ типу Коші при *a* = 1 та *v* = 1 та часової кореляційної функції $B_{t}\left(\tau\right)$ бесселевого типу при значеннях параметрів *a* = 1 та *v* = 0,55 зображено на рис. 1а та 1б відповідно.

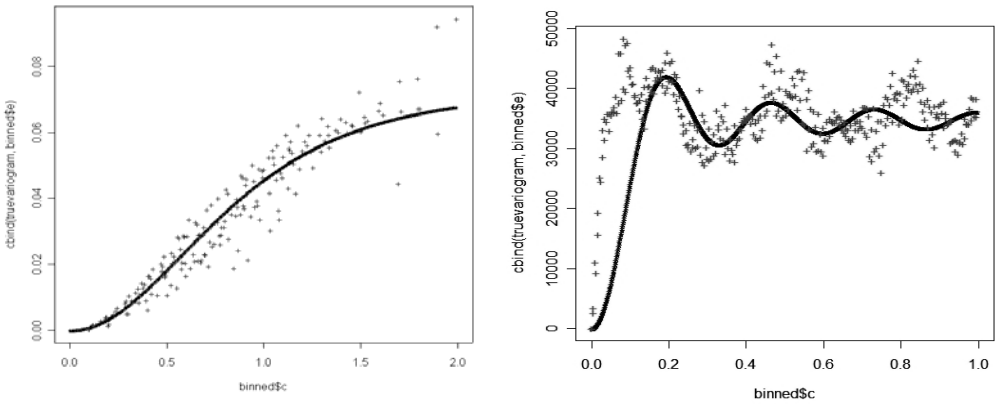
Побудовано часову варіограму $\gamma_{t}\left(\tau\right)$ результатів моделювання реалізації випадкового процесу $\xi(t,r,\varphi)$ за моделлю (1) у точці простору $(r,\varphi)$ = (0,0), коли час *t* змінюється в межах 0≤ *t* ≤*T*, *T*=20,01 секунди при Δ*t* = 1/ω =*T*/*N*, Δ*t*=0,01 секунди, ω =100 (*N* – кількість точок спостережень за часом, *N*=2001). Графічне зображення такої часової варіограми (емпіричної та теоретичної) наведено на рис.2 б.




а) б)

**Рис. 1. Кореляційні функції:**

а) просторова функція $B_x(\rho)$ типу Коші при *a* = 1 та *v* = 1; б) часова функція $B_t(\tau)$ бесселевого типу при *a* = 1 та *v* = 0,55




а) б)

**Рис. 2. Емпіричні (хрестики) та теоретичні (крива) варіограми:**

а) просторова варіограма $\gamma_x(\rho)$ – для усереднення по 20 реалізаціям випадкового поля $\xi(0,r,\varphi)$ із кореляційною функцією типу Коші при *v* = 1; б) часова варіограма $\gamma_t(\tau)$ − для усереднення по 15 реалізаціям випадкового поля $\xi(t,0,0)$ із кореляційною функцією бесселевого типу при *a* = 1 та *v* = 0,55

Якщо для прикладу випадкового поля $\xi(t,r,\varphi)$ на $R\times R^2$ вибрати просторову кореляційну функцію $B_x(\rho)$ у вигляді формули (5) та часову кореляційну функцію $B_t(\tau)$ із сімейства функцій (6) із вказаними вище значеннями констант *a* та v , то модель просторово-часової кореляційної функції $B_z(\tau,\rho)$ такого випадкового поля можна задати виразом:

$$B_z(\tau,\rho)=k_1\times\frac{1}{1+\rho^2}2^{0,055}\tau^{-0,055}\Gamma(1,055)J_{0,055}(\tau)+ \\ +k_2\times\frac{1}{1+\rho^2}+k_3 2^{0,055}\tau^{-0,055}\Gamma(1,055)J_{0,055}(\tau), \quad (7)$$

де коефіцієнти $k_1=0,433745,\quad k_2=0,999985,$ $k_3=0,862067.$

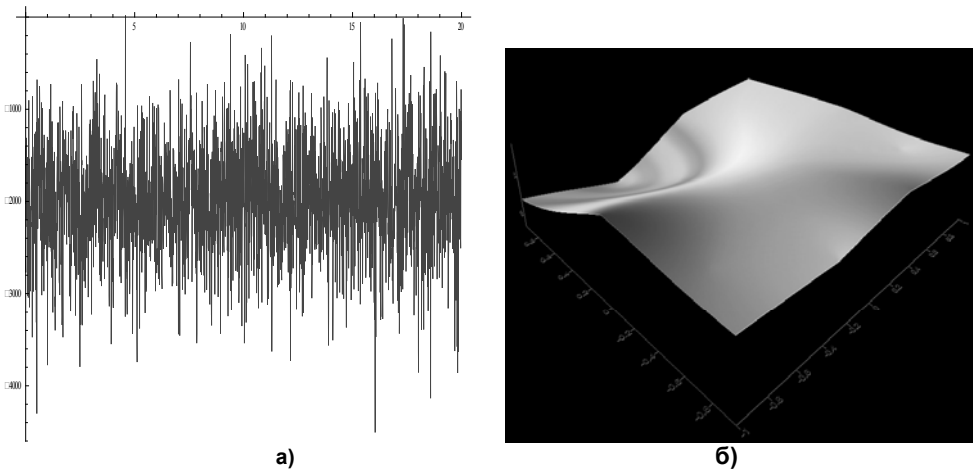
Для графічної інтерпретації змодельованих реалізацій випадкового поля $\xi(t,r,\varphi)$ із такою просторово-часовою кореляційною функцією $B_z(\tau,\rho)$ побудовано графік реалізації випадкового процесу $\xi(t,0,0)$, в точках $t_k=k\times0,01;\ \ k=\overline{1,N};\ N=2001$ за час спостереження t від 0 до 20 секунд (рисунок 3 а), причому $r$ та $\varphi$ – фіксовані та рівні нулю), та, з використанням програми Surfer, каркасну поверхню реалізації випадкового поля $\xi(0,r,\varphi)$ ($t$ − фіксоване та рівне нулю) на сітці точок площини $r\in[0.0,0.1,...,1.0],\varphi\in\left[0,\frac{2\pi}{10},...,2\pi\right]$, яка зображена на рис. 3б.

Відповідна просторово-часовій кореляційній функції $B_z(\tau,\rho)$ вигляду (7) випадкового поля $\xi(t,r,\varphi)$ модель просторово-часової варіограми $\gamma_z(\rho,t)$ цього поля буде задана виразом:

$$\gamma_z(\rho,t)=\left(k_1B_x(0)+k_3\right)\times\left(B_t(0)-2^{0,055}t^{-0,055}\Gamma(1,055)J_{0,055}(t)\right)+ \\ +\left(k_1B_z(0)+k_2\right)\times\left(B_x(0)-\frac{1}{1+\rho^2}\right)+k_1\left(B_x(0)-\frac{1}{1+\rho^2}\right)\times \\ \times\left(B_t(0)-2^{0,055}t^{-0,055}\Gamma(1,055)J_{0,055}(t)\right),$$

де $B_x(0)=0,138$ − дисперсія просторових проб, $B_t(0)=3,48\times10^{-5}$ − дисперсія часових проб, а коефіцієнти $k_1$, $k_2$, $k_3$ – ті самі, що і для просторово-часової кореляційної функції $B_z(\tau,\rho)$ у формулі (7).

Графічне зображення просторово-часової варіограми $\gamma_z(\rho,t)$ випадкового поля $\xi(t,r,\varphi)$ із просторовою кореляційною функцією $B_x(\rho)$ типу Коші при *a* = 1 та *v* = 1 та часовою кореляційною функцією $B_t(\tau)$ бесселевого типу наведено на наступному рис. 4 а).



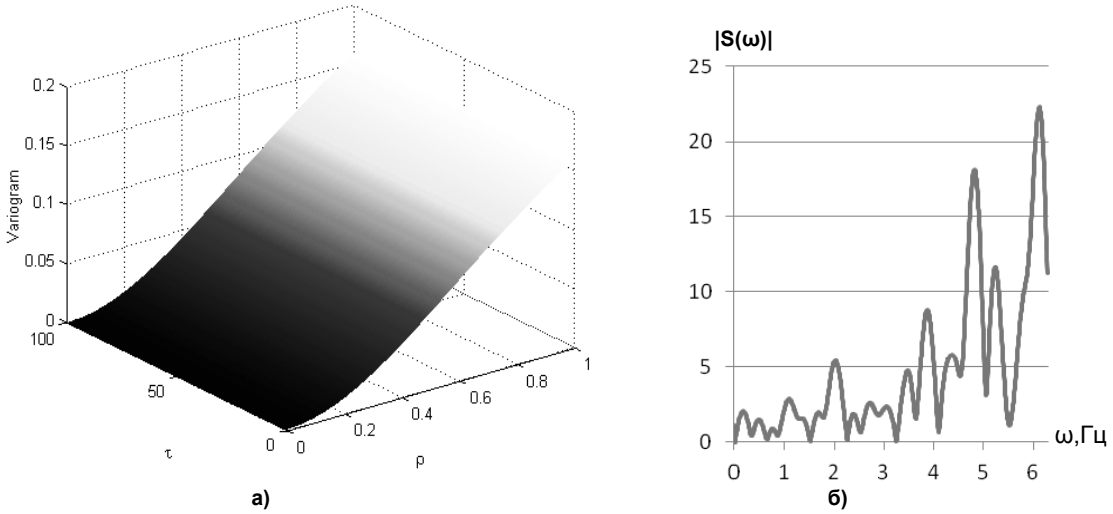
а) б)

**Рис. 3. Зображення: а) графіка зімітованої реалізації випадкового процесу $\xi(t,0,0)$, де час спостереження *t* − від 0 до 20 секунд; b) поверхні зімітованої реалізації поля $\xi(0,r,\varphi)$ із кореляційною функцією типу Коші при $v=1$.**

**Спектральний аналіз виділеного та згенерованого шуму.** Оцінки частотних характеристик геологічного середовища області спостереження (наприклад, під будівельними майданчиками) були отримані шляхом розрахунку та побудови графіків амплітудного та фазового спектрів шумів в сейсмограмах пунктів спостережень у такій області. Розрахунки проводилися прямим способом [1], тобто методом періодограм. Також було побудоване спектральне відношення земної кори, яке не залежить від спектра падаючих сейсмічних хвиль, а визначається виключно будовою геологічного середовища під досліджуваним пунктом.

На рис. 4б наведено побудований графік розрахованого амплітудного спектру |S(ω)| по компоненті NS − "північ-південь" для прикладу усереднених даних масивів шуму сейсмограми на пункті спостереження BUG3 в місті Одеса. Загальний час запису інформації, з якої обиралися реалізації для аналізу, тривав близько 1,5 годин. Такий спектр відповідає з деяким допустимим наближенням теоретичному спектру випадкового процесу $\xi(t,0,0)$, що є звуженням випадкового поля $\xi(t,r,\varphi)$ на часову вісь (при цьому змінні $r$ та $\varphi$ – фіксовані та рівні нулю). Часова кореляційна функція $B_t(\tau)$ випадкового процесу $\xi(t,0,0)$ має вигляд функції Бесселя при значеннях параметрів *a* = 1 та *v* = 0,55 (рис. 1а)) тобто:

$$B_t(\tau)=2^{0,055}\tau^{-0,055}\Gamma(1,055)J_{0,055}(\tau)$$




а) б)

**Рис. 4. а) Часово-просторова варіограма $\gamma_z(\rho,t)$ випадкового поля $\xi(t,r,\varphi)$; б) графік амплітудного спектру |S(ω)| усереднених даних масивів шуму сейсмограми $\xi(t,0,0)$ на компоненті NS для пункту спостереження BUG3**

**Висновки.** Розроблено модель та алгоритм статистичного моделювання однорідних за часом, однорідних ізотропних за змінними на площині випадкових полів з обмеженим спектром, застосування яких проілюстровано на прикладі генерування реалізацій шуму сейсмограм плоскої області спостереження. Такі результати є продовженням напрямку досліджень, започаткованим у роботах [2], [3], [4] та [6] і є важливим доповненням до методів Монте-Карло, які використовуються в геології, наприклад, в [9].

**Список використаних джерел**

1. *Бат М.* Спектральный анализ в геофизике. Пер. с англ. / Бат М. – М.: Недра, 1980. – 535 с.

2. *Вижва З. О.* Статистичне моделювання випадкових процесів та полів./ Вижва З. О. – К.: Обрії, 2011. – 388 с.

3. *Вижва З. О.* Статистичне моделювання сейсмічного шуму у двовимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища / Вижва З. О. // Вісн Київ. ун-ту. Геологія. – 2012. – № 59. – С. 65-67.

4. *Вижва З. О.* Статистичне моделювання 3D випадкового поля за розкладом Котельникова-Шеннона / Вижва З. О., Федоренко К. В. // Теор. йм. та мат. стат. – 2013. – № 48 (здано до друку).

5. *Демьянов В. В.* Геостатистика / Демьянов В. В., Савельева Е. А. / Под ред. Арутюняна Р.В. – М.: Наука. – 2010. – 327 с.
6. *Вижва З. О.* Визначення частотних характеристик геологічного середовища під будівельними майданчиками з використанням статистичного моделювання сейсмічного шуму на прикладі спостережень в м. Одесі / Кендзера О. В., Вижва З. О., Федоренко К. В., Вижва А. С. // Вісн Київв. ун-ту. Геологія. – 2012. – № 58.
7. *Оленко А. Я.* Порівняння оцінок помилки апроксимації в теоремі Котельникова-Шеннона / Оленко А. Я. // Вісник Київ. нац. ун- ту. – 2005. – Вип. 13. – С. 41-45.
8. *Пригарин С. М.* Методы численного моделирования случайных процессов и полей / Пригарин С. М. – Новосибирск: Изд-во ИВМ и МГ, 2005. – 259 с.
9. *Ядренко М. И.* Спектральная теория случайных полей / *Ядренко М. И.* – К., 1980.
10. *Chiles J. P.* Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty / Chiles J. P., Delfiner P. / John Wiley & Sons, Inc. New York, Toronto. – 2009.- 720 p.
11. *Gneiting T.* Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics / Gneiting T. / Von der Universitat Bayeuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung.- 1997. – P.107.
12. *Schlather M.* Introduction to Positive Define Functions and to Unconditional Simulation of Random Fields / Schlather M. / Technical Report ST-99-10. Lancaster University, UK. – 1999.
13. *Lantuejoul C.* Geostatistical simulations: models and algoritm / Lantuejoul C. /. – Springer, 2001. – 256 p.
14. *Mantoglov A.* Simulation of random fields with turning bands method / Mantoglov A., Wilson John L. // "MIT Ralph M.Parsons Lab. Hydrol. And Water Syst. Rept". – 1981. – N 264. – 199 p.

**Надійшла до редколегії 29.03.13**

**З. Выжва, д-р физ.-мат. наук, доц.**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА В ТРЕХМЕРНОЙ ОБЛАСТИ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

***Рассмотрена задача статистического моделирования случайных полей в трёхмерной области переменных (однородных по времени и однородных изотропних по пространственным координатам на плоскости) при внедрении в сейсмологические исследования для определения частотных характеристик геологической среды. Построена модель и сформулирован алгоритм численного моделирования реализаций таких случайных полей на основании модифицированных интерполяционных разложений Котельникова-Шеннона для генерирования адекватных реализаций шума сейсмограмм.***

**Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Assos. Prof.**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## THE STATISTICAL SIMULATION OF 3-D SEISMIC NOISE FOR FREQUENCY CHARACTERISTICS OF GEOLOGY ENVIRONMENT DETERMINATION

***The problem of random fields in 3D space (homogeneous in time as well as homogeneous isotropic in the plane) statistical simulation has been considered for the introducing into seismic research into frequency characteristics of geology environment. Statistical model of such random fields and numerical simulation algorithm have been developed on the basis of modified Kotelnikov-Shennon interpolation sums for generating of adequate realizations seismic noise.***

**УДК 550.831**

**П. Міненко, д-р фіз.-мат. наук**
**Криворізький педагогічний інститут**
**Державного вищого навчального закладу "Криворізький національний університет", Кривий Ріг**

# МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ СТІЙКИХ РОЗВ'ЯЗКІВ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ГРАВІМЕТРІЇ ТА МАГНІТОМЕТРІЇ З УТОЧНЕННЯМ ІТЕРАЦІЙНИХ ПОПРАВОК

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, І.М. Корчагіним)***

***Виконано розробку теорії ітераційного методу для розв'язку оберненої задачі гравіметрії й магнітометрії та на базі неї уточнено структуру формули ітераційної поправки до фізичного параметра, яка оптимізується разом з ітераційним коефіцієнтом. При цьому враховано нев'язки поля на двох суміжних ітераціях, що забезпечує більш ефективне диференційоване або загальне подавлення різних класів похибок виміру поля та введення в нього різних поправок. Отримана більш точна формула для врахування в ітераційній поправці оберненої матриці. Методи оптимізації з новою ітераційною поправкою до фізичного параметра дають більш об'єктивне відновлення поля, яке проявляється у вигляді більш пологих прогинів і зламів ізоліній на картах та розрізах аномальної щільності й інтенсивності намагнічування гірських порід і набагато меншою кількістю дрібних замкнутих контурів, що свідчить про більш якісну інтерпретацію поля або його трансформант.***

**Постановка проблеми.** Останнім часом для стійкого розв'язку обернених задач (ОЗ) гравіметрії та магнітометрії використовували ітераційний метод з критерієм безумовної оптимізації функціоналу у вигляді мінімуму суми квадратів нев'язок поля чи поправок до фізичного параметру, який є статистичним, як аналог методу найменших квадратів. Але завдяки тому, що для ітераційної формули з ітераційним оптимізуючим коефіцієнтом була знайдена доволі надійна ітераційна поправка до фізичного параметра [3], подальші зусилля майже всіх дослідників зосередилися на пошуку кращих функціоналів та критеріїв їхньої умовної чи безумовної оптимізації [1,2,4]. В той же час удосконаленням ітераційних поправок майже ніхто не займався, а теоретичні основи їхньої побудови геофізиками взагалі не розглядалися. Це призвело до такого стану, що ітераційні методи розвивалися, а проблеми з виходом на кінцевий розв'язок ОЗ у сильно аномальних зонах та в шарах блоків на великих глибинах залишалися нерозв'язаними.

**Аналіз останніх досліджень.** В [2] запропоновані нові критерії оптимізаціїї розв'язків ОЗ, які забезпечують пошук максимальних стрибків фізичного параметру на границях геологічних шарів або повністю відокремлюють похибку виміру поля від корисного сигналу [1,4]. Але при цьому корисний сигнал неповністю відновлювався значеннями фізичного параметра, хоча розв'язок ОЗ вже вийшов на стаціонарні показники нев'язок поля та нульові поправки до фізичного параметра. Можливо, що це пов'язано з недостатньою якістю ітераційної поправки чи ітераційної формули.

**Виділення не вирішених раніше частин проблеми.** До цього часу не було виконано теоретичної розробки ітераційного методу для специфічних умов розв'язку обернених задач геофізики при наявності похибок різної природи та різного розподілу в просторах середовища та фізичного параметра.

**Формулювання цілей роботи.** Виконати розробку теорії ітераційного методу для розв'язку ОЗ та на базі

**© Міненко П., 2013**

нього уточнити структуру формули ітераційної поправки до фізичного параметра.

**Виклад основного матеріалу.** Запишемо ітераційну формулу для фізичного параметра

$$\sigma_{i,n+1} = \sigma_{i,n} - \tau_{r,n+1} B_{i,n}; \quad (1)$$

де $\sigma_{i,n}$ та $\sigma_{i,n+1}$ – значення щільності гірських порід в кожному $i$-му блоці вибранної моделі на $n$-й та $n+1$-й ітераціях; $\tau_{r,n+1}$ – ітераційний оптимізуючий коефіцієнт (ІОК) для $n+1$-ї ітерації; $B_{i,n}$ – ітераційна поправка (ІП) до $\sigma_{i,n}$ на $n+1$-ї ітерації;

Запишемо формулу нев'язки $r_{j,n}$ для кожної $j-$ої точки поля $g_j$ на $n$-й ітерації

$$r_{j,n} = (\sigma_{i,n}, a_{ij}) - g_j; \quad (2)$$

де $a_{ij}(i=1,M; j=1,N)$ – матриця $A$ розв'язків прямої задачі гравіметрії;

Тоді ітераційна формула по нев'язці $r_{j,n+1}$ поля $g_j$ на наступній $n+1$-й ітерації має вигляд

$$r_{j,n+1} = r_{j,n} - \tau_{r,n+1} Z_{j,n}; \quad (3)$$

де $Z_{j,n} = (B_{i,n}, a_{ij})$ – поправка до нев'язки поля на наступній $n+1$-й ітерації.

Відомий критерій БО для розв'язку лінійної ОЗГ по нев'язці $r_{j,n+1}$ поля $g_j$ на наступній $n+1$-й ітерації по обчислених на $n$-й ітерації значеннях аномальної щільності $\sigma_{i,n}$ гірських порід в кожному $i$-му блоці вибранної моделі має вигляд:

$$F_r = (r_{j,n+1}, r_{j,n+1}) = \min(\tau); \quad (4)$$

Якщо ітераційна поправка вже вибрана, то оптимізація виразу (4) по нев'язці поля на $n$-й ітерації дає для наступної $n+1$-ї ітерації такий результат

$$\tau_{r,n+1} = (r_{j,n}, Z_{j,n}) / (Z_{j,n}, Z_{j,n}); \quad (5)$$

У відомих методах із [1,2] була використана ітераційна поправка із [3]

$$B_{i,n} = B_{i,n,o} = (r_{j,n}, a_{ij} / \lambda_j \lambda_i); \quad (6)$$

де $\lambda_i = (a_{ji}, 1)_j; \lambda_j = (a_{ji}, 1)_i;$

Оскільки вона нас не влаштовує, то повернемося до формули (3) і помножимо її на транспоновану матрицю $A'$ :

$$A' r_{j,n+1} = A' r_{j,n} - \tau_{r,n+1} A'A B_{i,n}; \quad (7)$$

Із (7) отримаємо точну формулу для ітераційної поправки

$$B_{i,n} = (A'A)^{-1} A' (r_{j,n} - r_{j,n+1}) / \tau_{r,n+1}; \quad (8)$$

де $\tau_{r,n+1}$ – стала величина для всіх $B_{i,n}$ на одній ітерації.

Таким чином, наближена поправка за формулою (6) відрізняється від точної поправки (8) тим, що для неї нев'язка поля на наступній ітерації повинна бути повністю скомпенсована, тобто $r_{j,n+1} = 0;$

Але в гравіметрії, а також і в магнітометрії, в нев'язку $r_{j,n+1}$, крім нев'язки обчислень за ітераційним методом через неповне відновлення поля фізичним параметром, входять також похибки виміру поля, похибки за введення поправок та похибки модельної апроксимації геологічних аномальних тіл. Ці похибки в процесі розв'язку ОЗ перетворюються в добавки до фізичних параметрів, збільшують похибку інтерпретації поля та кількість ітерацій, а може й приводять до повторення обчислень через одну ітерацію до нескінченності. В такому випадку доцільно ввести обмеження

$$r_{j,n+1} = r_{j,n} / k_{j,n};$$

де $k_{j,n} > 1,$ але може бути сталою величиною для всіх *j* та *n,* наприклад, рівною 2 чи 3.

Тоді формули (8) та (6) будуть мати вигляд:

$$\tau_{r,n+1} B_{i,n} = (A'A)^{-1} A' r_{j,n} (1 - 1/k_{j,n}); \quad (9)$$

$$B_{i,n,1} = (r_{j,n}, a_{ij} / \lambda_j \lambda_i (1 - 1/k_{j,n})); \quad (10)$$

Наприклад, при $k_{j,n} \equiv 2$: $B_{i,n,1} = (r_{j,n}, a_{ij} / \lambda_j \lambda_i / 2);$

Така зміна ітераційної поправки приводить до суттєвої зміни розв'язку ОЗ.

В формулі (8) є ще одна суттєва деталь – наявність оберненої матриці $(A'A)^{-1}$, але ця матриця може бути виражена її розкладом через власні числа

$$(A'A)^{-1} = 1/(a_{ij}, \lambda_j); \quad (11)$$

Враховуючи (11), запишемо (9) без ітераційного коефіцієнта, оскільки він підлягає оптимізації,

$$B_{i,n} = (a_{ij}, r_{j,n}(1 - 1/k_{j,n})) / (a_{ij}, \lambda_j); \quad (12)$$

Поправки (12) та (10) при $k_{j,n} \equiv 2$ дають майже однакові розв'язки ОЗ, як в гравіметрії, так і в магнітометрії, але вони помітно відрізняються від розв'язків з поправкою (6), особливо на ділянках з високими аномальними значеннями фізичних параметрів геологічних масивів.

Є інший варіант врахування формули (8). Для цього треба перейти, враховуючи (11), до іншого ітераційного методу, використовуючи (8) у вигляді

$$B_{1,i,n} = ((a_{ij}, r_{j,n}) - (a_{ij}, r_{j,n+1})) / (a_{ij}, \lambda_j) = (a_{ij}, Z_{j,n})) / (a_{ij}, \lambda_j); \quad (13)$$

Критерії для методів із [1,2] з більш точною поправкою (13) суттєво відрізняються від відомих, що видно із нової ітераційної формули з новим ітераційним коефіцієнтом:

$$B_{1,i,n+1} = B_{1,i,n} - \tau_{1,n+1}(a_{ij}, (a_{ij}, B_{1,i,n}) / (a_{ij}, \lambda_j)) = B_{1,i,n} - \tau_{1,n+1} C_{1,i,n};$$

$$\tau_{1,n+1} = (B_{1,i,n}, C_{1,i,n}) / (C_{1,i,n}, C_{1,i,n}); \quad (14)$$

**Висновки.** 1. При строгому доведенні формула ітераційної поправки має дві відмінності від відомої: врахована доля нев'язок в кожній точці виміру поля за допомогою коефіцієнта $k_{j,n}$ та нової поправки (13), і отримана більш точна формула (11) для врахування оберненої матриці.

2. Методи оптимізації (4)-(5), (13)-(14) з новою ітераційною поправкою до фізичного параметра дають більш об'єктивне відновлення поля, яке проявляється у вигляді більш пологих прогинів і зламів ізоліній та набагато меншою кількістю дрібних замкнутих контурів, що говорить про більш якісну інтерпретацію поля або його трансформант.

**Перспективи подальших досліджень.** Варто використати знайдену поправку в методах оптимізації з критеріями, відмінними від мінімуму суми квадратів нев'язок поля чи його трансформацій.

**Список використаних джерел**

1. *Миненко П.А.* Оптимизационные линейные алгоритмы обработки геологической и геофизической информации при поисках рудных залежей// Сб. научн. тр. НИГРИ "Проблемы разработки руд черных металлов". – Кр. Рог. – 1991. – С. 107–111.

2. *Миненко П.А., Миненко Р.В.* О поисках избирательных экстремальных решений обратной задачи магнитометрии при исследованиях на кристаллическом фундаменте// "Науковий вісник НГУ". – Днепропетровск, 2006. – №9. – С. 39–44.

3. *Старостенко В.И., Козленко В.Г., Костюкевич А.С.* Сейсмогравитационный метод: принципы, алгоритмы, результаты// Вісник АН УРСР. – К. – 1986. – №12. – С. 28–42.

4. *Страхов В.Н.* К Про ефективні за швидкодією та точністю методи побудови лінійних аналітичних апроксимацій в геодезії, геоінформатиці та гравіметрії// Сб. наук. пр./ Всеукр. Асоц. Геоінформатики "Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики". – К.- 2005. – С. 12–57.

**Надійшла до редколегії 28.11.12**

**П. Миненко, д-р физ.-мат. наук**
**Криворожский педагогический институт**
**Государственного висшего учебного заведения "Криворожский национальный университет", Кривой Рог**

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ УСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ И МАГНИТОМЕТРИИ

***Выполнена разработка теории итерационного метода для решения обратной задачи гравиметрии и магнитометрии и на ее базе уточнена структура формулы итерационной поправки к физическому параметру, которая оптимизируется вместе с итерационным коэффициентом. При этом учтены невязки поля на двух смежных итерациях, что обеспечивает более эффективное дифференцированное или общее подавление разных классов погрешностей измерения поля и введения у него разных поправок. Полученна более точная формула для учета в итерационной поправке обратной матрицы. Методы оптимизации с новой итерационной поправкой к физическому параметру дают более объективное восстановление поля, которое проявляется в виде более пологих прогибов и изломов изолиний на картах и разрезах аномальной плотности и интенсивности намагничивания горных пород при намного меньшем количестве мелких замкнутых контуров, что свидетельствует о более качественной интерпретации поля или его трансформант.***

**P. Minenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.)**
**Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih**

## THEORETICAL BASES OF ITERATIVE METHODS OF OPTIMIZATION OF STEADY DECISIONS OF RETURN PROBLEMS GRAVIMETRY AND A MAGNETOMETRY

***Working out of the theory of an iterative method for the decision of a return problem gravimetry and a magnetometry is executed and on its base the structure of the formula of the iterative amendment to physical parameter which is optimized together with iterative factor is specified. Are thus considered fields on two adjacent iterations that provides more effective differentiated or general suppression of different classes of errors of measurement of a field and introduction at it different amendments are nonviscous. More exact formula is developed for the account in the iterative amendment of a return matrix. Methods of optimization with the new iterative amendment to physical parameter give more objective restoration of a field which is shown in the form of more flat deflections and breaks of isolines on cards and cuts of abnormal density and intensity of magnetization of rocks at much smaller quantity of the small closed contours which testifies to better interpretation of a field or it transformation.***

**УДК 556. 3. 002 (519.2)**

**О. Остроух, асп.**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОПРАЦЮВАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (НА ПРИКЛАДІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Є. Кошляковим)***

***Викладено результати розробки та апробації технологічної схеми опрацювання даних хімічного складу підземних вод алювіальних відкладів південно-західної частини Закарпатської області на базі сучасного геоінформаційного забезпечення з метою аналізу їх просторово-часових змін.***

**Постановка проблеми.** Для забезпечення потреб водопостачання населення, промислових та сільськогосподарських об'єктів південно-західної частини Закарпатської області, де зосереджені найбільші населені пункти (Ужгород, Мукачеве, Берегове, Чоп, Виноградів) широко використовуються підземні води водоносного горизонту алювіальних відкладів минайської світи (al $P_{II-III}$mn). Вивчення просторово-часової мінливості показників хімічного складу питних підземних вод є актуальним завданням фахівців-гідрогеологів, адже виявлення необхідної характеристики змін якості води на великих водозаборах може вплинути на вирішення питань у сфері питної води та питного водопостачання (технології обробки питної води тощо).

Сьогодні ГІС-технології внесли принципово нові зміни в технологічні схеми обробки гідрогеологічної інформації, чим значно прискорили і оптимізували цей процес. Завдяки сучасним геоінформаційним системам ми маємо змогу моделювати гідрогеологічні процеси і явища, які швидко змінюються в просторі і часі, при цьому здійснюючи автоматизований аналіз просторової мінливості досліджуваного показника.

**Стан вивчення проблеми.** Моніторингові спостереження за станом підземних вод у межах території дослідження проводяться починаючи з 1965 р Закарпатською геологорозвідувальною експедицією. Хімічний склад підземних вод водоносного горизонту алювіальних відкладів минайської світи досліджується акредитованою лабораторією Закарпатської геологорозвідувальної експедиції, де у відібраних пробах визначається вміст основних макро- та мікрокомпонентів, загальної мінералізації та твердості, азотистих сполук (нітрати, нітрити, амоній), заліза, марганцю. На площі розвитку алювію минайської світи виділяються ділянки, де поширені підземні води з підвищеними вмістом хлору, мінералізацією та твердістю води. В ряді випадків аномалії пов'язують з природними причинами (с. Батьово, м. Берегове) та з промисловим забрудненням (ряд водозаборів м. Мукачеве) [1].

У наявних режимно-довідникових публікаціях (звітах з вивчення режиму підземних вод, контролем за їх станом на території Закарпатської області) [3], оцінка забруднення підземних вод подається за даними за поточний рік порівняно з показниками за декілька попередніх років. Оцінки тенденцій багатолітніх (30-40 рр) змін хімічного складу підземних вод у межах південно-західної частини Закарпатської області в доступній літературі не виявлено.

**© Остроух О., 2013**

**Метою дослідження** є розробка та апробація технологічної схеми опрацювання вхідних гідрогеологічних даних на базі сучасного геоінформаційного забезпечення.

**Виклад основного матеріалу**. Апробація методики обробки даних моніторингових досліджень на базі ГІС-технологій виконана для одного з головних елементів режиму підземних вод – хімічного складу, показники якого постійно змінюються в просторі та часі та мають, безсумнівно, важливе значення для здоров'я населення.

Блок-схема алгоритму обробки вхідних даних, що базувалася на програмному забезпеченні ArcGIS Desktop, схематично зображена на рис. 1.

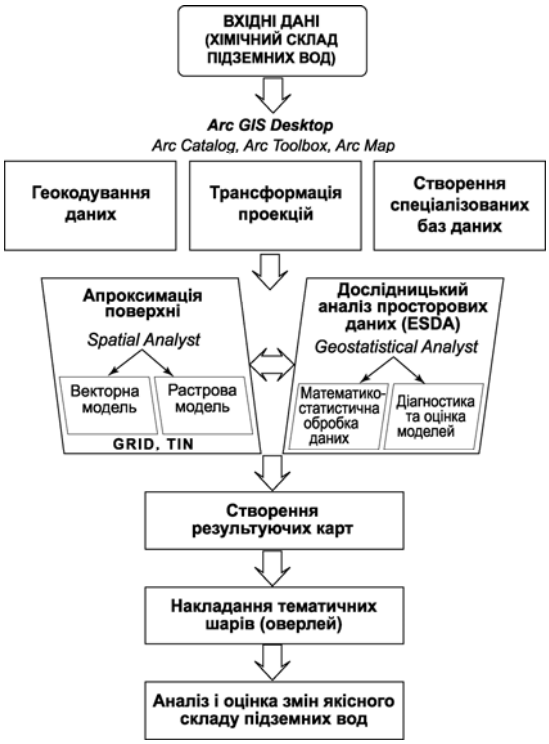
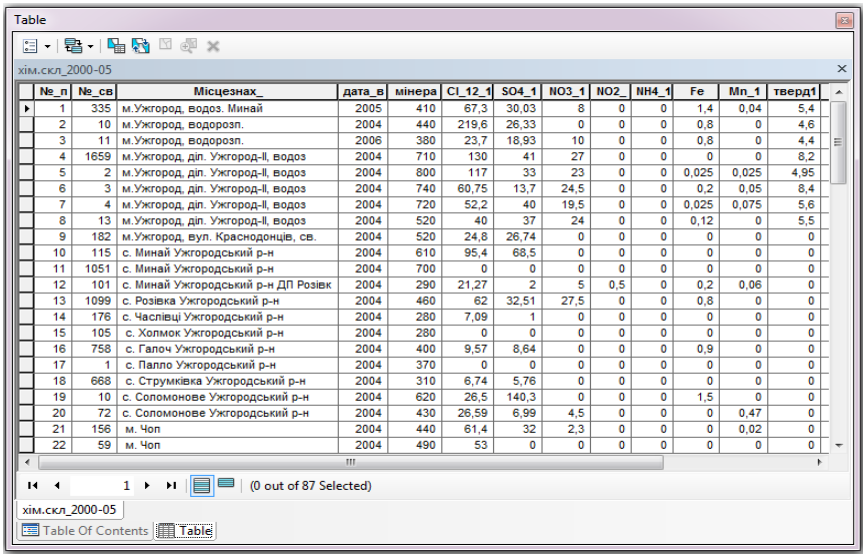



**Рис. 1. Блок-схема алгоритму обробки даних хімічного складу**

На першому етапі, як бачимо, необхідно створити спеціалізовану (тематичну) базу даних, обрати необхідну картографічну проекцію та виконати географічну прив'язку вихідних даних. Функціональні можливості математичної обробки та моделювання ArcGIS повністю задовільняють виконання цих операцій, а отже, не потребують залучення інших програм, і відповідно, конвертації форматів даних, що дозволить уникнути незручностей, які можуть виникнути при конвертуванні даних в обмінні формати (втрата властивостей картографічних шарів, інформації про систему координат і проекцію відображення тощо) [4].

Усі шари даних, відібрані для аналізу, мають бути в єдиній картографічній проекції, адже прив'язка до єдиної картографічної проекції забезпечує точність і відповідність реальним умовам отриманих результатів. Тому обираємо картографічну проекцію – WGS 1984 UTM зона 34, яка відповідає географічному положенню Закарпатської області.

Невід'ємною складовою частиною ГІС є база даних (БД), яка виступає сховищем структурованих даних. Інформаційною основою для створення спеціалізованої бази даних хімічного складу підземних вод минайської світи південно-західної частини Закарпатської області слугують дані хімічного аналізу проб води централізованих, розосереджених водозаборів та одиночних свердловин – точкові об'єкти. Кожна структурна одиниця новоствореної тематичної бази даних містить порядковий номер, номер самої свердловини, рік відбору проб та їх місцезнаходження – найближчий населений пункт, а також включає основні показники хімічного складу питних підземних вод, такі, як загальна мінералізація, твердість, хлориди, сульфати, азотисті сполуки (нітрати, нітрити, амоній), загальне залізо, марганець на два періоди часу: 1965-1975 рр та 2000-2005 рр. Необхідно зазначити, що картографічною основою дослідження є цифрова карта Закарпатської області масштабу 1:200 000, до складових елементів якої входять: адміністративні межі; об'єкти гідрографії; населені пункти; мережа автошляхів та залізниць; рельєф (горизонталі та абсолютні відмітки). На період часу 1965-1975 рр наповнення бази даних хімічного складу питних підземних вод алювіальних відкладів минайської світи виконане по 118 свердловинах. Нижче наведений фрагмент структури бази даних хімічного складу питних підземних вод алювіальних відкладів минайської світи, наповнення якої станом на 2000-2005 рр здійснене по 87 свердловинах (рис. 2).



Table

хім.скл_2000-05

| №_п | №_св | Місцезнах_ | дата_в | мінера | Cl_12_1 | SO4_1 | NO3_1 | NO2_ | NH4_1 | Fe | Mn_1 | тверд1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 335 | м.Ужгород, водоз. Минай | 2005 | 410 | 67,3 | 30,03 | 8 | 0 | 0 | 1,4 | 0,04 | 5,4 |
| 2 | 10 | м.Ужгород, водорозп. | 2004 | 440 | 219,6 | 26,33 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0 | 4,6 |
| 3 | 11 | м.Ужгород, водорозп. | 2006 | 380 | 23,7 | 18,93 | 10 | 0 | 0 | 0,8 | 0 | 4,4 |
| 4 | 1659 | м.Ужгород, діл. Ужгород-II, водоз | 2004 | 710 | 130 | 41 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,2 |
| 5 | 2 | м.Ужгород, діл. Ужгород-II, водоз | 2004 | 800 | 117 | 33 | 23 | 0 | 0 | 0,025 | 0,025 | 4,95 |
| 6 | 3 | м.Ужгород, діл. Ужгород-II, водоз | 2004 | 740 | 60,75 | 13,7 | 24,5 | 0 | 0 | 0,2 | 0,05 | 8,4 |
| 7 | 4 | м.Ужгород, діл. Ужгород-II, водоз | 2004 | 720 | 52,2 | 40 | 19,5 | 0 | 0 | 0,025 | 0,075 | 5,6 |
| 8 | 13 | м.Ужгород, діл. Ужгород-II, водоз | 2004 | 520 | 40 | 37 | 24 | 0 | 0 | 0,12 | 0 | 5,5 |
| 9 | 182 | м.Ужгород, вул. Краснодонців, св. | 2004 | 520 | 24,8 | 26,74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 115 | с. Минай Ужгородський р-н | 2004 | 610 | 95,4 | 68,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1051 | с. Минай Ужгородський р-н | 2004 | 700 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 101 | с. Минай Ужгородський р-н ДП Розівк | 2004 | 290 | 21,27 | 2 | 5 | 0,5 | 0 | 0,2 | 0,06 | 0 |
| 13 | 1099 | с. Розівка Ужгородський р-н | 2004 | 460 | 62 | 32,51 | 27,5 | 0 | 0 | 0,8 | 0 | 0 |
| 14 | 176 | с. Часлівці Ужгородський р-н | 2004 | 280 | 7,09 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 105 | с. Холмок Ужгородський р-н | 2004 | 280 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 758 | с. Галоч Ужгородський р-н | 2004 | 400 | 9,57 | 8,64 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 0 | 0 |
| 17 | 1 | с. Палло Ужгородський р-н | 2004 | 370 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 668 | с. Струмківка Ужгородський р-н | 2004 | 310 | 6,74 | 5,76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 10 | с. Соломонове Ужгородський р-н | 2004 | 620 | 26,5 | 140,3 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 0 | 0 |
| 20 | 72 | с. Соломонове Ужгородський р-н | 2004 | 430 | 26,59 | 6,99 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0,47 | 0 |
| 21 | 156 | м. Чоп | 2004 | 440 | 61,4 | 32 | 2,3 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 |
| 22 | 59 | м. Чоп | 2004 | 490 | 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(0 out of 87 Selected)

хім.скл_2000-05

Table Of Contents | Table

**Рис. 2. Фрагмент структури бази даних хімічного складу підземних вод алювіальних відкладів минайської світи станом на 2000–2005 рр.**

Географічна прив'язка (геокодування) водозабірних свердловин, що занесені до бази даних, є важливою складовою дослідження. При геокодуванні зчитуються атрибутивні дані, які зберігаються в таблицях, що мають адреси, і знаходиться їх розташування на карті. Це дозволяє визначити адресу за умови вказівки координат і навпаки, за адресою визначити координати необхідного об'єкту. Таким чином, у нашому випадку географічна прив'язка точкових об'єктів (свердловин) виконувалась у процесі створення тематичної бази даних, оскільки координати зчитувались з атрибутивних даних у таблиці, які мають адресну інформацію.

Наступним етапом обробки вихідних даних є моделювання поверхні. Створити поверхню – означає заповнити простір між дискретними точками, що містять дані виміру безперервного явища. Стандартним засобом, що забезпечує виконання цього розрахунку, є апроксимація. В ArcGIS Desktop реалізовані декілька методів апроксимації поверхонь: метод зворотних зважених відстаней, метод поверхні тренда, крігінг, сплайн. Вибір оптимального методу апроксимації наявних даних залежить від кількості вихідних точок даних і рівномірності їх розподілу на ділянці (полігоні) дослідження.

Найчастіше при моделюванні поверхонь в гідрогеології застосовується метод зворотних зважених відстаней (ЗЗВ чи IDW), який і був обраний для виконання даного дослідження. У ГІС поверхня може бути представлена у вигляді растрової або векторної моделі (рис. 3 і рис. 4 відповідно).

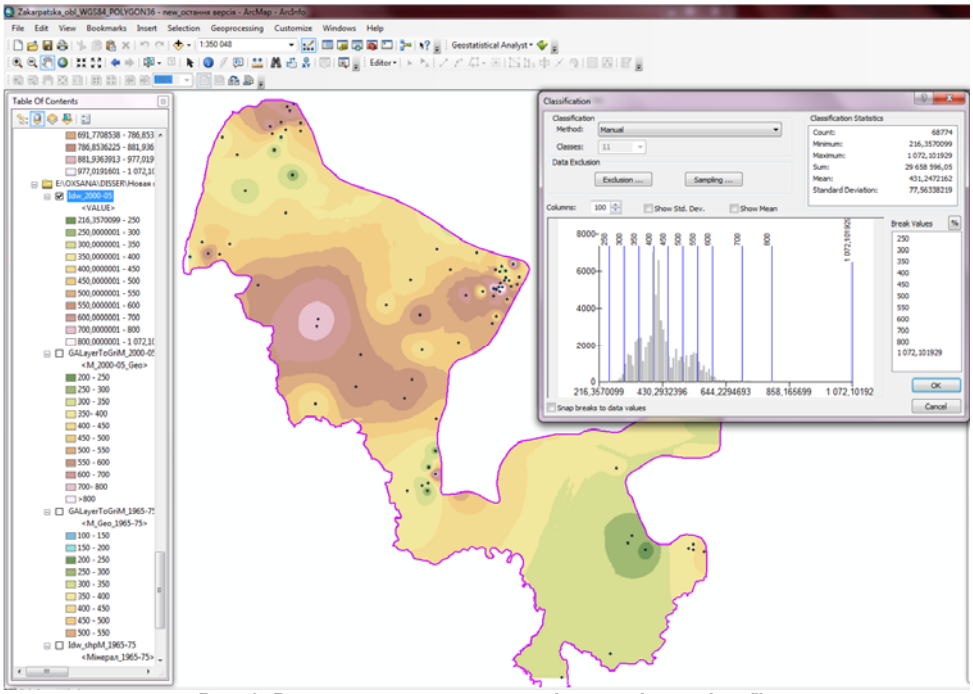


**Рис. 3. Растрова модель поверхні поля мінералізації**

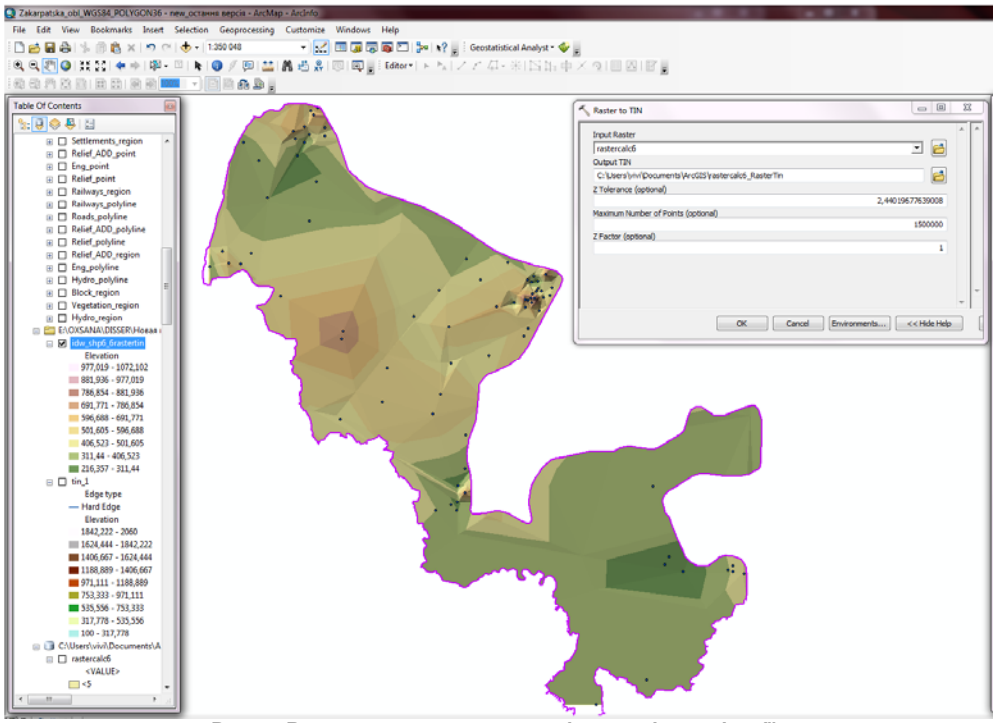


**Рис. 4. Векторна модель поверхні поля мінералізації**

Для розуміння природи досліджуваного явища чи процесу, не дивлячись на те, буде створена результуюча поверхня чи ні, в ArcGIS Desktop на базі модуля Geostatistical Analyst використовується розширення ESDA (Дослідницький аналіз просторових даних). Завдяки цьому розширенню ми можемо виконати математико-статистичну обробку вихідних даних, продіагностувати модель та надати оцінку відповідності її побудови. Для оцінки статистичних властивостей даних використовуються інструменти: Гістограма, Нормальний графік КК, Аналіз тренду, Загальний графік КК, Варіограма/коваріація.

Зважаючи на складність гідрогеологічних процесів і явищ, побудова математико-картографічних моделей потребує перевірки їх адекватності, істинності отриманих результатів. Обгрунтування достовірності отриманих результатів моделювання на базі Arc GIS Desktop виконується за допомогою *Geostatistical Analyst,* при цьому використовується інструмент Майстер операцій геостатистики (Перехресна перевірка). Перехресна перевірка надає уяву про те, наскільки "добре" модель інтерполює невідомі значення. Суть Перехресної перевірки полягає в тому, що для всіх точок виконується така операція: відібрані точки послідовно виключаються із вибірки, потім розраховуються значення в цій точці з використанням решти даних, далі виміряне і обчислене значення порівнюються.

Для оцінки змін показників хімічного складу в просторі і часі виконано побудову серії електронних карт на два періоди часу: станом на 1965–1975 рр та 2000–2005 рр. На карти винесені межа ділянки дослідження, ізолінії показників з їх числовими позначками, водозабірні свердловини, водні об'єкти, подана кольорова градація. Для кращого наочного сприйняття результуючі карти мають подібну класифікацію та, відповідно, кольоровий фон.

Найбільш потужною можливістю сучасних ГІС-систем є їх здатність порівнювати картографічне зображення тематичної інформації обраних шарів карти. Цей процес має назву картографічне накладання (оверлей). Для оцінки масштабів просторово-часових змін величини мінералізації, використано автоматизований метод математичного накладання, який в ArcGIS Desktop реалізується за допомогою функції Spatial Analyst, що дозволяє виконувати операції з растровими даними. GRID-поверхня змін величини мінералізації зображена на рис. 5.

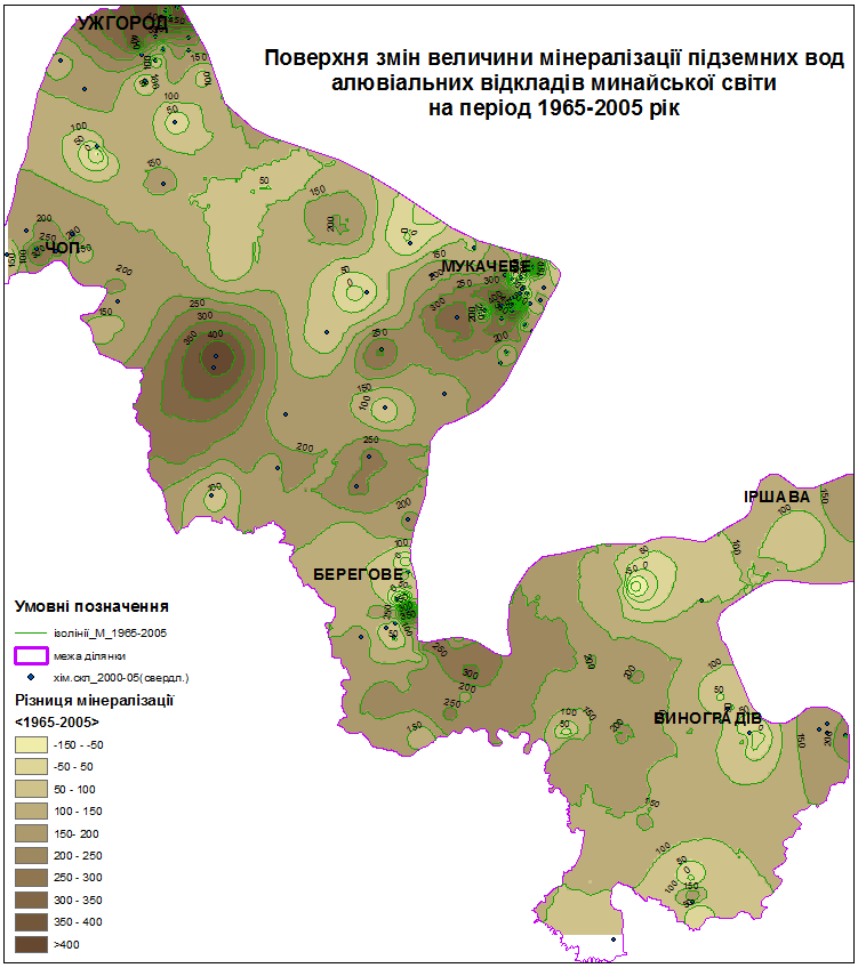



**Рис. 5. Поверхня змін величини мінералізації підземних вод алювіальних відкладів минайської світи на період 1965-2005 рр.**

Для кількісної оцінки масштабів змін показників хімічного складу підземних вод алювіальних відкладів минайської світи в часі необхідно порівняти площі полігонів з різною мінералізацією двох карт (на період 1965-1975 рр та 2000-2005 рр). Площі полігонів представлені у відсотках від загальної площі ділянки дослідження. Гістограма порівняння площ полігонів з різною мінералізацією станом на 1965-1975 та 2000-2005 рр відображені на рис. 6.

**Висновки.** Створення алгоритму обробки вхідної гідрогеологічної інформації, апробованого на прикладі одного з показників хімічного складу підземних вод, дозволило визначити методику першого етапу опрацювання даних, що включає створення і наповнення спеціалізованої бази даних, перетворення картографічних проекцій, географічну прив'язку точкових об'єктів (свердловин). Другий етап обробки інформації забезпечено методикою

моделювання поверхонь (растрових і векторних); нею передбачено математико-статистична обробка вихідних даних, діагностика та оцінка достовірності створених моделей поверхні. Завдяки потужній можливості сучасних ГІС, на третьому етапі, маємо змогу виконувати просторовий аналіз (порівнювати картографічні зображення тематичної інформації обраних шарів карти ), тим самим надаючи оцінку змін якісного складу підземних вод.

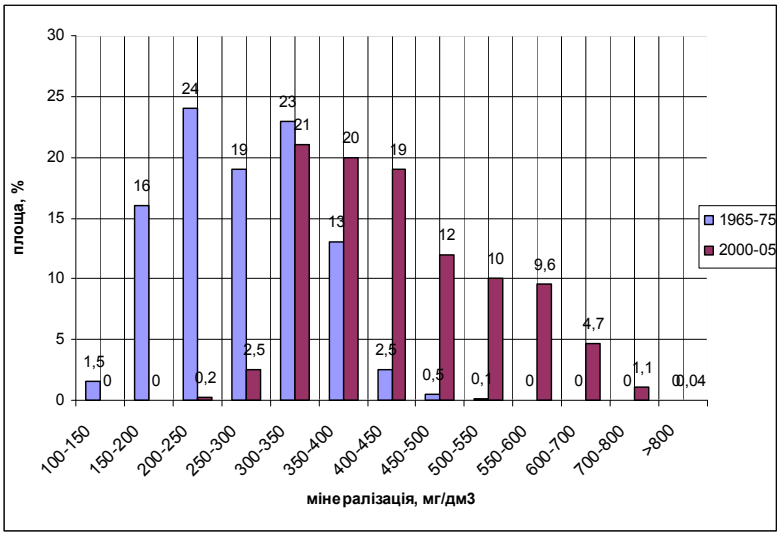



**Рис. 6. Гістограма порівняння площ полігонів з різною мінералізацією станом на 1965-1975 рр. та 2000-2005 рр.**

**Список використаних джерел**

1. *Габор М. М.* Звіт по оцінці екологічного стану геологічного середовища прикордонних територій Закарпатської області в масштабі 1: 100 000. Берегове, 2004.

2. Де Мерс. Географические информационные системы. Основы / Де Мерс, Н. Майкл: пер. с англ.. – М.: Дата+, 1999. – 489 с.

3. Жарнікова Р.С. Оцінка стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод Закарпатської області (2002–2007 рр.). Берегове, 2008.

4. *Іщук О.О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник / Іщук О.О., Коржнев М.М., Кошляков О.Є. / За ред. акад. Д.М. Гродзинського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2003. – 200 с.*

5.*Остроух О.А.* Особливості картографічного забезпечення геоінформаційних технологій в геологічних дослідженнях// Географія, геоекологія, геологія: досвід наукових досліджень: матеріали VII міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів і молодих вчених / За ред.. проф.. Л.І. Зеленської. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип.№7. – С.275-276.

6.*Чомко Д.Ф., Остроух О.А.* Сучасний стан та проблеми використання ГІС-технологій в геологічних дослідженнях / Д.Ф.Чомко, О.А.Остроух // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна – 2009. Вип. №882. – С. 99-102.

**Надійшла до редколегії 03.04.13**

**О. Остроух, асп.**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЗАКАРПАТСКОЙ ОБЛАСТИ)

***Изложены результаты разработки и апробации технологической схемы обработки данных химического состава подземных вод аллювиальных отложений юго-западной части Закарпатской области на базе современного геоинформационного обеспечения с целью анализа их пространственно-временных изменений.***

**O. Ostroukh, asp.**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## SCIENTIFIC-METHODOLOGICAL APPROACH FOR PROCESSING HYDROGEOLOGICAL INFORMATION USING GIS TECHNOLOGY (EXAMPLE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER SOUTHWESTERN PART OF ZAKARPATTIA REGION)

***The results of development and testing process flowsheet data processing chemical composition of groundwater alluvial deposits of the southwestern part of the Transcarpathian region based on current GIS software to analyze their spatial and temporal changes.***

**УДК 550.834.048**

**В. Цибульський, асп., О. Трипільський, д-р геол. наук, проф.,**
**П. Кузьменко, канд. геол. наук, асист.**
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ**

# КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ЯК СКЛАДОВА ПРОЦЕСУ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ СЕЙСМІЧНИХ ДАНИХ

***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)***

***Запропоновано концептуальну модель формування відкладів нижнього майкопу структури Субботіна Прикерченського шельфу. Отримані уявлення використані при розрахунках ефективних моделей фільтраційно-ємнісних властивостей за алгоритмами детерміністичного і стохастичного моделювання. Досліджено вплив тріщинуватості на формування покладів вуглеводнів.***

**Вступ.** На даному етапі вивчення вуглеводневої перспективності структур Чорноморського басейну все частіше необхідно виходити за рамки традиційних геологічних критеріїв. Економічна привабливість кожної з

**© Цибульський В., Трипільський О., Кузьменко П., 2013**

структур на пряму буде залежати від ефективності аналізу наявної геолого-геофізичної інформації, результатом якого, як правило, виступає комплексна цифрова геолого-геофізична модель. Деяким елементам такого моделювання і буде присвячена стаття.

**Постановка проблеми.** Моделі геологічної будови та фізичні властивості відкладів структури Субботіна Прикерченського шельфу Чорного моря обрані об'єктом дослідження не випадково. Значні за обсягом поклади вуглеводнів на родовищі Субботіна так і Прикерченському шельфі в цілому, пов'язують з відкладами майкопської серії [3]. З результатів геофізичних та кернових досліджень свердловин відомо, що відклади майкопської серії характеризуються нерівномірним чергуванням літологічно-фаціальних умов та складною шаруватою будовою. Інтерпретація (трасування) продуктивної нижньомайкопської товщі в сейсмічному хвильовому полі отриманому на площі Субботіна в загальному випадку є складною задачею, оскільки сигнал за спектрально-енергетичними характеристиками є слабким і невираженим. Проаналізувати та оцінити вплив окремих геологічних чинників на хвильове поле, що разом формують сейсмогеологічні умови для конкретного об'єкту досліджень, досить важко.

Вже відзначалось у попередніх роботах [9], що найбільшу кількість зв'язків "геологія–геофізика" можна встановити вивчаючи інформацію отриману зі свердловин, але і такого роду дані не є безапеляційною істиною. Слід враховувати, що зразки порід у вигляді шламу чи керну вилучені з природних умов залягання підлягають зміні P–T умов, взаємодії з буровим розчином, руйнуванню. Потужним інструментом вивчення фізичних властивостей гірських порід у реальних умовах є геофізика дослідження свердловин, але і її методи мають ряд певних обмежень. Головним недоліком є той факт, що свердловини виступають в якості точкового джерела геологічних даних, таким чином, на об'єктах з малою кількістю пробурених свердловин існує суттєвий інформаційний вакуум. Альтернативою є комплексування даних ГДС (геофізичних досліджень свердловин) та сейсміки шляхом застосування технологій інверсійних перетворень та AVO аналізу, теорії сейсмостратиграфії, інструментів мультиатрибутного аналізу, що широко застосовуються в практиці нафтогазопошукових робіт [11,12,13]. Менш розповсюджені методи моделювання синтетичних сейсмічних даних [10].

В умовах слабкої вивченості бурінням відкладів майкопу в межах Прикерченського шельфу, важливу роль відіграє концептуальна модель, що є вкрай необхідною для розуміння кола задач, які доведеться опрацьовувати, виступає у ролі базису робочої геолого-геофізичної моделі. Без знання геологічних особливостей і умов формування відкладів, моделювання набуває властивостей "чорної скриньки", виконує функції генерації набору випадкових, беззмістовних, незалежних одна від одної моделей.

Введемо наступне означення, концептуальна модель – це формалізовані на основі наявного фактичного матеріалу уявлення про геологічну будову модельованих об'єктів, що покладені в основу побудови цифрової моделі: стратиграфії, тектоніки, генезису відкладів, їх морфології та закономірностей просторової зміни фільтраційно ємнісних властивостей з врахуванням фізико-механічного постседиментаційного перетворення [4].

З метою створення комплексної моделі нижньомайкопських відкладів Прикерченського шельфу необхідно визначити умови накопичення осадових порід, встановити їх генезис та чинники, що контролюють нафтогазоносність даного регіону.

Палеотектонічні реконструкції майкопського часу (олігоцен-нижній міоцен) вказують на умови формування глибоких прогинів та їх заповнення потужною товщею глинистих відкладів з тонким перешаруванням дрібнозернистих пісковиків і алевролітів [1]. За даними кернових досліджень зі свердловин родовища Субботіна, середня потужність пісковиків у структурі колектора складає 5-10 см, рідко коли досягає 20-40 см. Пісковики відносно великої потужності (десятки метрів), в майкопській товщі виявлені поблизу зон знесення відкладів (Кавказ, узбережжя Новоросійськ–Сочі). Їх наявність також передбачається в південній частині Азовського моря, де сейсморозвідкою виявлена зона макрокосої шаруватості, що попередньо пов'язується з конусами виносу, де вірогідно існує потенціал формування неструктурних пасток в зонах майкопу. Встановлені дві головні стадії стиснення: крейдово-ранньоолігоценова та міоценова, завдяки яким були сформовані основні структурні плани мезозой-кайнозойських відкладів на родовищі. Під час першої, крейдово- раньоолігоценової, стадії були утворені численні тектонічні порушення південної вергентності, під час другої, міоценової, – північної вергентності.

О.Є. Лукін відзначає, що в такому глибоководному, складному в тектонічному і геоморфологічному відношенні басейні з високими темпами седиментації домінуючими факторами транспортування і (пере)відкладення теригенного матеріалу виступають різного роду течії (рис. 1) [2, 5]. Поряд із системою турбідітних, контурних і вздовжберегових течій, для таких басейнів характерні різноманітні седиментаційні флуктуації, що пов'язані з підводними зсувами і дезінтеграційними потоками. Тобто, тип пасток буде контролюватись з одного боку структурно-палеотектонічними та палеогеоморфологічними факторами, а з іншого – седиментологічними факторами. Згідно з аналізом кернового матеріалу та шламу в формуванні майкопських глин переважають зернисто-, пастоподібно-, суспензійно-потокові (турбідітний) типи, причому найбільш тонкі алевролітові турбідіти і пелітові відклади донних нефелоїдних водних шарів [6, 7]. Седиментаційні умови передбачають існування двох типів гранулярних колекторів, що контролюються контурними і гравітаційними потоками. До першого типу можна віднести пісковики з більшим ступенем відсортованості зерен, відсутністю глинистого матриксу, а отже і більшою відкритою пористістю і проникністю. До другого типу відносяться пісковиково-алевролітові породи з великим вмістом гідрослюдо-смектитового матриксу для яких характерна складна структура порового простору де визначальними є тонкі і ультратонкі пори, колекторам другого типу притаманні низькі фільтраційно-ємнісні властивості, вміст значної кількості зв'язаної води, висока гідрофільність.

Глинисті породи майкопу вміщують в собі значну кількість гумусо-сапропелевої органічної речовини з переважним вмістом останньої. Вміст органічного вуглецю на породу складає 0,1-18 %, тип керогену II/III [8]. Згідно з дослідженнями Галушкіна породи нижнього майкопу за ступенем катагенезу органічної речовини увійшли у межі "вікна генерації нафти" і є в основному нафтогенеруючими, що підтверджується результатами буріння та поверхневими нафтопроявами [2, 8].

При бурінні свердловин на структурі Субботіна відзначається явище аномально високого пластового тиску (градієнт тиску на глибині 2100 м складає 1,4), що може бути викликано процесом перетворення керогену у вуглеводні в ізольованій системі. Наявність АВПТ може свідчити про ускладнену міграцію вуглеводнів за межі майкопської товщі [14].

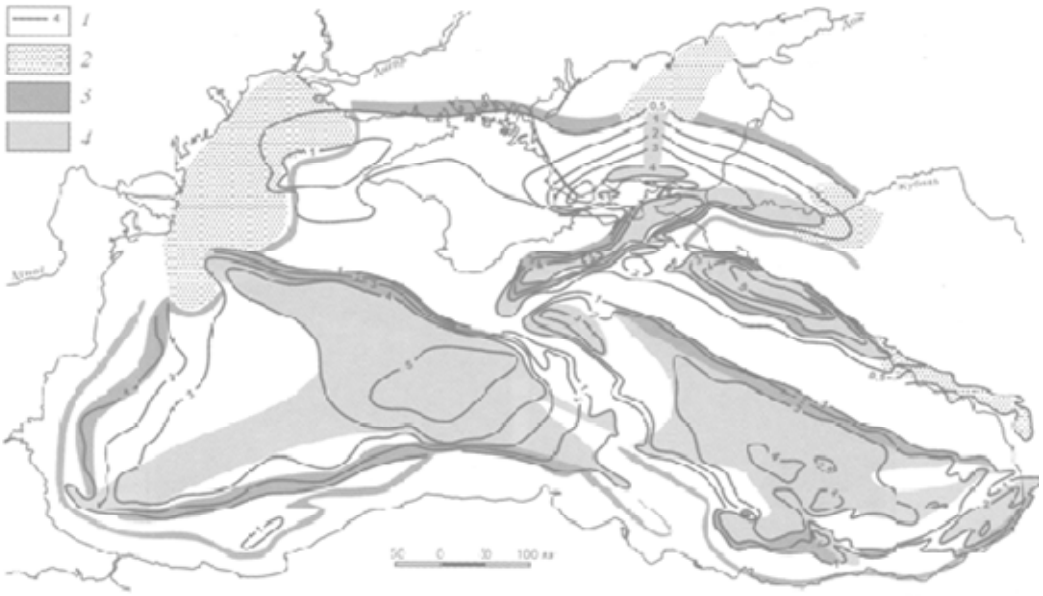


**Рис. 1. Майкопський Кубано-Азово-Чорноморський басейн.**
**Карта ізопахіт майкопських відкладів і схема перенесення теригенного матеріалу:**
1 – ізопахіти, км; 2 – палеодельти; 3 – зони берегових і контурних течій; 4 – турбідитні течії та їх виноси в глибоководні западини [5]

Таким чином, всі перераховані вище фактори дозволяють зробити висновок про складний, сингенетичний тип локалізованого покладу вуглеводнів майкопської товщі, що акумулюється в гранулярних колекторах двох типів та контролюється тріщинуватістю в умовах аномально високих тисків, як наслідок перетворення органічної речовини (рис. 2).

Виходячи з концептуальних уявлень про будову відкладів нижнього майкопу, висуваються наступні вимоги до якості робочої геолого-геофізичної моделі:

- Достовірність структурних побудов повинна контролюватись положенням часових відліків відбиваючих границь, що відповідають відомим стратиграфічним і літологічним границям розрізу. Процедура кореляції має виконуватись за результатами вертикального сейсмічного профілювання у комплексі з синтетичним сейсмічним моделюванням. Кореляція відбиваючих горизонтів має проходити на основі сукупності ознак схожості на сусідніх сейсмічних трасах. Оскільки структура Субботіна відноситься до об'єктів зі складними сейсмогеологічними умовами, то визначення сукупності інтерпретаційних ознак, має відбуватись із залученням повного комплексу трансформації хвильового поля (атрибутний аналіз, акустична інверсія і т.ін.). Крім того, на ділянках з невпевненим трасуванням відбиваючих горизонтів, при використанні алгоритмів напівавтоматичного простеження відбиттів, доцільно застосовувати процедури контролю якості структурних побудов, наприклад кросвалідацію.
- Моделі фільтраційно-ємнісних властивостей в умовах недостатньої кількості свердловинної інформації мають опиратись на додаткові залежності "геологія-геофізика". До таких даних варто віднести куб акустичного імпедансу або нейромережеві залежності побудовані за атрибутами сейсмічного поля. Окремим елементом мають виступати статистичні моделі розподілу шуканих петрофізичних параметрів. Моделювання має знаходитись в межах концептуальних уявлень про тип та будову колекторів нижнього майкопу.
- Засобами моделювання необхідно оцінити вклад тріщинуватості в розвиток колекторів нижнього майкопу структури Субботіна.

На рисунку 3 наведено результати моделювання розподілу коефіцієнтів відкритої пористості та якісна оцінка тріщинуватості у межах нижньомайкопських відкладів структури Субботіна. Рис. 3 А демонструє детерміновану модель пористості отриману на основі тренду акустичного імпедансу, в лівій частині можна бачити розріз вздовж лінії, що перетинає свердловини 2-1-403-3, права частина ілюструє латеральний розподіл. Коефіцієнт пористості знаходиться у межах 2-18 %. Ділянки з найвищими значеннями коефіцієнту пористості досить невитримані по латералі, частіше зустрічаються в осьовій частині структури. В розрізі, зони покращених колекторських властивостей розміщені неоднорідно та мають тонкошарувату будову. Висока концентрація пластів з високими значеннями Кп простежуються в межах свердловин 1-403.

Стохастична модель розподілу коефіцієнту пористості демонструє дещо інший результат (рис. 3 Б). Використано лише свердловині дані, що в процесі роботи перераховані на сітку гріда в точках їх розташування. Засобами попереднього аналізу дані приведені до нормального розподілу. Надалі відбувався процес ітеративного моделювання, отримано 50 реалізацій розподілу коефіцієнту пористості. Усереднена модель використовувалась надалі для порівнянь і аналізу. Слід відзначити, що отриманий прогноз є менш оптимістичним в порівнянні з попереднім, але в цілому зберігає тенденцію поширення зон з покращеними колекторськими властивостями. Як видно з рисунку латеральної поширеності, найвищі значення коефіцієнта пористості зосереджені в околі свердловин 1-403, осьовій частині структури. Розріз є більш ущільнений в східному і західному напрямках. В розрізі, колектори більш витримані, мають тонкошарувату будову і меншу потужність.

Рис. 3 В демонструє результат оцінки тріщинуватості колекторів нижнього майкопу за допомогою технології Ant Tracking (Petrel). У розрізі виділяються системи тріщин різного розміру та направленості, особливого поширення вони набувають у приосьовій частині структури, зонах простеження розломних порушень. Приосьові тріщини значної потужності, що направлені з заходу на схід, можуть свідчити на користь припущення про розтріскування відкладів майкопу внаслідок деформування під час тектонічних рухів. Горизонтальні системи тріщин можуть бути утворені внаслідок перетворення органічної речовини в процесі нафтогенерації. Дана теорія потребує подальшого вивчення.

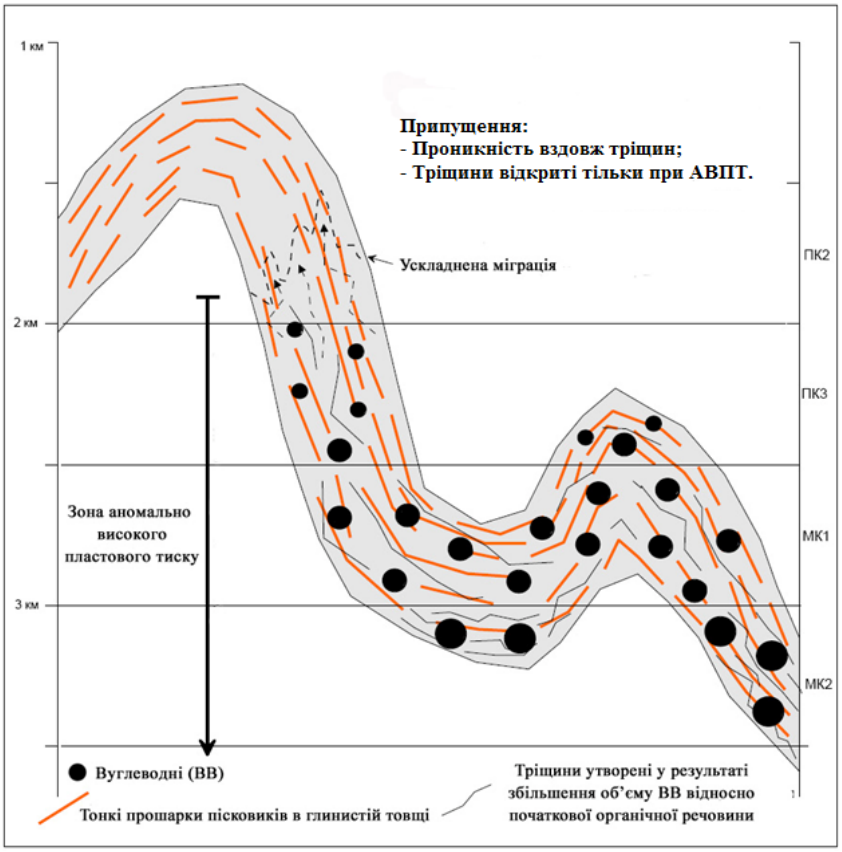



**Рис. 2. Концептуальна схема формування покладів вуглеводнів у майкопських відкладах**

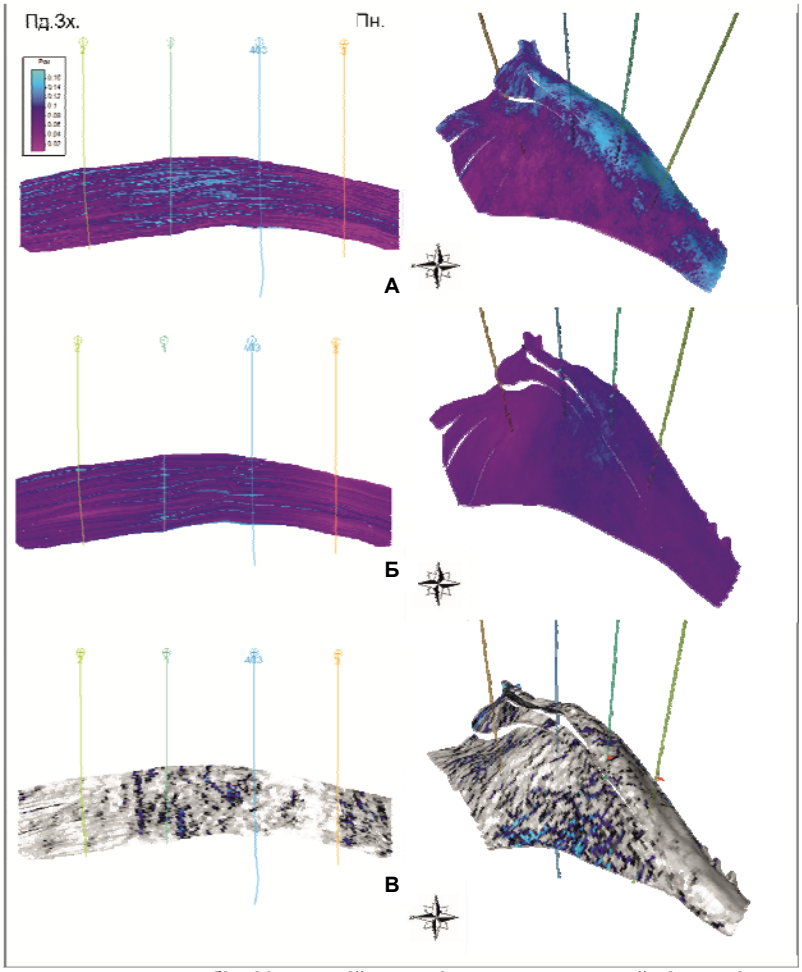



**Рис. 3 Результати моделювання кубів фільтраційно-ємнісних властивостей відкладів нижнього майкопу:**
А – детермінована модель; Б – стохастична модель; В – модель тріщинуватості

**Висновки.** Проаналізований в статті матеріал дозволяє сформувати концептуальну модель відкладів нижнього майкопу структури Субботіна Прикерченського шельфу, вона вказує на складний, сингенетичний тип локалізованого покладу вуглеводнів майкопської товщі, що акумулюється в гранулярних колекторах двох типів та контролюється тріщинуватістю в умовах аномально високих тисків, як наслідок перетворення органічної речовини.

Викладена концепція використана при побудові моделей розподілу колекторських властивостей. Детерміністичне моделювання на основі кубу акустичного імпедансу дозволяє на кількісному рівні сформувати уявлення про розподіл коефіцієнту відкритої пористості в товщі. Шарувата модель розподілу колекторів в розрізі та їх скупчення в осьовій частині антиклінальної структури Субботіна, добре узгоджується з робочою геологічною концепцією.

У випадку роботи з наявними геолого-геофізичними матеріалами по структурі Субботіна стохастичне моделювання дало досить достовірний прогноз в районі розташування свердловин, але з віддаленістю від свердловин, зменшується і достовірність прогнозу, що є загальновідомим фактом. Не дивлячись на те, що в загальному випадку потужність зон покращених колекторських властивостей у розрізі, а також їх латеральна розповсюдженість зменшена, характер розподілу є схожим до детерміністичного.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про інформативність зведених моделей фільтраційно-ємнісних властивостей, оскільки достовірність комплексного прогнозу набагато вища.

Визначення зон тріщинуватості, як горизонтальної, так і вертикальної направленості в товщі нижнього майкопу додатково свідчить на користь запропонованої концептуальної моделі, хоча вертикальна тріщинуватість, що зосереджена в приосьовій частині складки, більшою мірою вказує на тектонічні деформації.

**Список використаних джерел**


1. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н.Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона – М.: Научный мир, 2007, – 172 с.
2. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности – М.: Научный мир, 2007, – 456 с.
3. Єгер Д.О., Попадюк І.В., Стовба С.М., Ратушний В.С., Хрящевська О.І. Макєєв В.Г., Горбунов В.І., Губич І.Б. Ефективність застосування нової методики комплексного аналізу геолого-геофізичних даних для прогнозування нафтогазоносності // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – Вип. 2. – С. 4-7.
4. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. – М.: ООО "ИПЦ Маска", 2009, – 376 с.
5. Лукин А. О перспективах нефтегазоносности Прикерченского шельфа // Геол. журн. – 2008. – Вип. 2. – С. 7-20.
6. Лукин А.Е. литогеодинамические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах. – Киев: Наук. Думка, 1997. – 220 с.
7. Лукин А.Е. Поиски залежей углеводородов в песчаных телах полифациальных терригенных отложений // Методика поисков и разведки залежей нефти и газа в стратиграфических и литологических ловушках. – Баку: Азнефть, 1985. – С. 27-35.
8. Надежкин Д. В. Нефтематеринские свойства майкопских отложений и их роль в нефтегазоносности восточной части Черного моря: Автореф. дис. ... канд. геол.-мінер. наук. – М., 2011.
9. Цибульський В.О., Кузьменко П.М., Тищенко А.П. Методика проведення повнохвильового моделювання сейсмічного поля в межах Українського сектору Прикерченського шельфу Чорного моря // Вісн. КНУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія Геологія. – 2012. – 57. – С. 17-21.
10. Цибульський В.О., Кузьменко П.М., Тищенко А.П. Полноволновое моделирование сейсмических данных на структуре Прикерченского шельфа // XI th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects: Матер. міжнар. наук. конф., Київ, 2012.
11. Brown A.R. Interpretation of three-dimensional seismic data. Fifth edition. AAPG memoir 42, SEG investigation in geophysics 9, 1999. 203-282.
12. Chopra S. Seismic elastic modeling, CSEG 2005. 424-428.
13. Marfurt K. J., Chopra S. Seismic attribute mapping of structure and stratigraphy. SEG, EAGE distinguished instructor series, № 9, 2006. 226.
14. Sweeney J.J., Braun R.L., Burham A.K., Talukdar S., Valllejos C., 1995. Chemical kinetic model of hydrocarbon generation, explusion, and destruction applied to the Maracaribo basin, Venezuela // AAPG Bulletin. V. 79. №10. P. 1515-1532.


**Надійшла до редколегії 09.02.13**

**В. Цибульский, асп., А. Трипольский, д-р геол. наук, проф., П. Кузьменко, канд. геол. наук, ассист.**
**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев**

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОЦЕССАИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

***Предложена концептуальная модель формирования отложений нижнего майкопа струтуры Субботина Прикреченского шельфа. Полученные взгляды использованы при расчете эффективных моделей фильтрационно-емкостных свойств по алгоритмам детерминистического и стохастического моделирования. Исследованно влияние трещиноватости на формирование отложение углеводородов.***

**V. Tsybulskyi, asp., O. Trypilskiy, Dr. Sci. (Geol.), Prof, P. Kuzmenko, Cand. Sci. (Geol.)**
**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv**

## PRINCIPAL MODELAS AS A PART OF SEISMIC DATA INTERPRETATION

***A conceptual model of the Lower Maykopian sediments for Subbotina field within the Kerch shelf of the Black Sea was proposed. These ideas used in deterministic and stochastic calculation process of effective filtration and capacity models. The effect of fracturing was considered in case of hydrocarbon deposits formation.***

**Наукове видання**

# ВІСНИК

## КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

# ГЕОЛОГІЯ

**Випуск 1(60)**

**Статті подано в авторській редакції.**

**Комп'ютерна верстка та коректування Ю.А. Тимченко**

**Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"**

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та електронні носії не повертаються.

**Формат 60x84$^{1/8}$. Ум. друк. арк. 9,77. Наклад 300. Зам. № 212-6651.**
**Вид. № Гл1. Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний.**
**Підписано до друку 08.07.13**

**Видавець і виготовлювач**
**Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"**
**01601, Київ, б-р Т. Шевченка, 14, кімн. 43**
**☎ (38044) 239 3222; (38044) 239 3172; тел./факс (38044) 239 3128**
**e-mail: vpc@univ.kiev.ua**
**http: vpc.univ.kiev.ua**
**Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02**