

М. ОРЛЮК¹, А. МАРЧЕНКО¹, П. ЯЦЕВСЬКИЙ²

¹ Інститут геофізики ім. С. І. Суботіна НАН України, пр. Палладіна, 32, м. Київ, Україна, 03860

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, Україна, 03022

ЗВ'ЯЗОК РАДОНОВИХ І МАГНІТНИХ АНОМАЛІЙ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА ТА МІСТА КИЄВА

<https://doi.org/10.23939/jgd2018.01.080>

Мета дослідження – виявлення на території України та м. Києва зв'язку між геомагнітними і радоновими аномаліями під час вивчення геоecологічної обстановки території та оцінки її екологічної безпеки. Геомагнітні та радонові аномальні поля є суттєвими геофізичними чинниками навколишнього середовища, які значною мірою визначають його екологічний стан. Спільний аналіз геомагнітних і радонових аномалій дасть змогу обґрунтованіше виділяти екологічно небезпечні зони, які не є такими за одним з цих факторів. **Методика дослідження** полягає в застосуванні дискримінантного виявлення кореляційно-генетичних зв'язків між даними про радоноактивність порід фундаменту, що отримана за польовими і лабораторними визначеннями на невеликій площі, з аномальним магнітним полем та розломами, і подальшого поширення знайденої закономірності на всю територію вивчення. **Результати:** для території Українського щита виявлено кореляцію радонових і уранових аномалій з від'ємними магнітними аномаліями регіонального і локального класів і з розломами та зонами тріщинуватості, по яких радон надходить на земну поверхню. Максимальна кількість радону встановлена в геодинамічних активних зонах покривних відкладів, які пов'язані з розривними порушеннями в корінних породах. Виконано аналіз природних і техногенних магнітних і радонових аномалій на території Києва, а також у різних спорудах, приміщеннях і у метрополітені. **Наукова новизна** дослідження визначається тим, що вперше на території України проведено сумісний аналіз магнітного поля з радоновими аномаліями і розломами. Показано, що як на регіональному, так і локальному рівні уранові, радонові аномалії і родовища пов'язані переважно з негативними аномаліями геомагнітного поля різних класів або приурочені до їх градієнтних зон. **Практична значущість:** запропоновано фізико-мінералогічне і тектонічне обґрунтування такого зв'язку, а також виявлені місця з перевищенням допустимих норм магнітного поля і радіаційного випромінювання.

Ключові слова: Український щит, Київ, розлом, радон, магнітне поле.

Вступ

Геомагнітні і радонові аномальні поля є суттєвими геофізичними чинниками навколишнього середовища, які в значною мірою визначають його екологічний стан. Сьогодні розроблені гранично допустимі норми інтенсивності магнітного поля і радіаційного випромінювання, які не повинні перевищуватися в місцях проживання і роботи людей [Орлюк, 2001, 2003, 2004; Резинкина и др. 2009]. Значна частина радіаційного опромінення обумовлена радоном. Отже, виявлення на території України і в м. Києві геомагнітних і радонових аномальних зон є актуальним завданням під час вивчення геоecологічного стану території та оцінювання її екологічної безпеки.

Згідно з дослідженнями, радонові аномалії генеруються радіоактивними елементами ураном і торієм, які концентруються в породах, ґрунтах і підземних водах, особливо в зонах впливу розломів, активних у сучасну епоху [Старостенко и др. 2013; Rusov et. al., 2014; Гарецкий и др. 2016]. Особливо актуальна ця проблема для населених пунктів. Відомо, що переважно радон у житлові приміщення надходить з ґрунту під

будівлею. За цього максимальні його кількості генеруються в геодинамічно активних зонах поверхневих відкладів, пов'язаних з розривними порушеннями в корінних породах. Найбільшу небезпеку становлять ділянки, де такі розриви локалізовані в гранітах, які неглибоко залягають. У багатьох країнах ділянки під житлове будівництво досліджують на предмет радонової небезпеки, вивчаються можливі джерела і шляхи надходження радону в раніше побудовані будинки. В умовах України такі дослідження перебувають на початковій стадії [Алехин, 2004].

У більшій частині території України контроль вмісту радону не здійснюється, карт радононебезпеки практично немає, необхідний обсяг повного обстеження помешкань далекий до завершення. Найбільший обсяг досліджень і радонозахисних заходів виконано в обласних центрах [Основные..., 2005]. У регіонах проводили переважно вибіркові дослідження.

Наявна розробка радонозахисту страждає відсутністю достовірних методів прогнозу радононебезпеки територій і приміщень будівель. Наявні фактичні матеріали по Українському щиту відрізняються від прогнозованої радононебезпеки території України [Диденко, 2011].

Мета дослідження

Виявлення на території України і в м. Києві зв'язку між геомагнітними і радоновими аномаліями під час вивчення геоecологічної обстановки території та оцінки її екологічної безпеки. Геомагнітні і радонові аномальні поля є суттєвими геофізичними чинниками навколишнього середовища, які значною мірою визначають її екологічний стан.

Обсяг точкових досліджень досить обмежений для надійного прогнозування аномального поля радону на всій території.

Для отримання уявлень про характер поведінки радонового поля автори [Гарецький и др. 2017] пропонують використовувати методику дискримінантного виявлення кореляційно-генетичних зв'язків між експериментальними даними про радоноактивність порід фундаменту, з геофізичними полями, і подальше поширення знайденої закономірності на всю територію вивчення.

Відомо, що магнітні аномалії дуже добре відображають внутрішню структуру речових неоднорідностей кристалічного фундаменту. Тому передбачено хорошу кореляцію геомагнітного поля з даними про радоноактивність порід фундаменту. Отже, в статті буде проаналізовано радонові та магнітні аномалії в двох аспектах: по-перше, обґрунтування можливості прогнозування радононебезпечних ділянок на підставі кореляційно-генетичних зв'язків з геомагнітним полем, а по-друге, виявлення місць з перевищенням гранично допустимих норм інтенсивності магнітного поля і радіаційного випромінювання.

Природна радіоактивність і зв'язок з геомагнітних полем на території України

До потенційно радононебезпечних зон за геологічними даними належать території: розповсюдження багатих на уран і торій порід кристалічного щита України, які підступають до денної поверхні ближче ніж 5–15 м; заплавної ділянок річкової мережі в межах Українського щита, зокрема і передовсім річок, що прорізають пухку товщу осадових відкладів до кристалічних порід; кори вивітрювання, де осадові відклади утворилися в результаті руйнування древніх кристалічних порід; поширення осадових порід з підвищеним вмістом урану і торію [Евдокимов и др., 2012].

На території України основні джерела природної радіації зосереджені в межах Українського кристалічного щита та меншою мірою на Донбасі й у Карпатах. Площі з високим рівнем радоновиділення займають близько 20 % території кристалічного щита [Іванов, 2003].

Найбільший вплив на формування радіоактивного фону в Україні мають U, Th, ^{40}K , ^{87}Rb . Пересічний вміст урану в кристалічних породах – 2,2 г/т, торію – 14 г/т, співвідношення Th/U – 5,6.

Південна частина Українського щита становить головний радононосний та ураноносний район України, понад 50 % якого характеризується аномальними концентраціями радону й урану в ґрунтах і підземних водах [Іванов, 2003].

Варто зазначити, що у гірських породах уран входить у кристалічну структуру силікатів або знаходиться в рухомій формі (до 90 % урану в деяких гранітах) і легко вилугується. Висока інтенсивність міграції і здатність до концентрації визначають типи уранового рудоутворення, зокрема в магматичних породах.

Особливо високою радіоактивністю володіють граніти, що містять 50–110 Бк/кг ^{238}U , 85–480 Бк/кг ^{232}Th , 95–115 Бк/кг ^{226}Ra .

Більшість регіонів України належатимуть до зон з нормальними активностями радону в ґрунтах, і тільки окремі території зараховуватимуть до високорадонових або низкорадонових категорій.

Здатність виділення гірськими породами еманції радону в повітря ґрунтів або підземні води, визначається не тільки вмістом радіоактивних елементів ряду урану, а й структурою породи, її щільністю, ступенем руйнування і тріщинуватістю, вологістю, температурою та іншими факторами [Верховцев и др., 2014].

Практика показала, що активність радону в ґрунтах може змінюватися від 5 до 90 кБк/м³.

Вплив кристалічного щита і магматичних гірських порід на активність радону в ґрунтах за потужності осадового чохла в кілька десятків метрів обумовлено не його прямим перенесенням з цих шарів у верхній горизонт, а генетично, тобто багаті ураном і радієм породи зумовлюють склад верхніх горизонтів ґрунтів.

За результатами геохімічних досліджень встановлено прямий зв'язок інтенсивності радонових аномалій з зонами тектонічних порушень. Максимальну кількість радону встановлено в геодинамічно активних зонах покривних відкладів, пов'язаних з розривними порушеннями в корінних породах. Найнебезпечнішими є ділянки, де такі розриви локалізовані в породах, що залягають неглибоко.

Встановлено, що в зоні тектонічних порушень вміст радону збільшується в десятки разів: за фонового вмісту 100 Бк/м³ у зоні розлому часто фіксуються значення 1000 Бк/м³ [Дмитренко и др., 2014].

Основною урановмісною породою є альбітит (лейкократова метасоматична порода, основна маса якої складається з дрібнозернистого альбіту, а на її фоні – порфіроподібні виділення кварцу, мікрокліну, подекуди слюди, рідше амфіболу). Ця порода пов'язана з купольними структурами Українського щита, які сформовані здебільшого гранітними масивами кіровоградського комплексу. Мінеральний склад альбітиту залежить від складу вихідних порід і помітно змінюється відповідно до їх лужності [Фомин и др., 2010].

Уранове зруденіння представлено типовими для альбіттів парагенезисами: альбіт-хлоритовим, альбіт-рибекітовим з піритом і альбіт-гематит-карбонат-флогопітовим. Вихідні кластогенні породи нижнього протерозою на УЩ характеризуються підвищеними і диференційованими концентраціями урану: в середньому 4,4 г/т за умови, що кларк урану для Інгульського блоку становить 2,7 г/т.

Природа радонових вод УЩ пов'язана з радіоактивними елементами докембрійських гранітоїдів. За вмістом радону вода ділиться на чотири групи: 1) дуже слабкорадонові води (185–740 Бк/кг); 2) слабкорадонові води (740–1480 Бк/кг); 3) радонові води середньої концентрації (1480–7400) Бк/кг; 4) високорадонові води (понад 7400 Бк/кг) [Диденко, 2011].

Вміст радону підземних вод пов'язаний з особливостями будови верхньої частини земної кори в області поширення водоносних горизонтів у докембрійських комплексах Ук раїнського щита. Для підземних вод різних регіонів, розташованих у межах Українського щита, концентрація радону змінюється від 30 до 7400 Бк/кг, а поза його межами – 37 Бк/кг. Формування підвищеного вмісту радону підземних вод водоносних горизонтів пов'язано з речовинним складом порід фундаменту і наявністю розломів та зон тріщинуватості. Заміри вмісту радону, які проводилися над розломами, показали, що його концентрація підвищувалася в кілька разів.

Магнітне поле Українського щита характеризується великою диференціацією і різноманітністю форм аномалій. У західному і південно-західному напрямках зменшуються горизонтальні градієнти і загальна інтенсивність поля.

Аналіз частотного складу аномального магнітного поля щита в цілому і окремих мегаблоків свідчить про те, що воно має дві складові: локальну і регіональну. Під локальними розуміють аномалії, джерела яких розташовані в докембрійском фундаменті і поширюються до глибин 5–10 км.

Встановлено, що джерела локальних і регіональних аномалій пов'язані між собою: високодиференційовані за петрографічним складом і намагніченістю кори ділянки докембрійського фундаменту відповідають найбільш магнітним різновидам порід у нижній частині кори. На щиті регіональні магнітні аномалії в західній частині приурочені до блоків другого порядку, а в центральній і східній частинах належать частково або повністю до міжблокових зон. Локальні аномалії пов'язані переважно з основними, середніми і метаморфічними породами. Розломи Українського щита фіксуються різкими градієнтами в регіональному магнітному полі і супроводжуються чіткою зміною морфології його локальної компоненти і зазвичай мініміумами різних масштабів та інтенсивності [Крутиховская и др., 1982].

З метою зіставлення геомагнітного поля з радоновими і урановими аномаліями УЩ

розроблено карти його регіональної (ΔT)_{a per} (в якій відбивається переважно магнітна неоднорідність нижньої частини земної кори) і локальної (ΔT)_{a,лок} компоненти поля (магнітна неоднорідність верхньої частини земної кори) (рис. 1).

Аналіз показує, що як на регіональному, так і локальному рівні уранові, радонові аномалії і родовища пов'язані переважно від'ємними аномаліями геомагнітного поля різних класів або приурочені до їх градієнтних зон. Зокрема велика частина Кіровоградського рудного району Інгульського мегаблоку УЩ, до якого приурочена велика частина родовищ радіоактивних елементів і підвищена концентрація радону в ґрунтовому повітрі, характеризується регіональним мінімумом магнітного поля. Більш однозначний зв'язок з від'ємними локальними магнітними аномаліями. Така ж картина спостерігається і для області субширотного мінімуму магнітного поля, пов'язаного з Дніпро-Лабською зоною активізації земної кори [Крутиховская и др., 1982], в яку потрапляє Хмільниківське радонове поле (див. напис безпосередньо на рис. 1, а, б).

Згідно з рис. 1 це поле, а також однойменне родовище, приурочене до мінімуму регіонального магнітного поля інтенсивністю (-50)–(-100) нТл, мінімуму локального поля з інтенсивністю до (-200)–(-250) нТл, а також до вузла перетину розломів північно-західного, субширотного і меридіонального простягання. Зазначимо, що це радонове поле, мабуть, генетично пов'язане з полями поширення урану і торію, які також концентруються в цій області.

Аналогічна картина співвідношення досліджуваних параметрів характерна і для інших полів радонових аномалій. Зокрема на сході України в північний захід від Волновахи розташоване Велико-Анадольське родовище радонових вод, яке супроводжується градієнтом регіонального і мінімумом (-100 нТл) локального магнітних полів, а також розташоване у вузлі перетину розломів субширотного і меридіонального простягання. У першому наближенні це свідчить про те, що в цих районах породи земної кори представлені кислими різновидами.

Зауважимо, що на фоні від'ємних аномалій можуть бути присутніми додатні магнітні аномалії складної форми, пов'язані з виділенням феромагнітних мінералів на стадії утворення альбітитів. Також варто відзначити, що більшість проявів радону приурочені до розломних зон північно-західного напрямку і вузлів їх перетину з розломами ортогональної системи.

Фізико-мінералогічне обґрунтування зв'язку джерел магнітних і радонових аномалій

Джерела магнітних і радонових аномалій насамперед визначаються магнітними і радіоактивними властивостями гірських порід. У зв'язку з цим проаналізовано усереднені величини

магнітної сприйнятливості та радіоактивності для магматичних порід Українського щита.

Аналіз показує, що зі зменшенням магнітної сприйнятливості порід концентрація радіоактивних елементів зростає. Метаморфізовані ультраосновні породи характеризуються найбільшими значеннями магнітної сприйнятливості, а кислі породи різного генезису (магматичного, метасоматичного) характеризуються найбільшою концентрацією радіоактивних елементів. Ця залежність пояснюється зміною мінералогічного складу гірських порід при переході від кислих до ультраосновних, за цього концентрація феромагнітних мінералів збільшується, а вміст мінералів, які містять радіоактивні елементи, зменшується. Звичайно, що ця закономірність може мати винятки залежно від окиснювально-відновних та термодинамічних умов формування порід конкретних структур.

Граніти і альбітиту як основні урановмісні породи Українського щита є слабкомагнітними, значення магнітної сприйнятливості яких рідко перевищує 125×10^{-5} од. СІ. Магнітні властивості альбітиту залежать від материнської породи, але він характеризується меншою магнітною сприйнятливостю та намагніченістю за рахунок перекристалізації чи виносу магнітних мінералів.

Вміст урану у вивчених родовищах Українського щита приблизно однакове (в середньому г/т): від 4,8–15,9 у вміщючих породах (граніт, гнейс) і від 13,0–25,1 в безрудних альбітитах до 80,3–197,7 в слаборудних альбітитах і 835,0–2409,6 в кондиційних рудах [Верховцев и др., 2014].

Радонові та магнітні аномалії території Києва

Територія Києва геологічно має двоярусну структуру. Нижній ярус представлений складно дислокованими палеопротерозойськими утвореннями кристалічного фундаменту, який складається з діоритів, кварцових діоритів ($\delta PR1zv$) і гранодіоритів ($\gamma \delta PR1zv$) звенигородського комплексу. У магнітному полі над тілами діоритів і гранодіоритів фіксуються додатні аномалії ΔT_a інтенсивністю 150–500 нТл. Магнітна сприйнятливість гранодіоритів близько 200×10^{-5} од. СІ. Також на території міста Києва трапляються граніти мусковіт-біотитові, порфіробластичні з магнітною сприйнятливостю менше ніж 50×10^{-5} од. СІ. [Державна..., 2001]. Для цих порід характерний підвищений вміст радіоактивних елементів. У межах міста Києва імовірно виділяють окремі тіла габброїдів, над якими також фіксуються позитивні аномалії ΔT_a .

Верхній ярус становлять осадові відклади мезокайнозойського чохла, які представлені пісковиками, глинами, пісками, мергелем [Державна..., 2001].

Територія міста в геоструктурному плані знаходиться в зоні зчленування Українського щита (згідно зі схемою районування Українського

щита, ділянка розташована в Росинсько-Тікицькому геологічному районі, якому відповідає Білоцерківський тектонічний блок) і борту Дніпровсько-Донецької западини.

Глибина залягання ґрунтових вод більша ніж 3 м [Державна, 2001; Диденко, 2012; Пастернак, 2009].

Відповідно до результатів геолого-геофізичних досліджень, кристалічний фундамент території Києва розбитий серією розломів субмеридіонального і субширотного, а також діагонального напрямків. Найбільшими є Київський, Ірпінський, Бортницький, Дарницький розломи північно-західного – субмеридіонального простягання, а також Святошинський і Пироговський – субширотного простягання [Старостенко и др., 2001].

Експериментальні вимірювання, які проводилися на території Києва, показали значні відмінності концентрації радону в різних частинах міста. У південній та західній частинах Києва спостерігається найбільша концентрація радону. Також у розломних зонах, які виділяються в межах центру міста, можуть спостерігатися локальні зони високої концентрації радону [Комов, 2003].

З метою виявлення радонопровідних зон у ґрунті проводили еманційну зйомку [Диденко, 2012]. Вимірювання концентрації радону в ґрунтах на території Києва показали, що фонові концентрації радону в ґрунті лівобережної частини міста становили в середньому 12 Бк/м^3 , правобережної – 20 Бк/м^3 . На рис. 2 помітно, що підвищені значення концентрації радону спостерігаються переважно в правобережній частині міста вздовж розломів. Концентрації радону в лівобережній і в правобережній частинах міста різні. Причиною цього явища може бути те, що близько 70 % площі підстиляючого фундаменту міста складається з гранітоїдів і вісім з десяти районів розташовані в межах гранітного масиву, край якого проходить по правому березі р. Дніпро. Гранітні породи, перекриті малопотужним чохлам пухких відкладів, характеризуються підвищеними концентраціями радіоактивних елементів: урану, торію і радію [Диденко, 2012].

Очікувані варіації об'ємної активності радону в ґрунті були підтверджені після обстеження територій біля станцій Київського метрополітену, Варіації концентрації радону пов'язані з різноманітним рельєфом, наявністю розломів і зон тріщинуватості в різних районах міста.

За даними визначення еквівалентної рівноважної об'ємної активності ($EPOA$) ^{222}Rn в повітрі більшості приміщень метрополітену вона незначна і знаходиться в межах $5\text{--}36 \text{ Бк/м}^3$, що не перевищує допустимого рівня її середньорічного значення для приміщень будівель і споруд, які зводяться і реконструюються для експлуатації, з постійним перебуванням людей (50 Бк/м^3).

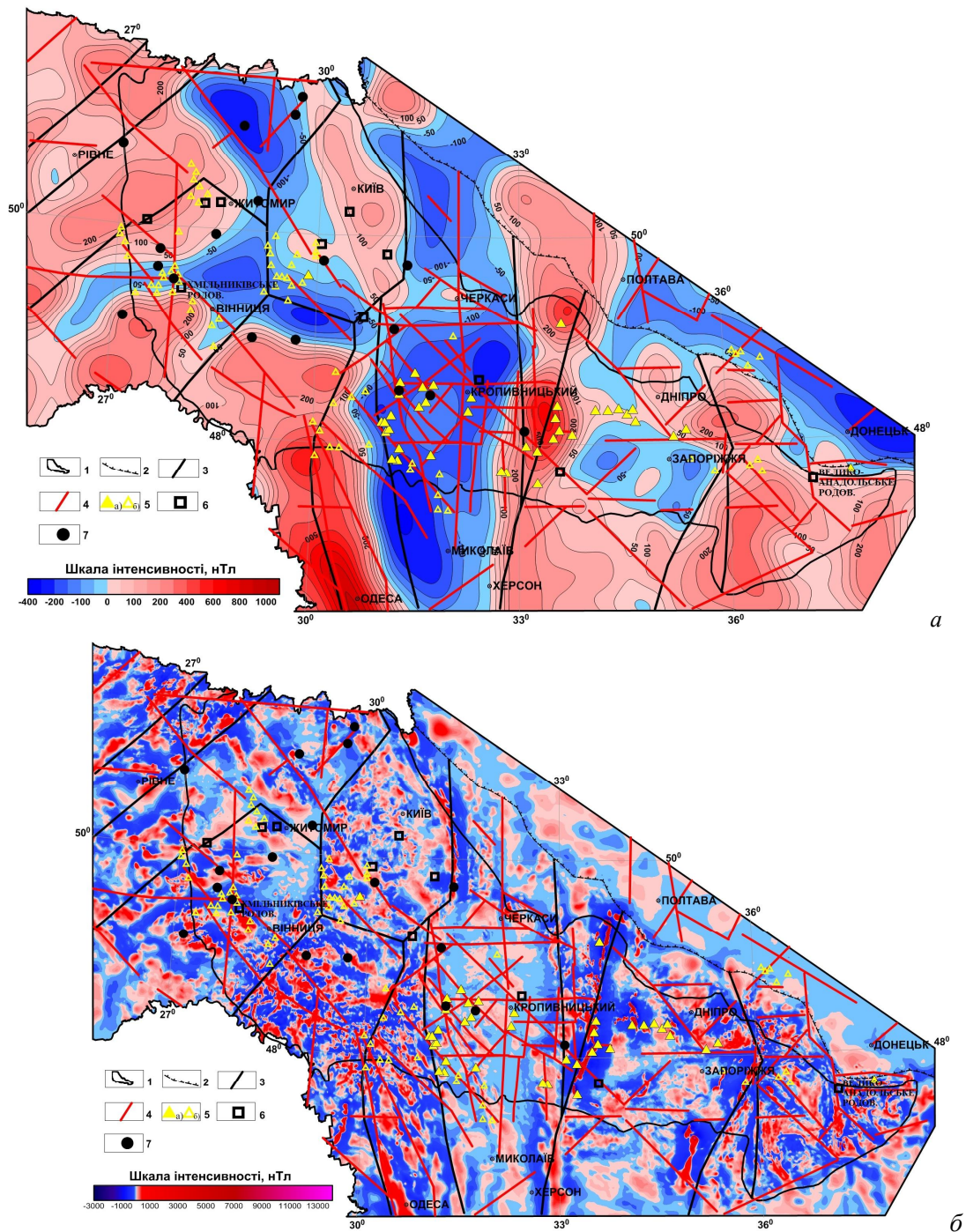


Рис. 1. Схема зіставлення регіональної (ΔT)_{а,рег} (а) і локальної (ΔT)_{а,лок} (б) компонент геомагнітного поля Українського щита з аномаліями розподілу радіоактивних елементів: 1 – границя Українського щита; 2 – границя Дніпровсько-Донецького авлакогену; 3 – зони міжмегаблокових розломів; 4 – зони глибинних розломів згідно з [Ентін, 2005; Старостенко и др., 2013]; 5 – родовища (а) і прояви (б) урану [Верховцев и др., 2014]; 6 – родовища радонових вод; 7 – аномалії торію в кристалічних породах.

Fig. 1. Maps of the regional (a) and the local (b) geomagnetic field components of the Ukrainian shield with the anomalies of radioactive elements distribution: 1-the border of the Ukrainian shield; 2 – the border of the Dnieper-Donets aulacogene; 3 – faults between megablocks; 4 – zones of deep faults basin by [Entin, 2005; Starostenko and others., 2013]; 5 – deposits (a) and in crystalline rocks (b).

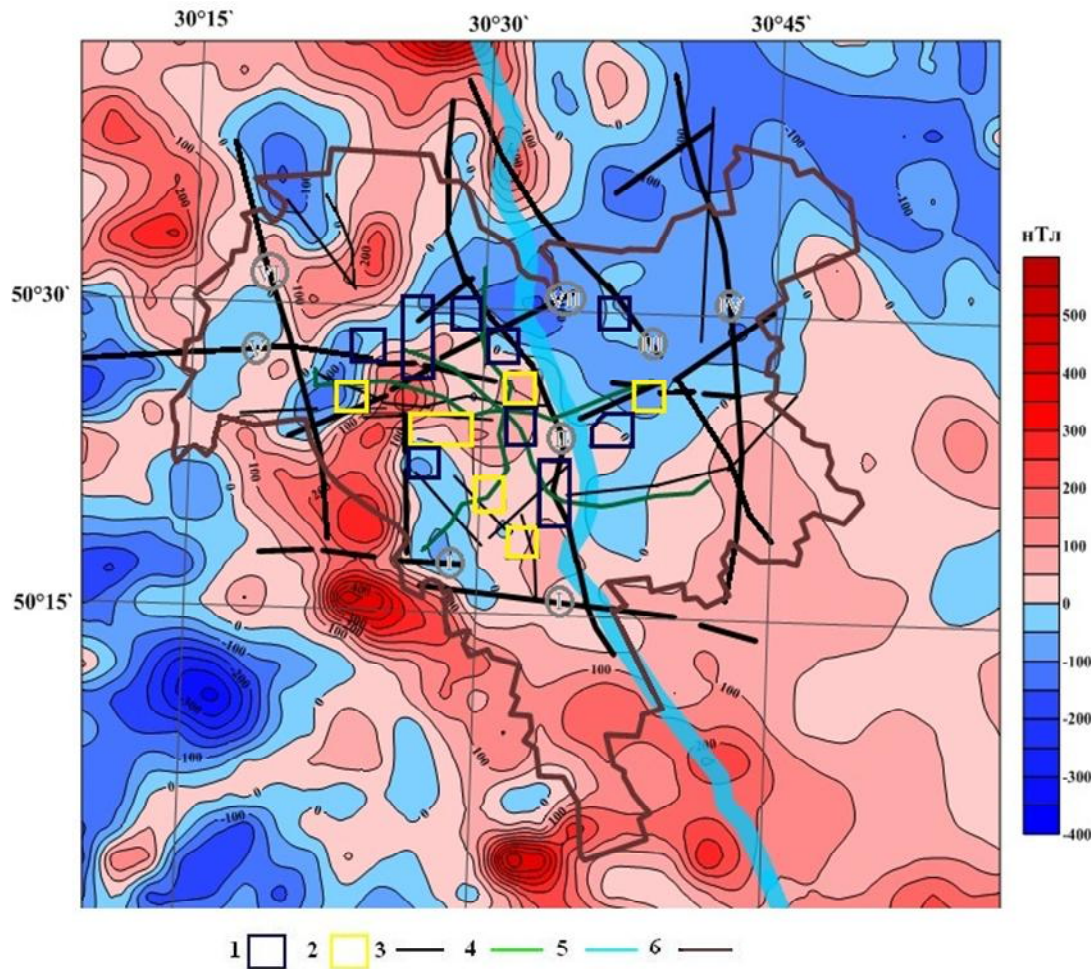


Рис. 2. Схема зіставлення розломів і розподілу об'ємної активності радону в ґрунтовому повітрі з геомагнітним полем на території м. Києва

Умовні позначення: об'ємна активність радону ($\text{кБк} / \text{м}^3$) в межах території [Основны..., 2005]: 1 – 10–15; 2 – 15–30; 3 – виявлені в кристалічному фундаменті розломи; 4 – лінії метрополітену; 5 – русло річки Дніпро; 6 – межа міста Києва. Римськими цифрами позначені головні розломи в м. Києві: I – Пироговський; II – Київський; III – Дарницький; IV – Бортницький; V – Святошинський; VI – Ірпінський; VII – Деснянський

Fig. 2. Maps for comparing faults and distributions of volumetric radon activity in subsoil air with a geomagnetic field in the city of Kiev

Volumetric activity of radon ($\text{кВк} / \text{м}^3$) within the territories: 1 – 10–15; 2 – 15–30; 3 – faults are found in the crystalline basement, 4 – subway lines; 5 – the Dnipro riverbed; 6 – the border of Kyiv. Roman numerals indicate the main faults in Kyiv: I – Pirogovsky; II – Kyivsky; III – Darnitsky; IV – Bortnichy; V – Svyatoshinsky; VI – Irpen; VII – Desnyanskiy

У низці випадків зафіксовано підвищені значення вмісту радону. Це стосується станцій “Вокзальна”, “Палац спорту” та “Видубичі”. Зауважимо, що ці станції розташовані поблизу розломів, річок і струмків. Максимальні значення ЕРОА ^{222}Rn на станції “Вокзальна” зафіксовані в приміщеннях на рівні касового залу (до 90–94 $\text{Бк}/\text{м}^3$). На станції “Палац спорту” в декількох приміщеннях приповерхневого рівня значення ЕРОА ^{222}Rn при багаторазових вимірах постійно були в межах 31–105 $\text{Бк}/\text{м}^3$. На станції “Видубичі” максимальні значення ЕРОА ^{222}Rn досягали 47–61 $\text{Бк}/\text{м}^3$ у приміщеннях на рівні касового залу (приповерхневого) [Основні ..., 2005].

Підвищений вміст радону в приміщеннях станцій “Вокзальна”, “Видубичі”, “Палац спорту” та “Тараса Шевченка” можна пов'язати з довгоживучими розривними порушеннями у фундаменті. Ті розломи, які відчувають досить слабкі сучасні переміщення, сприяють процесу деформації приміщень у метро і будівлях на шляху прокладки метрополітену [Котлов, 2003]. Надходження радону в зони тріщинуватості в межах тектонічних розломів і розривних порушень може відбуватися як в результаті конвекційно-дифузійних процесів, так і в результаті періодичного підйому рівня підземних вод.

Також підвищені величини об'ємної активності радону спостерігалися в районах станцій метрополітену: “Дорогожичі”, “Арсенальна”, “Либідська”, “Святошино” і “Олімпійська” [Основные..., 2005].

Результати досліджень показали, що максимальна питома активність радону в артезіанських свердловинах становить 34 Бк/дм³, а мінімальна – 2 Бк/дм³. Артезіанські свердловини в середньому містять дещо більше радону (в 1,5 раза), ніж води колодязів. Вода в мінералізованих джерелах також відрізняється підвищеним вмістом радону і фтору. Відсутність істотного внеску фактора “вид джерела” свідчить про те, що, очевидно, провідну роль у надходженні радону в підземні води відіграють проникні розломні зони земної кори, де гірські породи роздроблені, по цих зонах до денної поверхні дифундують різні гази, зокрема радон –222 [Жовинский, 2004].

Природне геомагнітне поле на території м. Києва змінюється в межах 50100–50860 нТл, збільшуючись з південного заходу на північний схід. Локальна просторова неоднорідність геомагнітного поля переважно визначається її литосферною компонентою, яка варіюється в межах міста від – 300 до +500 нТл (див. рис. 2) [Orlyuk et al., 2016].

Правобережна частина міста (особливо старого міста) розміщена в основному на ділянках, що характеризуються додатними значеннями магнітного поля з інтенсивністю 50–100 нТл. Лівобережна частина міста розташована в областях з переважно від'ємним магнітним полем (до $\Delta T_a = -300$ нТл). На лівому березі тільки область Русанівки, Березняків та частково Харківського масиву і Бортничів характеризуються слабким позитивним фоном близько 50 нТл.

Аналіз просторового розташування розломів, аномального геомагнітного поля і концентрації радону показав, що розломи характеризуються зазвичай відносними мінімумами аномалій ΔT_a і інтенсивними радоновими аномаліями, а в разі віддалення від розлому спостерігається зменшення концентрації радону і збільшення ΔT_a (рис. 2). У принципі на поверхні практично немає місць з істотним перевищенням рівнів як радонової, так і магнітної небезпеки. Трохи інша ситуація на лініях метрополітену, де є низка станцій, на яких спостерігаються істотні відмінності від норми магнітного або радонового полів, а в деяких випадках їх обох (Святошино, Арсенальна та ін.)

Обговорення результатів

Основні джерела природної радіації на території України зосереджені переважно в межах Українського щита. Гранітоїди і альбітити – це основні породи, які створюють уранові і радонові аномалії. Вміст радону в підземних водах пов'язаний з особливостями будови верхньої час-

тини земної кори в області поширення водоносних горизонтів в докембрійських комплексах Українського щита. На підставі аналізу показано, що радонові й уранові аномалії і родовища корелюють переважно з від'ємними аномаліями магнітного поля регіонального і локального класів і з розломами північно-західного і широтного простягання, або вузлами їх перетину. Це може вказувати на те, що в цих районах кислі породи земної кори зазнали складних метаморфічних процесів у зонах глибинних розломів, які розвивалися в умовах стиснення або зсуву.

На території Києва радонові аномалії корелюються з від'ємними і невеликими додатними значеннями аномальної компоненти магнітного поля. Ця залежність досить чітко проявляється в межах правобережної частини міста, де від'ємне магнітне поле пов'язане з потужними зонами тріщинуватості з активною флюїдно-динамічною активністю і розломами, які є зонами виділення радону в атмосферу. На лівобережжі не простежується чіткої кореляції між аномаліями магнітного поля і аномаліями радону, оскільки в цій частині міста корінні породи залягають досить глибоко і перекриті потужним осадовим чохлам, який заважає надходженню радону на поверхню. Наявність у геологічному розрізі гірських порід, що мають підвищений вміст природних радіоактивних елементів, і, головне, підвищену проникність по тектонічних порушеннях (розломах) визначають аномальні рівні концентрації радону в Києві. Також за замірів радону і магнітного поля на деяких станціях метрополітену зафіксовано суттєві відмінності від нормальних значень. Нагромадження радону на станціях можна пояснити розташуванням у межах, або поблизу зон розломів, а також близькістю до кристалічному фундаменту, а магнітні аномалії – з конструкторськими особливостями станцій.

Наукова новизна

Вперше на території України проведено сумісний аналіз магнітного поля з радоновими аномаліями і розломами.

Практична значущість

Запропоновано фізико-мінералогічне і тектонічне обґрунтування такого зв'язку, а також виявлені місця з підвищеними значеннями магнітного поля і радіаційного випромінювання.

Висновки

Вперше для території України та м. Києва виконано спільний аналіз магнітних і радонових аномалій.

Для території Українського щита виявлено кореляцію радонових і уранових аномалій з

від'ємними магнітними аномаліями регіонального і локального класів і з розломами та зонами тріщинуватості, по яких радон надходить на земну поверхню.

Фізико-геологічним обґрунтуванням такого зв'язку є слабка намагніченість та підвищена радіоактивність порід гранітоїдного ряду, з якими здебільшого пов'язано виділення радону. Максимальна кількість радону встановлена в геодинамічних активних зонах покривних відкладів, які пов'язані з розривними порушеннями в корінних породах.

Аномалії радону в місті Київ переважно контролюють відносними мінімумами магнітного поля та приурочені до районів розвитку розломних зон (субширотно-субмеридіонального та північно-східного простягання), які перекриті на денній поверхні четвертинними відкладами малої потужності.

Нагромадження радону на станціях метро також можна пояснити розташуванням у межах, або поблизу зон розломів, а також відносною близькістю до кристалічному фундаменту.

Список літератури

- Алехин В. И. Разломы земной коры как зоны экологического риска / В. И. Алехин // Проблемы экологии. – Донецк : Дон НТУ, 2004. – № 1. – С. 35–40.
- Бекман И. Н. Радиохимия, том I. Радиоактивность и радиация / И. Н. Бекман. – М. : Онотопринт – 2011. – 398 с.
- Бекман И. Н. Радон: враг, врач и помощник. / И. Н. Бекман. – М. : Из-во МГУ – 2000. – 205 с.
- Гарецкий Р. Г. Радоновое поле территории Беларуси его интерпретация / Р. Г. Гарецкий, А. К. Карабанов, Г. И. Каратаев // Літасфера. – 2017. – 1(46). – С. 113–128.
- Гарецкий Р. Г. Отражение радоновых аномалий в магнитном поле и тектонических элементах Беларуси / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев, А. В. Матвеев // Геофизический журнал. – 2016. – № 5, Т. 38. – С. 40–48.
- Державна геологічна карта України масштабу 1: 200 000 – Дніпровсько-Донецька серія – Аркуш М-36-ХІІІ (Київ). Пояснювальна записка / О. Б. Ковальов та ін. – К. : Північукргеологія, 2001.
- Диденко П. И. Влияние радона на население Украины / П. И. Диденко // Техногенно-экологична безпека та цивільний захист. – 2012. – № 4. – С. 60–67.
- Диденко П. И. Экологические аспекты воздействия радона на население / П. И. Диденко // Техногенно-экологична безпека та цивільний захист. – 2011. – № 6. – С. 72–81.
- Діденко П. І. Радон підземних вод України / П. І. Діденко // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2011. – № 3. – С. 123–128.
- Добринин В. М. Петрофизика (Физика горных пород). / В. М. Добринин, Б. Ю. Вендельштейн, Д. А. Кожевников. – М. : Нефть и газ. – 2004. – 368 с.
- Дмитренко К. Э., Попенко Т. А. Геохимические индикаторы зон экологического риска / К. Э. Дмитренко, Т. А. Попенко // Пошукова та екологічна геохімія. – 2014. – № 1–2 (14–15). – С. 53–55.
- Іванов Є. А. Радіоекологічні дослідження : навч.-метод. посіб. / Є. А. Іванов. – Л. : Видавничий центр Нац. бібліотеки імені Івана Франка – 2004. – 149 с.
- Евдокимов Д. М. Выделение радоноопасных зон по данным аэрогамма-спектрометрии / Евдокимов Д. М., Л. Н. Солодовникова. – Х. : Метрологія. – 2012. – С. 584–591.
- Ентин, В. А. Геофизическая основа тектонической карты Украины масштаба 1 : 1 000 000 // Геофизический журнал. – 2005. – Т. 27. – № 1 – С. 74–85.
- Жовинский Э. Я. Радон в окружающей среде г. Киев и г. Афины / Э. Я. Жовинский, Н. О. Крюченко // Пошукова та екологічна геохімія. – 2007. – № 1 (6).
- Жовинский Э. Я. Связь гидрогеохимических аномалий радона и фтора с участками тектонических нарушений (на примере г. Киев) / Э. Я. Жовинский, И. Л. Комов, П. И. Диденко, Н. Н. Макаренко, Н. О. Крюченко // Пошукова та екологічна геохімія. – 2004. – № 4 – С. 56–60.
- Карабанов А. К., Карта радонового риска Республики Беларусь / А. К. Карабанов, Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов, А. Л. Чеховский, И. В. Жук, О. И. Ярошевич, М. В. Конопелько // Природные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 73–79.
- Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых / Под. ред. В. И. Старостенко, О. Б. Гинтова. – К. : Прастыя луды. – 2013. – 500 ст.
- Крутиховская З. А. Магнитная модель и структура земной коры Украинского щита / З. А. Крутиховская, И. К. Пашкевич, И. М. Силина. – К. : Наук. думка, 1982. – 216 с.
- Орлюк М. І. Магнітне екологічне поле мегаполісу (на прикладі м. Києва) / М. І. Орлюк, А. О. Роменець // Екологія і Природокористування. – 2004. – № 7. – С. 142–147.
- Орлюк М. І. Геофізична екологія – основні задачі та шляхи їх розв'язку / М. І. Орлюк // Геофизический журнал. – 2001. – Т. 23. – № 1. – С. 49–59.
- Орлюк М. І. Геомагнітне поле України: екологічний аспект / М. І. Орлюк, А. О. Роменець // Геолог України. – 2003. – № 1. – С. 64–71
- Основные проблемы радоновой безопасности / коллектив авторов – К. : Логос, 2005. – 351 с.
- Панайт Е. В. Особенности розподілу радону в підґрунтовому повітрі / Панайт Е. В. // Пошукова та екологічна геохімія. – 2013. – № 1 (13) – С. 25–29.

- Пастернак Н. Д. До питання морфоструктурного аналізу території міста Києва та його околиць / Н. Д. Пастернак // Міжвідом. наук. зб. Фізична географія та геоморфологія. – 2009. – № 56. – С. 221–230.
- Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України / В. Г. Верховцев, Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Д. К. Возняк, П. І. Діденко, В. Б. Коваль, О. О. Крамар, Б. Ф. Мельниченко, О. В. Ноженко, М. П. Семенюк, В. О. Синицин, К. Г. Сущук, Ю. Є. Тищенко, Ю. О. Фомін, В. Г. Швайко, Ю. В. Юськів., М. О. Ярошук. – К. : Наук. думка, 2014. – 333 с.
- Резинкина М. М. Ослабление геомагнитного поля в многоквартирных домах различных проектов / М. М. Резинкина, Д. Е. Пелевин, Ю. Д. Думанский, С. В. Биткин // Гігієна населених місць. – 2009. – № 54. – С. 209–216.
- Старостенко В. И. Киев: геология и геофизика окружающей среды и факторы, неблагоприятно на нее влияющие / В. И. Старостенко, П. И. Баран, Н. Е. Барщевский // Геофизический журнал. – 2001. – Т. 23. – № 4. – С. 3–39.
- Фомин Ю. А. Щелочные полевые шпаты ураноносных альбититов центральной части украинского щита / Ю. А. Фомин, Е. Е. Лазаренко // Сб. науч. трудов Института геохимии окружающей среды. – 2010. – Вып. 18. – С. 57–72.
- Garetsky R. G. project 571 Radon, Health and Natural Hazards (2009–2014). Summary report: From the National Committee of Belarus on the International Geological Correlation Program (IGCP) on the activity in 2010.
- IAEA Nuclear energy series publications Advances in airborne and ground geophysical methods for uranium exploration. – Vienna, 2013. – 59 p.
- Komov I. L. Monitoring of radon in Ukraine. Proceedings of the 2003 International Radon Symposium – Vol. II American Association of Radon Scientists and Technologists, Inc., October 5–8, 2003.
- Komov I. L. Methods and Facilities for the Assessment of the Radon-Hazard Potential. Kyiv, Logos., 2004. 416 p.
- Orlyuk M. Natural and technogenic components of megalopolis magnetic field / M. Orlyuk, A. Romenets, I. Orliuk // Geophysical Journal, 2016, No. 1, T. 38, pp.78–85.
- Rusov V. D. The peculiarities of cross-correlation between two secondary precursors – Radon and magnetic field variations, induced by stress transfer changes / V. D. Rusov, V. Yu. Maksymchuk, R. Ilić, V. M. Pavlovych, R. Jaćimović, V. G. Bakhmutov, O. Kakaev, V. N. Vaschenko, J. Skvarč, L. Hanžič, J. Vaupotič, M. E. Beglaryan, E. P. Linnik, D. N. Saranuk, V. P. Smolyar, A. A. Gudyma. – Radiation Measurements. – Vol. 64, May 2014, P. 9–22.
- Standart of Building Biology Testing methods: SBM-2008, Germany: Institut fur Baubiologie + Okologie. IBM, 2008, 5 p.

М. ОРЛЮК¹, А. МАРЧЕНКО¹, П. ЯЦЕВСКИЙ²

¹ Інститут геофізики ім. С. І. Субботина НАН України, пр. Палладина, 32, г. Київ, Україна, 03860

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, Україна, 03022

СВЯЗЬ РАДОНОВЫХ И МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНСКОГО ЩИТА И ГОРОДА КИЕВ

Цель исследования – выявление на территории Украины и в г. Киеве связи между геомагнитными и радоновыми аномалиями при изучении геоэкологической обстановки территории и оценке ее экологической безопасности. Геомагнитные и радоновые аномальные поля являются существенными геофизическими факторами окружающей среды, которые в значительной степени определяют ее экологическое состояние. Совместный анализ геомагнитных и радоновых аномалий позволит более обоснованно выделять экологически опасные зоны, которые не являются таковыми по одному из этих факторов. **Методика исследования** заключается в применении дискриминантного выявления корреляционно-генетических связей между данными о радоноактивности пород фундамента, полученной по полевым и лабораторным определениям на небольшой площади с аномальным магнитным полем, разломами, и распространения затем найденной закономерности на всю территорию изучения. **Результаты:** для территории Украинского щита выявлена корреляция радоновых и урановых аномалий с отрицательными магнитными аномалиями регионального и локального классов и с разломами и зонами трещиноватости, по которым радон поступает на земную поверхность. Максимальное количество радона установлено в геодинамических активных зонах покровных отложений, связанных с разрывными нарушениями в коренных породах. Выполнен анализ природных и техногенных магнитных и радоновых аномалий на территории Киева, а также в различных сооружениях, помещениях и метрополитене. **Научная новизна** исследования определяется тем, что впервые на территории Украины проведен совместимый анализ магнитного поля с радоновыми аномалиями и разломами. Показано, что как на региональном, так и локальном уровне урановые, радоновые аномалии и месторождения связаны в основном с отрицательными аномалиями геомагнитного поля разных классов или приурочены к

градиентным зонам. **Практическая значимость:** предложено физико-минералогическое и тектоническое обоснование такой связи, а также выявлены места с превышением допустимых норм магнитного поля и радиационного излучения.

Ключевые слова: Украинский щит, Киев, разлом, радон, магнитное поле.

M. ORLYUK¹, A. MARCHENKO¹, P. YATSEVSKIY²

¹Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 32, Palladina Ave., Kyiv, Ukraine, 03680

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022

THE LINK OF RADON AND MAGNETIC ANOMALIES ON THE TERRITORY OF UKRAINIAN SHIELD AND KYIV

The aim of this research is to detect the connection between geomagnetic and radon anomalies in the area of Kyiv Ukraine, studying the geoecological situation of the territory, and assessing its ecological safety. Geomagnetic and radon abnormal fields are significant geophysical factors of the environment, which largely determine the ecological state. **Used method** is based on discriminant detection of correlation-genetic relationships between data of radon activity of basement rocks (determined in the field and in laboratory) on a small area with magnetic fields and then spreading the found regularity to the entire study area. **Results:** for the Ukrainian shield territory found a correlation of radon and uranium anomalies with negative regional and local magnetic anomalies, faults and fracture zones, where radon enters to the Earth's surface. The analysis of natural and man-made magnetic and radon anomalies in the territory of Kiev, as well as in various buildings premises, and underground has been carried out. **Originality of the** research is determined by the fact that for the first time in Ukraine a comparative analysis of the magnetic field with radon anomalies has been conducted. **The practical significance:** the authors proposed physical, mineralogical, and tectonic justification of this link and found territories with an excess of allowable magnetic field and radiation.

Key words: Ukrainian shield, Kyiv, faults, radon, magnetic field.

REFERENCES

- Alekhin, V. I. (2004). Faults of the Earth's crust as zones of ecological risk. *Problemy ekologii. Doneck: Don NTU*, 1, 35–40. (In Russian).
- Beckman, I. N. (2011). *Radiochemistry, tom 1. Radioactivity and radiation*, Moscow: Ontoprint. (In Russian)
- Beckman, I. N. (2000). Radon: the enemy, the doctor and the assistant. *Radiochemistry*. Moscow: МГУ. (In Russian).
- Garetsky, R. G., Karabanov, A. K., Karataev, G. I. (2017). Radon field on the territory of Belarus and its interpretation. *Litasfera*, 1(46), 113–128. (In Russian).
- Garetsky, R. G., Karataev, G. I., Matveyev, A. V. (2016). Reflection of radon anomalies in the magnetic field and tectonic elements of Belarus. *Geophysical Journal*, 5, 40–48 (In Russian).
- State geological map of Ukraine scale 1: 200 000. (2001). Dnieper-Donetsk series. Sheet M-36 XIII, Kyiv, *Pivnichukrgeologhiya*. (In Ukrainian).
- Didenko, P. I. (2012). Effect of radon on the population of Ukraine. *Technogenic-ecological safety and civil protection*, 4, 60–67. (In Russian).
- Didenko, P. I. (2011). Environmental aspects of radon exposure on population. *Technogenic-ecological safety and civil protection*., 6, 72–81 (In Russian).
- Didenko, P. I. (2011). Radon of ground waters of Ukraine. *Technogenic-ecological safety and civil protection*, 3, 123–128 (In Ukrainian).
- Dobrynyn, V. M., Vendelshteyn, B. Y. & Kozhevnykov, D. A. (2004). *Petrophysics (Physics of rocks)*. Moscow, Neft i gaz. (In Russian).
- Dmytrenko, K. E., Popenko, T. A. (2014). Geochemical indicators zones of ecological risk. *Exploration and environmental geochemistry*, 1–2 (14–15), 53–55 (In Ukrainian).
- Ivanov, E. A. (2004). *Radioecological research*. Lviv, Publishing Center of Ivan Franko National Library. (In Ukrainian).
- Evdokimov, D. M., Solodovnikova, L. N. (2012). Detection of radon-hazardous zones according to aerogamma-spectrometry data. *Metrology-2012*, 584–591 (In Russian).
- Entin, V. A. (2005). Geophysical basis tectonic map of Ukraine, scale 1: 1 000 000. *Heofizychnyy zhurnal*, 27(1), 74–85 (In Russian).
- Zhovinsky, E. Y., & Kryuchenko, N. O. (2007). Radon in the environment in Kyiv and Athens. *Exploration and environmental geochemistry*, 1, 32–35 (In Russian).
- Zhovinsky, E. Y., Komov, I. L., Didenko, P. I., Makarenko, N. N., Kryuchenko, N. O. (2004). Relationship between hydrogeochemical anomalies of radon and fluorine with areas of tectonic disturbances (by the example of Kyiv). *Exploration and environmental geochemistry*, 4, 56–60. (In Russian).

- Karabanov, A. K., Chunikhin, A. A., Drozdov, D. N., Chekhov, A. L., Zhuk, I. V., Yaroshevich, O. I., Konopelko, M. V. (2015). The map of radon risk of the Republic of Belarus. *Prirodnye resursy*, 2, 73–79 (In Russian).
- Starostenko, V. I., Gintov, O. B. (Eds). (2013). The Kirovograd ore area. Deep structure. Tectonophysical analysis. Ore deposits. Kyiv: Pratiye ludi. (In Russian).
- Krutikhovskaya, Z. A., Pashkevich, I. K. & Silina, I. M. (1982). Magnetic model and structure of the Earth's crust of the Ukrainian Shield]. Kyiv: Nauk. dumka. (In Russian).
- Orlyuk, M. I., Romenets A. A. (2004). Magnetic ecological field of a megalopolis (on an example of Kyiv). *zbirnyk Ekologiya i Pryrodokorystuvannya*, 142–147 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M. I. (2001). Geophysical ecology – the main tasks and ways of their solution. *Geophysical Journal*, 23(1), 49–50. (in Ukrainian).
- Orlyuk, M. I., & Romenets, A. O. (2003). Geomagnetic field of Ukraine: ecological aspect. *Geologist of Ukraine*, 1, 64–70 (In Ukrainian).
- The main problems of radon safety. (2005). Kyiv: Logos [in Russian].
- Panaite, E. V. (2013). Features of the radon distribution in subsurface air. *Exploration and environmental geochemistry*, 1(13), 25–29. (In Ukrainian).
- Pasternak, N. D. (2009). To the question about morphostructural analysis for Kyiv and region. *Physical geography and geomorphology. Interdepartmental scientific collection*, 56, 221–230 (In Ukrainian).
- Verhovtsev, V. G., Lisichenko, G. V., Zabulonov, Yu. L., Voznyak, D. K., Didenko, P. I., Koval, V. B. ... Yaroshchuk, M. O. (2014). Prospects for the development of uranium resource base of nuclear power of Ukraine. Kyiv: *Nauk. Dumka*. In Ukrainian).
- Rezinkina, M., Pelevin, D., Dumanskiy, Yu., Bitkin, S. (2009). Geomagnetic field attenuation in apartment houses of different structure. *Gigiena naselenykh mist*, 54, 209–216 (in Russian).
- Starostenko, V. I., Baran, P. I., Barshchevskiy, N. Ye. (2001). Geology and geophysics of the environment and factors that adversely affect it. *Heofizychnyy zhurnal*, 23, 4, 3–39 (in Russian).
- Fomin, Y., Lasarenko, H. (2010). Feldspars of uranium-bearing albitites of the central part of Ukrainian shield. *Collected papers Institute of Environmental Geochemistry*, 18, 57–72 (In Russian).
- Garetsky, R. G. (2009-2014). project 571 Radon, Health and Natural Hazards. Summary report: From the National Committee of Belarus on the International Geological Correlation Program (IGCP) on the activity in 2010.
- IAEA Nuclear energy series publications Advances in airborne and ground geophysical methods for uranium exploration. (2013). Vienna.
- Komov I. L. (2003). Monitoring of radon in Ukraine Proceedings of the 2003 International Radon Symposium. American Association of Radon Scientists and Technologists, Inc., II, October 5–8.
- Komov, I. L. (2004). *Methods and Facilities for the Assessment of the Radon-Hazard Potential*, Kyiv: Logos.
- Orlyuk, M., Romenets, A., Orliuk, I. (2016). Natural and technogenic components of megalopolis magnetic field, *Geophysical Journal*, 38(1), 78–85.
- Rusov, V. D., Maksymchuk, V. Yu., Ilić, R., Pavlovych, V. M., Jaćimović R., Bakhmutov, V. G., ... Gudyma, A. A. (2014). The peculiarities of cross-correlation between two secondary precursors – Radon and magnetic field variations, induced by stress transfer changes. *Radiation Measurements*, 64, 9–22.
- Standart of Building Biology Testing methods: SBM-2008, Germany: Institut fur Baubiologie + Okologie. IBM. (2008).

Надійшла 20.04.2018 р.