

УДК 504.064.4:622.34

DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2023.37.05>**Пігулевський П.Г., Тяпкін О.К., Лісовий Ю.В., Логвін В.М., Яремій С.О.**

**Пігулевський П.Г.**, доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України, ORCID: 0000-0001-6163-4486, [pigulev@ukr.net](mailto:pigulev@ukr.net)

**Тяпкін О.К.**, доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», ORCID: 0000-0002-2345-8343, [tiapkin.oleh@gmail.com](mailto:tiapkin.oleh@gmail.com)

**Лісовий Ю.В.**, молодший науковий співробітник, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України, ORCID: 0000-0001-6145-9251, [lisovyi@ukr.net](mailto:lisovyi@ukr.net)

**Логвін В.М.**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», ORCID: 0000-0002-9972-7036, [logvinvn@gmail.com](mailto:logvinvn@gmail.com)

**Яремій С.О.**, аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», ORCID: 0000-0001-6235-0370, [yaremiy0602@gmail.com](mailto:yaremiy0602@gmail.com)

## ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЛОГІЧНОЇ ТА ТЕКТОНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМІ КОМПЛЕКСНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕХНОГЕННО НАВАНТАЖЕНИХ РЕГІОНІВ ПІВДЕННОГО СХОДУ УКРАЇНИ

Існуюча в Україні система екологічного моніторингу не повністю враховує радіоекологічний фактор на територіях поблизу численних ядерних об'єктів південного сходу країни (у т. ч. підприємства видобутку та первинної переробки уранової сировини, сховища низькоактивних відходів і Запорізька АЕС), де сучасну радіоекологічну ситуацію можна охарактеризувати як докризову. Тому саме тут ще із середини 1990-х років було розпочато створення регіональної системи комплексного екологічного моніторингу – СЕМ «Придніпров'я» на території Дніпропетровської області, яка має одне з найвищих в Україні техногенне навантаження, як пілотного проекту з подальшим розширенням на всю територію країни. Але при цьому суттєвим недоліком цієї системи є недостатня увага до радіологічних проблем, які пов'язані із тим, що на території Кіровоградської, Дніпропетровської та Запорізької областей склалася радіоекологічна ситуація, яка за своєю складністю і небезпекою для біотичних компонентів довкілля та здоров'я населення, у тому числі майбутніх поколінь, не має аналогів в Україні. Зумовлено це тим, що на території вказаних областей із середини ХХ століття відбувалися радіаційно небезпечні виробничі та технологічні процеси, пов'язані з видобуванням і переробкою уранової сировини, виробництвом і використанням джерел радіоактивного випромінювання, поводженням із радіоактивними відходами та діяльністю Запорізької АЕС. Тому і досі актуальною є подальша розробка радіоекологічного блоку при модернізації СЕМ «Придніпров'я». При цьому одним із суттєвих чинників, що визначають як екологічний стан загалом, так і радіаційний будь-якого регіону, є особливості його розломно-блокової будови. Наявність значного обсягу геолого-геофізичної інформації про тектонічну будову (зокрема, системи докембрійських розломів земної кори, що характеризуються єдиними планетарними закономірностями розміщення тектонічних структур) може бути однією з основ прогнозування конкретних напрямів небезпечного природно-техногенного радіологічного впливу об'єктів ядерного паливного циклу в умовах техногенно навантажених регіонів України. На прикладі територій, наближених до Запорізької АЕС – основного з підприємств-енерговиробників південного сходу України, показано необхідність залучення даних про радіонукліди природного походження ( $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$ ), які дають змогу більш детально вивчати тектонічну (розломно-блокову) інформацію для подальшого планування її інтерпретації даних моніторингових радіологічних досліджень. Результати аналізу радіологічних даних (зокрема, карт питомої активності  $Ra^{226}$  і  $Th^{232}$ ) свідчать про можливість залучення їх для уточнення карт тектонічного районування, побудованих за результатами інтерпретації гравітаційного і магнітного полів на основі геолого-знімальних свердловин.

**Ключові слова:** об'єкти ядерного паливного циклу, радіоекологічний фактор, радіонукліди природного походження, системи докембрійських розломів земної кори, система екологічного моніторингу, розломно-блокова тектоніка.

**Вступ.** Розвиток атомної енергетики є однією з пріоритетних умов ефективного промислового розвитку України як незалежної держави. Але об'єкти ядерного паливного циклу є потенційними джерелами радіоактивного забруднення довкілля. Зокрема, сучасну радіоекологічну ситуацію на південному сході України можна охарактеризувати як докризову. Тут розташовані численні підприємства українського ядерно-паливного циклу (підприємства видобутку та первинної переробки уранової сировини, сховища низькоактивних відходів

та Запорізька АЕС). Існуюча система екологічного моніторингу не повністю враховує радіоекологічний фактор на територіях поблизу ядерних об'єктів південного сходу України. Зараз переважно відбувається просте «підсумовування» діючих систем відомчого контролю над компонентами довкілля без необхідної повної просторової ув'язки їх мереж спостережень і завдань в умовах техногенно навантажених регіонів України. Актуальною є подальша розробка радіоекологічного блоку при модернізації цієї системи. При цьому одним

із чинників, що визначають як екологічний, так і радіаційний стан будь-якого регіону, є особливості тектонічної будови і насамперед розломи земної кори. Наявність значного обсягу інформації про тектонічні особливості розломів земної кори може бути однією з основ прогнозування конкретних напрямів небезпечної природно-техногенного радіологічного впливу об'єктів ядерного паливного циклу в різних регіонах України.

**Мета роботи** – показати на прикладі територій, наближених до Запорізької АЕС – основного з підприємств-енерговиробників південного сходу України, необхідність залучення даних щодо радіонуклідів природного походження ( $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$ ) з метою більш детального вивчення тектонічної (розломно-блокової) інформації для планування й інтерпретації даних моніторингових радіологічних досліджень.

**Радіологічні проблеми та моніторингові дослідження техногенно навантажених регіонів південного сходу України.** У середині 1990-х років було розпочато створення регіональної системи комплексного екологічного моніторингу – СЕМ «Придніпров'я» на території Дніпропетровської області, яка має одне з найвищих в Україні техногенне навантаження, як пілотного проекту з подальшим розширенням на всю територію країни. СЕМ «Придніпров'я» не дублює існуючі відомчі системи моніторингу окремих компонентів природного середовища, а містить їх у собі як окремі елементи й використовує їхню інформацію [1]. Проте суттєвим недоліком цієї системи є недостатня увага до радіологічних проблем, які пов'язані з тим, що на території Кіровоградської, Дніпропетровської та Запорізької областей склалася радіоекологічна ситуація, яка за своєю складністю і небезпечністю для біотичних компонентів довкілля та здоров'я населення, у тому числі майбутніх поколінь, не має аналогів в Україні. Зумовлено це тим, що на території вказаних областей із середини ХХ століття відбувалися радіаційно небезпечні виробничі та технологічні процеси: руднична розробка і підземне вилуговування уранових родовищ, зберігання (поховання) радіоактивних відходів видобутку та збагачення уранових руд, вилучення солей урану з уранових концентратів, доменна виплавка уранзалізовмісних руд, вилучення уранових солей із доменних шлаків уранзалізовмісних руд, виробництво і використання спеціальних приладів та обладнання з вживанням джерел радіоактивного випромінювання середньої і високої потужності, поховання радіоактивних джерел і відходів, що утворюються в різних галузях промисловості, а також наявність найбільшої у Європі Запорізької АЕС (ЗАЕС) [2, 3]. Частково радіологічні проблеми цього регіону вирішуються завдяки локальним системам моніторингу підприємств гірничо-збагачувального комбінату «Східний» (СхідГЗК) і окремих міст на території Кіровоградсько-Дніпропетровського регіону з видобування і первинної переробки уранової сировини [4], а також еколого-технічних відділів ЗАЕС [5]. Але ці системи сприяють вирішенню лише локальних радіологічних проблем і не надають достатньої

інформації для підтримки управлінських рішень регіонального рівня. Зазначене можливо проілюструвати на окремих результатах у районі вищезгаданої атомної станції.

**Радіологічний стан зони впливу ЗАЕС.** Електростанція розташована в південно-східній частині Середньодніпровського мегаблоку Українського щита (УЩ) на захід від Оріхівсько-Павлоградської шовної зони (ОПШЗ), яка обмежена крутоспадаючими лінійними тектонічними структурами – розломами. Тут, за геолого-геофізичними даними, структура докембрійського фундаменту є дуже складною з численними тектонічними порушеннями, які мають різні напрямки простягання та глибини закладення (рис. 1). Зона розлому характеризується широким ореолом метасоматичних змін, здебільшого мікроклінізації. З розломом, вірогідно, зв'язані інтрузії габро-перидотитової формації Новопавлівської ділянки та Малотерсянський лужний масив.

З початку 1990-х років тут почалися масштабні радіологічні дослідження. Зокрема, у районі ЗАЕС було виконано радіометричні дослідження (з використанням радіометрів-дозиметрів РКС.20.03, МКС-01Р і СРП-88Н). Потужність експозиційної дози гамма-випромінювання (гамма-фон) ближньої зони ЗАЕС є достатньо однорідним – 4–17 мкР/год. Основним фактором, що характеризує величину гамма-фону, є вміст у ґрунті радіонуклідів природного походження ( $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$  і здебільшого  $K^{40}$ ), що, зі свого боку, обумовлюється їх літолого-мінералогічним складом. Дуже низькими значеннями гамма-фону характеризується алювіальне утворення урочища Кучугури, яке простягається від східної околиці с. Водяне на заході до с. Іванівка на сході, із концентрацією природних радіонуклідів на межі чутливості спектрометра, тобто  $Ra^{226}$  і  $Th^{232}$  – ~10–20 пКі/кг і  $K^{40}$  – <30 пКі/кг. Дещо вищими показниками гамма-поля характеризується вся південна частина ближньої зони ЗАЕС, що пояснюється досить високим вмістом піщаної фракції в легких чорноземних ґрунтах, що спричиняє зменшення концентрацій природних радіонуклідів, характерних для звичайних чорноземів. У цій частині ближньої зони ЗАЕС гамма-поле має значення 10–11 мкР/год, відділяючись від урочища Кучугури ступою із гамма-фоном 6–9 мкР/год, що пояснюється поступовим зменшенням піщаної фракції в ґрунтах [6]. Північна (правобережна) частина ближньої зони характеризується дещо підвищеними значеннями гамма-фону від 10–11 мкР/год на узбережжі Каховського водосховища до 16–17 мкР/год далі у степовій частині Придніпров'я. У цій частині ближньої зони до так званого ґрунтового фактора додається також фактор наближеності до денної поверхні кристалічних порід кислого складу УЩ, які подекуди виходять на рівень сучасного ерозійного зрізу. Гранітоїди, які складають більшу частину докембрійського фундаменту південної частини Середньодніпровського та південно-західної частини Приазовського мегаблоків, належать до сидерофільного геохімічного

типу найдавніших гранітових комплексів УЩ. Цей тип характеризується досить стабільним набором провідних елементів спеціалізації, здебільшого сидерофільної групи та їх супутників, а саме: Co, Ni, Cr, Cu, Sr. Такі елементи, як F, Sn, Pb, Mo та U, Th, підвищений вміст яких відзначено в деяких гранітоїдних комплексах архею, за своєю природою є накладеними і до числа провідних не включено [7].

Масштабні радіологічні дослідження, які були виконані на початку 90-х років минулого століття навколо всіх атомних електростанцій України, показали просторовий розподіл природних ( $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$ ) і техногенних ( $Cs^{134}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $Sr^{90}$ ) радіонуклідів у ґрунті (глибина – 15 см) по сітці  $2 \times 2$  км (прилегла зона ЗАЕС) і  $5 \times 5$  км (дальня зона). Природні та техногенні (у тому числі  $H^3$ ) радіонукліди у воді досліджено в колодязях (у населених пунктах) і ставках між населеними пунктами по мережі  $10 \times 10$  км (ближня зона ЗАЕС) і  $20 \times 20$  км (дальня зона). Небезпечних проблем із локальним радіологічним навантаженням тут не виявлено. Дозове навантаження на населення внаслідок зовнішнього опромінення становить 0,4–4 мкЗв/рік – менше за ліміт дози для населення (НРБУ-97). Стосовно техногенних гамма-випромінювачів слід зазначити таке. Так зване чорнобильське забруднення щільністю до 0,3 Кі/км<sup>2</sup> [6] помітно не вплинуло на гамма-фон у зоні впливу ЗАЕС. Також слід відмітити, що за «планової» інтенсивності щорічних випадіння радіонуклідів за умов безаварійної діяльності ЗАЕС ( $Be^7$  – 5–13 мКі/км<sup>2</sup>,  $Cs^{137}$  – 0,2–30 мКі/км<sup>2</sup>,  $Co^{60}$  – 0,02–0,05 мКі/км<sup>2</sup>) [8] помітних змін існуючого гамма-фону не встановлено і протягом найближчих років вони не передбачаються.

У районі ЗАЕС (рис. 1) зафіксовано тектонічні порушення різних рангів і напрямів, які побудовані за результатами інтерпретації гравітаційного і магнітного полів із використанням даних геолого-знімальних свердловин [9]. При цьому найбільша питома активність  $Th^{232}$  (рис. 1, а) відмічається на південь від ЗАЕС і в північно-східній і південно-східній частинах площі досліджень і знижується в межах субширотної Конкської тектонічної зони та ОПШЗ. У межах останньої мінімальна активність відмічається у вузлі її перетину з Південною розломною зоною (рис. 1, а). Зона Конкського розлому простежується на південь і північ від ЗАЕС. Вірогідно, він утворився після кратонізації Середньопридніпровського мегаблока. У центральній частині мегаблока порушення обмежує Томаківську антиформу. Конкський розлом простежується через всю досліджену територію, деякі дослідники рахують його розломом I рангу для УЩ, трасуючи його через весь щит. Зона розлому характеризується широким ореолом метасоматичних змін, здебільшого мікроклінізацією. Його простягання картується по зміні рисунку гравітаційного та магнітного полів. Західна частина обмежує простягання додатних аномалій магнітного поля інтенсивністю 0÷200 нТл на південь. У гравітаційному полі локальних аномалій впевнено простежується тільки в його західній та центральній частині по зміні морфології поля й обрізанню

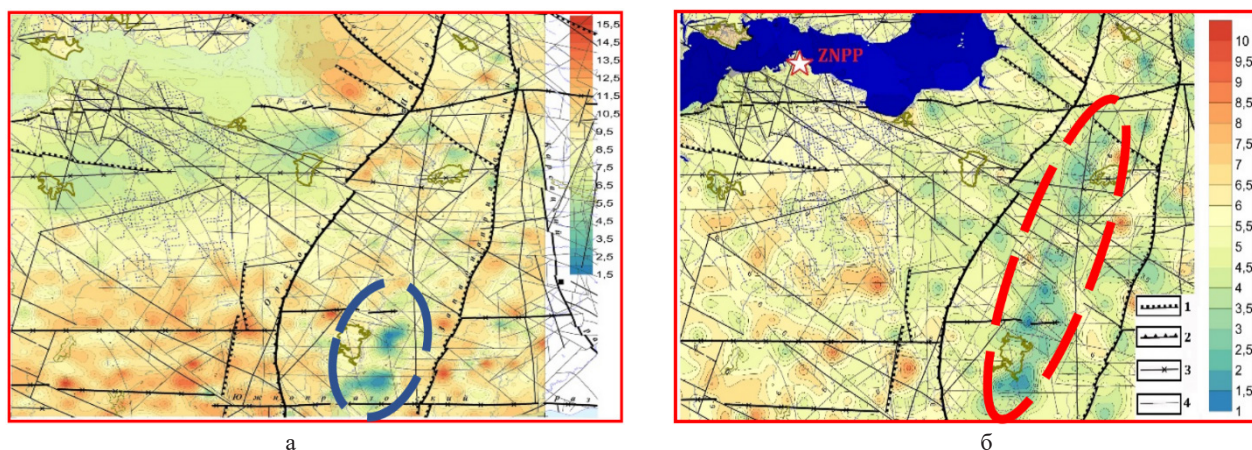
додатних аномалій, які розташовані на північ від нього. На окремих ділянках до нього приурочені від'ємні аномалії  $Dg_{\text{зал}}$  інтенсивністю від  $-0,25 \div -0,5$  мГал до  $-1,0 \div -1,25$  мГал [9–11].

Загальний вигляд карти питомої активності  $Ra^{226}$  (рис. 1, б) по-новому підкреслює регіональне тектонічне районування, де границя між південною частиною Середньопридніпровського та південно-західною частиною Призовського мегаблоків повинна проходити західніше Орхівсько-Павлоградського розлому по центральній осі простягання Білозірської зеленокам'яної структури. Але водночас у межах ОПШЗ виявлено аномальну зону підвищеної проникності з низькими значеннями аномалій питомої активності  $Th^{232}$  (коричнева переривчаста лінія, рис. 1, а) та  $Ra^{226}$  (червона переривчаста лінія, рис. 1, б). З одного боку, збіг її напрямку з основним напрямком ОПШЗ ( $\sim 17^\circ$ ) вказує на тектонічне походження цієї зони, а з іншого боку, просторова невідповідність аномалій  $Th^{232}$  і  $Ra^{226}$  є наслідком дуже складної розломно-блокової «роздробленості» цієї зони із численними сікучими тектонічними порушеннями, що мають, по-перше, різні напрямки простягання та глибину закладення, по-друге, різний час їх активізації. Тому для подальших геолого-геофізичних досліджень окремих аномалій у межах виділеної зони потрібна додаткова просторова обробка тектонічної інформації про розломно-блокові особливості. Зокрема, для цього може бути використана відома інформація про системи докембрійських розломів [12, 13].

**Геоекологічна «роль» тектоніки.** Системи розломів земної кори значною мірою визначають «геоекологічний» стан територій [12]. Самі розломи – це не прості розривні порушення, а складні міжблокові тектонічні зони (структури) багатоактного утворення, сформовані внаслідок декількох послідовних тектонічних активізацій. Кожен розлом є джерелом закономірно розташованих локальних полів напруги та деформації, які визначають підвищену тріщинуватість і водопроникність масивів гірських порід, підвищену швидкість сучасних рухів земної кори, із чим пов'язані потенційні зони яроутворення, просадки, зсуви й інші сучасні екзогенні геологічні процеси. Розломи можуть порушувати захищеність підземних водоносних горизонтів від забруднення та слугувати шляхами міграції природно-техногенних хімічних сполук. Господарське використання природних ресурсів без урахування особливостей тектонічної (розломно-блокової) будови може призвести до небажаних порушень основних компонентів довкілля на конкретній території.

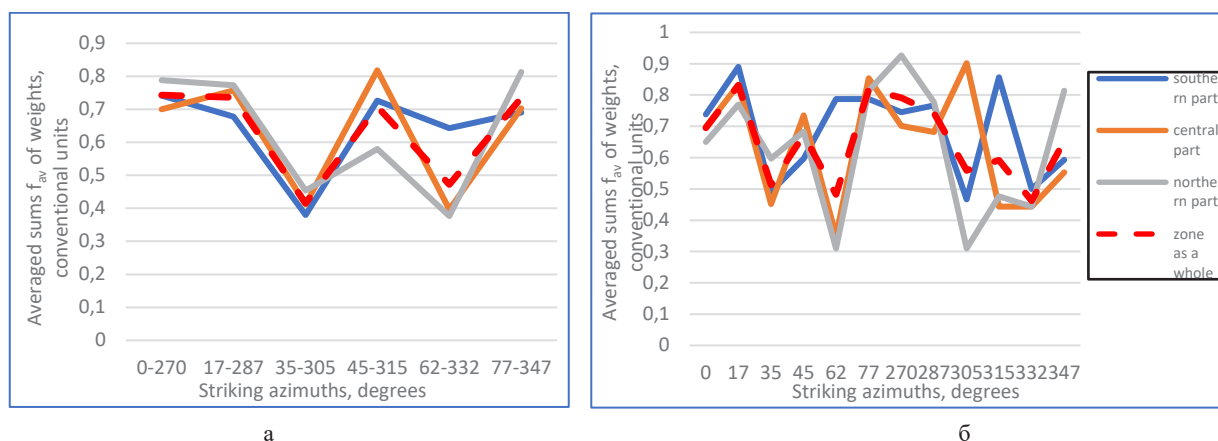
Однією із використаних під час побудови тектонічної основи досліджуваної території складових були відомі уявлення про системи докембрійських розломів, що характеризуються єдиними планетарними закономірностями розміщення тектонічних структур [13], що є розвитком започаткованих ще Чебаненком І. І. досліджень системного розташування розломів, основаних на узагальненні світового досвіду вивчення закономірностей розломної тектоніки земної кори [14,15]. За





**Рис. 1.** Питома активність  $\text{Th}^{232}$  (а) та  $\text{Ra}^{226}$  (б) та розломна тектоніка поблизу ЗАЕС (Бк/кг). Тектонічні порушення: 1 – опускання; 2 – підняття; 3 – розсування; 4 – невеликі розломи з невідомими морфологічними та кінетичними характеристиками

**Fig. 1.** Specific activity of  $\text{Th}^{232}$  (a) and  $\text{Ra}^{226}$  (b) with fault tectonics near ZNPP (Bq/kg). Tectonic faults: 1 – dropping; 2 – uplifts; 3 – spreading; 4 – small faults with unknown morphological and kinetic characteristics



**Рис. 2.** Усереднені суми  $f_{av}$  ваг усіх геолого-геофізичних індикаторів різних систем розломів (а) та окремих напрямків розломів (б) на різних ділянках Оріхово-Павлоградської шовної зони

**Fig. 2.** Averaged sums  $f_{av}$  of weights of all geological-geophysical indicators of different fault systems (a) and individual fault directions (b) on different parts of the Orichovo-Pavlograd seam zone (OPSZ)

даними детальних геолого-геофізичних досліджень, у межах України встановлено шість систем розломів, що характеризуються такими парами азимутів простягання: 0 і 270°, 17 і 287°, 35 і 305°, 45 і 315°, 62 і 332°, 77 і 347°. Природним наслідком виникнення систем розломів у кожен епоху тектонічної активізації є особливе блокування тектоносфери. Взаємне перетинання розломів різних порядків утворює системи тектонічних блоків відповідних порядків, під якими розуміють ділянки земної кори, обмежені розломами, з певною спільністю геологічної будови, обумовленої єдиною історією формування.

Попередньо було розроблено уніфіковану шкалу кількісної оцінки вагових коефіцієнтів різних груп геолого-геофізичних ознак систем розломів земної кори [16]. Ці коефіцієнти віддзеркалюють ступень прояву окремих груп і підгруп ознак (індикаторів) систем розломів. «Вага» всіх груп ознак нормована до одиниці. З використанням цієї уніфікованої шкали та Каталогу

ознак розломів Українського щита (що створений Тяпкіним К. Ф. та Гонтаренком В. М. у 1990 р.) для конкретних розрахункових точок (полігонів) були визначені вагові коефіцієнти всіх ознак різних систем розломів та їх нормована сума. Отримані результати були покладені в основу детального вивчення «подрібненості» приповерхневого шару земної кори за комплексом геолого-геофізичних даних для вирішення як геологорозвідувальних, так й інженерно-геоекологічних завдань. Узагальнені результати таких розрахунків для різних частин ОПШЗ наведено у вигляді «розгорнутої троянди-діаграми» (рис. 2). За значеннями розрахованої нормованої суми вагових коефіцієнтів систем розломів можна виокремити основні та другорядні пріоритетні локальні напрями небезпечного геоекологічного впливу в різних частинах ОПШЗ (табл. 1).

Загалом аномалії зниженої питомої активності  $\text{Th}^{232}$  добре «контролюються» напрямком простягання з азимутом 270° системи розломів 0 і 270°,

**Таблиця 1.** Пріоритетні локальні напрями небезпечного геоecологічного впливу в різних частинах Оріхово-Павлоградської шовної зони

**Table 1.** Priority local directions of dangerous geoeological impact on different parts of the Orichovo-Pavlograd seam zone (OPSZ)

Частина зони	Азимут простягання, градус											
	0	17	35	45	62	77	270	287	305	315	332	347
південна		++			+	+		+		++		
середня		++		+		+			++			
північна		+		+			++					

Примітки: ++ основні напрямки, + другорядні напрямки.

а локальні аномалії  $Ra^{226}$  «підкреслюють» основні напрямки тектонічних систем з азимутами 17°, 270°, 305° та 315°. Таким чином, аномалії питомої активності  $Th^{232}$  та  $Ra^{226}$  сприяють більш повному вивченню особливостей розломно-блокової будови та цифровому ранжуванню території досліджень.

Загалом отримані результати геолого-геофізичного виявлення та вивчення розломно-блокової тектоніки досліджуваної території розташування ЗАЕС із залученням даних щодо радіонуклідів природного походження ( $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$ ) можуть бути однією з основ детального вивчення тектонічної «роздробленості» приповерхневого шару земної кори для вирішення широкого кола інженерно-геоecологічних завдань і прогнозування напрямів небезпечного геоecологічного впливу об'єктів техногенної інфраструктури.

**Висновки.** Розвиток атомної енергетики є одним із пріоритетних шляхів промислового розвитку України. Проте об'єкти ядерного паливного циклу є потенційними джерелами радіоактивного забруднення навколишнього середовища як для території України, так і для інших країн Східної та Центральної Європи, що, зі свого боку, потребує розробки й удосконалення радіоecологічного блоку системи ecологічного моніторингу техногенно навантажених регіонів України.

Результати аналізу радіологічних матеріалів (зокрема, карт питомої активності  $Th^{232}$  і  $Ra^{226}$ ) свідчать про можливість залучення їх для уточнення карт тектонічного районування, побудованих за результатами інтерпретації гравітаційного і магнітного полів на основі даних геолого-знімальних свердловин. Їх комплексний аналіз свідчить про те, що інтерпретація аномалій питомої активності  $Th^{232}$  і  $Ra^{226}$  дає додаткову інформацію про стан і час утворення / активізації конкретних систем розломів земної кори.

Переінтерпретація даних масштабних радіологічних досліджень, які були виконані на початку 90-х років минулого століття поблизу інших атомних електростанцій України, дадуть змогу значно доопрацювати наявні тектонічні карти місць їх розташування та модернізувати існуючі регіональні і локальні системи ecологічного моніторингу територій поблизу об'єктів ядерно-паливного циклу України.

#### Література

1. Шапар А. Г., Шматков Г. Г., Петренко В. С. та ін. Досвід і проблеми впровадження системи моніторингу. Екологія і природокористування : зб. наук. пр. Інституту проблем

природокористування та екології НАН України. 2013. Вип. 16. С. 221–234.

2. Tyapkin O.K., Shapar A.G., Yemets N.A., Bilashenko O.G. Increase of Efficiency of Soil Remediation from Radioactive Pollution. 71st European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2009: Balancing Global Resources. Incorporating SPE EUROPEC 2009. 2009. P. 1655–1659.

3. Pihulevskiy P., Tiapkin O., Anisimova L. Features of radioactive waste stores in central Ukraine // Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: Proceedings of XII International Scientific Conference. – Kyiv, Ukraine, 2018. CD, 5 p.

4. Тяпкін О. К., Сердюк Я. Я., Остапенко Н. С., Кириченко В. А. Вирішення проблем, пов'язаних із розвитком системи комплексного ecологічного моніторингу територій видобування та первинної переробки уранової сировини в Центральній Україні. Екологія і природокористування : зб. наук. пр. Інституту проблем природокористування та екології НАН України. 2012. Вип. 15. С. 179–190.

5. Pihulevskiy P., Tiapkin O., Anisimova L. Use of geological-geophysical tectonic information for modernization of integrated environmental monitoring systems of technogenic loaded regions of Ukraine. Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: Proceedings of XVI International Scientific Conference. 2022. Vol. 2022, p. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580063>

6. Карта ґрунтів Української РСР. Київ: Укрземпроект, 1972.

7. М. І. Толстой, Ю. Л. Гасанов, Н. В. Костенко та ін. Петрогеохімія і петрофізика гранітоїдів Українського щита. Київ : ВПЦ Київський університет, 2003. 329 с.

8. ЗАЕС. Обґрунтування ecологічної безпеки будівництва та експлуатації ЗАЕС. Харків : Енергопроект, 1993. 124 с.

9. Пігулевський П. Г., Свистун В. К., Мечніков Ю. П., Кирилюк О. С., Лісовий Ю. В. Особливості диз'юнктивної тектоніки Криворізького залізничного району. Геофізичний журнал. 2016. № 5 (Т. 38). С. 154–163.

10. Свистун В. К., Антонов В. О., Пігулевський П. Г. Підсумки формування бази гравіметричних даних в Україні. Геоінформатика. 2020. Вип. 3 (75). С. 83–91.

11. Svistun V., Pihulevskiy P. Gravimetric survey and gravimetric database in Ukraine “Dniprogeofizika” during 2000–2011 carried out works on collection, analysis and formation of an electronic gravimetric data base (GDB) of the territory of Ukraine. Based on the results of the work car. 20th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects. 2021. P. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521132>.

12. Tiapkin O.K., Pihulevskiy P.H., Dovbnich M.M. Taking into account of influence of earth crust faults in solving geological and geoeological tasks by geophysical methods. Scientific Bulletin of National Mining University. 2017. Vol. 6. P. 15–22.

13. Чебаненко І. І. Основні закономірності розломної тектоніки України. Київ : Вид-во АН УРСР, 1963. 155 с.

14. Чебаненко І. І. Теоретичні аспекти тектонічної ділимості земної кори. Київ : Наукова думка, 1977. 83 с.

15. Тяпкін О. К., Тяпкін О. К., Якимчук М. А. Основи геофізики. Київ : Карбон ЛТД, 2000. 248 с.

16. Тяпкін О. К., Бурлакова А. О., Соломашко О. С. Обробка геолого-геофізичної тектонічної інформації при прогнозуванні геоecологічного стану довкілля. Ефективне функціонування ecологічностабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроecологічний, соціальний та економічний аспекти. Матеріали IV міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції. 2020. С. 138–142.

## References

1. Shapar, A.H., Shmatkov, H.G., Petrenko, V.S. et al (2013), "Experience and problems of the monitoring system implementation", Ecology and nature management: Scientific works collection of the Institute of Environmental Problems and Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Vyp. 16: 221–234.
2. Tyapkin, O.K., Shapar, A.G., Yemets, N.A. and Bilashenko, O.G. (2009), "Increase of Efficiency of Soil Remediation from Radioactive Pollution", 71st European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2009: Balancing Global Resources. Incorporating SPE EUROPEC 2009, Amsterdam, The Netherlands, Paper R009: 1655–1659.
3. Pihulevskiy, P., Tiapkin, O. and Anisimova, L. (2018), "Features of radioactive waste stores in central Ukraine", Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: Proceedings of XII International Scientific Conference. Kyiv, UA, CD, 5 p.
4. Tyapkin, O.K., Serdyuk, Ya.Ya., Ostapenko, N.S. and Kyrychenko, V.A. (2012), "Solving problems related to the development of integrated environmental monitoring system of mining and primary processing of uranium raw materials the territories in Central Ukraine", Ecology and nature management: Scientific works collection of the Institute of Environmental Problems and Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Issue 15: 179–190.
5. Pihulevskiy, P., Tiapkin, O. and Anisimova, L. (2022), "Use of geological-geophysical tectonic information for modernization of integrated environmental monitoring systems of technogenic loaded regions of Ukraine", Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: Proceedings of XVI International Scientific Conference, Kyiv, UA, Paper Mon-22-063, Vol. 2022: p. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580063>.
6. "The Ukrainian USSR soils map", (1972), Ukrzemproekt, Kyiv, UA.
7. Tolstoy, M.I., Hasanov, Yu.L., Kostenko, N.V. et al (2003), "Petrogeochemistry and petrophysics of the Ukrainian shield granitoids", VOC Kyiv University, Kyiv, UA, 329 p.
8. "ZNPP. Justification of the environmental safety for the ZNPP construction and operation", (1993), Kharkiv: Energo-project, 124 p.
9. Pigulevskiy P.G., Svistun V.K., Mechnikov Yu.P., Kyrlyuk O.S., Lisovoy Yu.V. Features of disjunctive tectonics of Krivoy Rog iron ore area, Geofizicheskiy zhurnal, 2016. Vol.38, 5: 154–163.
10. Svistun, V.K., Antonov, V.O. and Pigulevskiy, P.G. (2020), "The formation of the gravimetric data base in Ukraine are results", Geoinformatics, Vyp. 3 (75): 83–91.
11. Svistun V., Pigulevskiy P. (2021), "Gravimetric survey and gravimetric database in Ukraine "Dniprogeofizika" during 2000-2011 carried out works on collection, analysis and formation of an electronic gravimetric data base (GDB) of the territory of Ukraine. Based on the results of the work car", 20th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspectsthis, Kyiv, UA: 1-7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521132>.
12. Tiapkin, O.K., Pihulevskiy, P.H. and Dovbnich, M.M. (2017), "Taking into account of influence of earth crust faults in solving geological and geoecological tasks by geophysical methods", Scientific Bulletin of National Mining University, Vol. 6: 15–22.
13. Chebanenko I.I. (1963), The main patterns of fault tectonics of Ukraine, Publishing House of Ukrainian Academy of Sciences, Kyiv: 155 p.
14. Chebanenko I.I. (1977), Theoretical aspects of tectonic divisibility of the Earth's crust, Naukova dumka, Kyiv: 83 p.
15. Tyapkin, K.F., Tyapkin, O.K. and Yakymchuk, M.A. (2000), Fundamentals of geophysics, Carbon LTD, Kyiv: 248 p.
16. Tyapkin, O.K., Burlakova, A.O. and Solomashko, O.S. (2020), "Processing of geological-geophysical tectonic information for forecasting the geoecological state of the environment", Effective functioning of ecologically stable territories in the context of sustainable development strategy: agroecological, social and economic aspects: Proceedings of the 4th international scientific and practical Internet conference, Poltava: 138-142.

## RADIOLOGICAL AND TECTONIC INFORMATION ARE USE IN THE SYSTEM OF COMPREHENSIVE ENVIRONMENTAL MONITORING OF TECHNOLOGICALLY LOADED FOR SOUTHEAST REGIONS OF UKRAINE

*Pihulevskiy P.H., Tiapkin O.K., Lisovyi Yu.V., Logvin V.M., Yaremii S.O.*

**Pihulevskiy P.H.**, D. Sc. (Geology), Senior Researcher, S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID: 0000-0001-6163-4486, [pigylev@ukr.net](mailto:pigylev@ukr.net)

**Tiapkin O.K.**, D. Sc. (Geology), Senior Researcher, Dnipro University of Technology, ORCID: 0000-0002-2345-8343, [tiapkin.oleh@gmail.com](mailto:tiapkin.oleh@gmail.com)

**Lisovyi Yu.V.**, Junior Researcher, S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID: 0000-0001-6145-9251, [lisovyi@ukr.net](mailto:lisovyi@ukr.net)

**Logvin V.M.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Dnipro University of Technology, ORCID: 0000-0002-9972-7036, [logvinvn@gmail.com](mailto:logvinvn@gmail.com)

**Yaremii S.O.**, Postgraduate, Dnipro University of Technology, ORCID: 0000-0001-6235-0370, [yaremii0602@gmail.com](mailto:yaremii0602@gmail.com)

*The existing environmental monitoring system in Ukraine does not fully take into account the radioecological factor on the territories near many nuclear objects on the southeast of country (including enterprises for the extraction and primary processing of uranium raw materials, low-level waste storage and the Zaporizhzhia nuclear power plant), where the current radioecological situation can be characterized as pre-crisis. That is why it was here in the mid-1990s that the creation of a regional system for comprehensive environmental monitoring – SEM «Prydniprovyia» on the territory of Dnipropetrovsk region, which has one of the highest man-made loads in Ukraine, was started as a pilot project with further expansion to the entire territory of the country. But at the same time, a significant drawback of this system is insufficient attention to radiological problems, which are connected with the fact that a radioecological situation has developed in the territory of Kirovohrad, Dnipropetrovsk and Zaporizhzhia regions, which, due to its complexity and danger to the biotic components of the environment and the population health including future generations, has no analogues in Ukraine. This is due to the fact that since the middle of the 20th century, radiation-hazardous industrial and technological processes related to the extraction and processing of uranium raw materials, the production and use of radioactive radiation sources, the handling of radioactive waste, and the activities of the Zaporizhzhia NPP have been taking place in these regions. Therefore, the further development of the radio-ecological unit during the modernization of the specified SEM «Prydniprovyia» is still relevant. At the same time, one of the essential factors determining both the ecological state in general and the radiation state in particular of any region are the peculiarities of its fault-block structure. The presence of a significant amount of geological and geophysical information about the tectonic structure (in particular, the system of Precambrian faults of the earth's crust, characterized by the single planetary regularities of the placement of tectonic structures) can be one of the bases for forecasting specific directions of dangerous natural and man-made radiological impact of nuclear fuel cycle objects in the conditions of man-made busy regions of Ukraine. Using the example of the territories adjacent to the Zaporizhzhia NPP, the main energy-producing enterprise in the south-east of Ukraine, it is shown the need to involve data on radionuclides of natural origin ( $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$ ), which allow for a more detailed study of tectonic (fault-block) information for further planning and interpretation of monitoring data radiological studies. The results of radiological data analysis (in particular, maps of the specific activity of  $Ra^{226}$  and  $Th^{232}$ ) indicate the possibility of their involvement in the refinement of tectonic zoning maps, constructed based on the results of the interpretation of gravity and magnetic fields based on geological survey wells.*

**Key words:** nuclear fuel cycle objects, radioecological factor, radionuclides of natural origin, Precambrian crustal fault systems, ecological monitoring system, fault-block tectonics.