

## Магнітні та радонові аномалії на території міста Києва: екологічний аспект

*М.І. Орлюк<sup>1</sup>, І.І. Онищук<sup>2</sup>, А.О. Роменець<sup>1</sup>, А.В. Марченко<sup>1</sup>, П.О. Яцевський<sup>3</sup>,  
І.М. Орлюк<sup>1</sup>, 2021*

<sup>1</sup>Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ «Інститут геології», Київ, Україна

<sup>3</sup>ПАТ «Укрнафта», Київ, Україна

Надійшла 24 вересня 2020 р.

Магнітні та радонові аномальні поля є суттєвими геофізичними чинниками довкілля, які великою мірою визначають його екологічний стан. Виявлення магнітних і радонових аномальних зон є актуальним завданням при вивченні геоecологічної обстановки території та оцінці її екологічної безпеки. Найбільш небезпечним є ділянки, в межах яких локалізовані розломи, з якими у верхній частині розрізу земної кори пов'язані аномалії радону. Для території м. Києва розглянуто геологічну характеристику району дослідження, уточнено та доповнено схеми регіональних та супровідних розломів, розроблено карти модуля та аномалій модуля індукції геомагнітного поля, а також схему аномалій радону у воді та підґрунтового повітрі. Показано зв'язок радонових аномалій з розломами та природними магнітними полями. Він полягає у тому, що радонові аномалії в основному корелюються з від'ємними і невеликими додатними значеннями аномального магнітного поля та пов'язані з потужними зонами тріщинуватості з активною флюїдно-динамічною активністю і розломами діагональної та ортогональної систем, які є зонами виділення радону в атмосферу. Радонові аномалії у підґрунтовому повітрі передусім контролюються Ірпінсько-Борщагівським, Пуща-Водицьким, Київським та Дарницьким розломами північно-західного—північного простягання і Петрівсько-Пухівським та Глевасько-Броварським північно-східного простягання. Для кількох станцій київського метрополітену встановлено перевищення екологічних норм магнітного поля та радонових аномалій, що пояснюється конструктивними особливостями будови приміщень метрополітену та їх знаходження в зонах розломів. Показано, що радонові аномалії є стабільними в просторі та часі, а магнітні аномалії, особливо в межах метрополітену, характеризуються значними змінами магнітного поля як у низькочастотному, так і високочастотному спектрі їх коливань.

Спільний аналіз схеми розломної тектоніки, магнітних і радонових аномалій дає змогу обґрунтованіше виділяти екологічно небезпечні зони на території Києва та поза його межами.

**Ключові слова:** магнітні і радонові аномалії, розломи, екологія, метрополітен, Київ.

**Вступ.** Геомагнітні й радонові аномальні поля є суттєвими геофізичними чинниками навколишнього середовища, які в значній мірі визначають його екологічний стан. На сьогодні розроблено гранично допустимі норми радіаційного випромінювання та величини магнітного поля, які не мають перевищувати встановлені показники в місцях проживання і роботи людей. Істотна части-

на радіаційного опромінення обумовлена радоном. 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 в сучасну епоху [Старостенко и др., 2001; Алехин, 2004; Shabatura et al., 2015; Гарецкий и др., 2016; Вижва та ін.,

2017; Yatsevskiy, Orlyuk, 2017; Yatsevskiy et al., 2017, 2018; Орлюк та ін., 2018].

На цей час є численні дані щодо впливу постійного і змінного магнітного полів у широкому діапазоні частот на живі організми загалом та на життєдіяльність людини зокрема [Холодов, 1966; Павлович и др., 1991; Птицына и др., 1998; Орлюк, 2001; Походзей, 2004; Серпов, 2007; Белокриницький, 2009; Сердюк та ін., 2010; Куликов, Тимофеева, 2011; Медведева и др., 2011 і багато інших].

У праці [Физические..., 2003] нижньою межею санітарної норми величини постійного магнітного поля прийнято половину фонових значень на території проживання. Автори публікації [Орлюк, Роменець, 2003] запропонували величину «екологічної» норми постійного поля в межах 35 000—55 000 нТл. У багатьох країнах розроблено норми для змінних високочастотних магнітних і електромагнітних полів [Standart..., 2008]. Зауважимо, що у великих мегаполісах природне магнітне поле Землі суттєво доповнюється техногенною складовою від різних електричних і феромагнітних джерел [Орлюк, Роменець, 2003, 2004; Резинкина и др., 2009; Розов и др., 2013; Орлюк, Яцевський, 2016].

Розрахунки, проведені в різних країнах, показали, що вплив радону формує більше половини дози, що отримує людина від усіх джерел радіації. Наприклад, структура середніх річних ефективних доз опромінення населення України від джерел природного походження така: доля  $^{222}\text{Rn}$  та  $^{220}\text{Rn}$  (торон) у повітрі житлових приміщень становить 62 % і 13 % відповідно, радіоактивність будівельних матеріалів — 4 %, радіонукліди в питній воді — 3 %, зовнішнє опромінювання — 13 %, внутрішнє — 5 % [Вишва та ін., 2012; Вишва и др., 2014].

В Україні контрольний рівень концентрації радону для існуючих житлових будинків не має перевищувати  $100 \text{ Бк/м}^3$ , а для новозбудованих —  $50 \text{ Бк/м}^3$ . [Норми..., 1997; Методичні..., 2008].

Кількість радону, що вивільняється із земної кори в повітря, значно відрізняється в різних місцях земної кулі, в окремих

країні, регіоні. У багатьох країнах (США, Канада, країни Європи, Австралія) уже проведені або виконуються на сучасному етапі еманацийні дослідження території з метою визначення зон з високими концентраціями радону. Обстежуються також тисячі будинків для виявлення виробничих приміщень, квартир і будинків, у яких вміст радону перевищує допустимий рівень. У Великій Британії кількість таких будинків становить 10 %, у Португалії — 8,6 %, у Південній Норвегії — 10 % від числа обстежених.

Отже, дослідження на території Києва магнітних і радонових аномальних зон є актуальним завданням при вивченні геоecологічного стану території та оцінці її екологічної безпеки. Щодо радонової складової найбільш небезпечними є ділянки, в межах яких розломи локалізовані у неглибокозалягаючих гранітах. Тому необхідно прогнозувати та досліджувати можливі джерела і шляхи надходження радону на поверхню з метою надання необхідних рекомендацій для місць розташування новобудов та оцінки радонової обстановки у побудованих будинках. Визначення «Екологічність» магнітного поля міських агломерацій можлива тільки на підставі комплексного аналізу його природної та техногенної складових, отриманих за результатами експериментальних досліджень. Зауважимо, що на цей час у ряді публікацій було висвітлено окремо деякі аспекти екології радону та магнітного поля на території м. Києва, тому у пропонованій статті вперше розглянуто їх спільний аналіз.

**Методика дослідження.** Технологія дослідження природи радонових і магнітних аномалій на території м. Києва передбачала кілька етапів, а саме:

- аналіз геологічної будови та розломно-блокової тектоніки;
- оцінювання регіональних особливостей поширення фонових концентрацій радону в ґрунтовому повітрі та артезіанських свердловинах;
- оцінювання локальних проявів підвищених значень еквівалентної рівно-

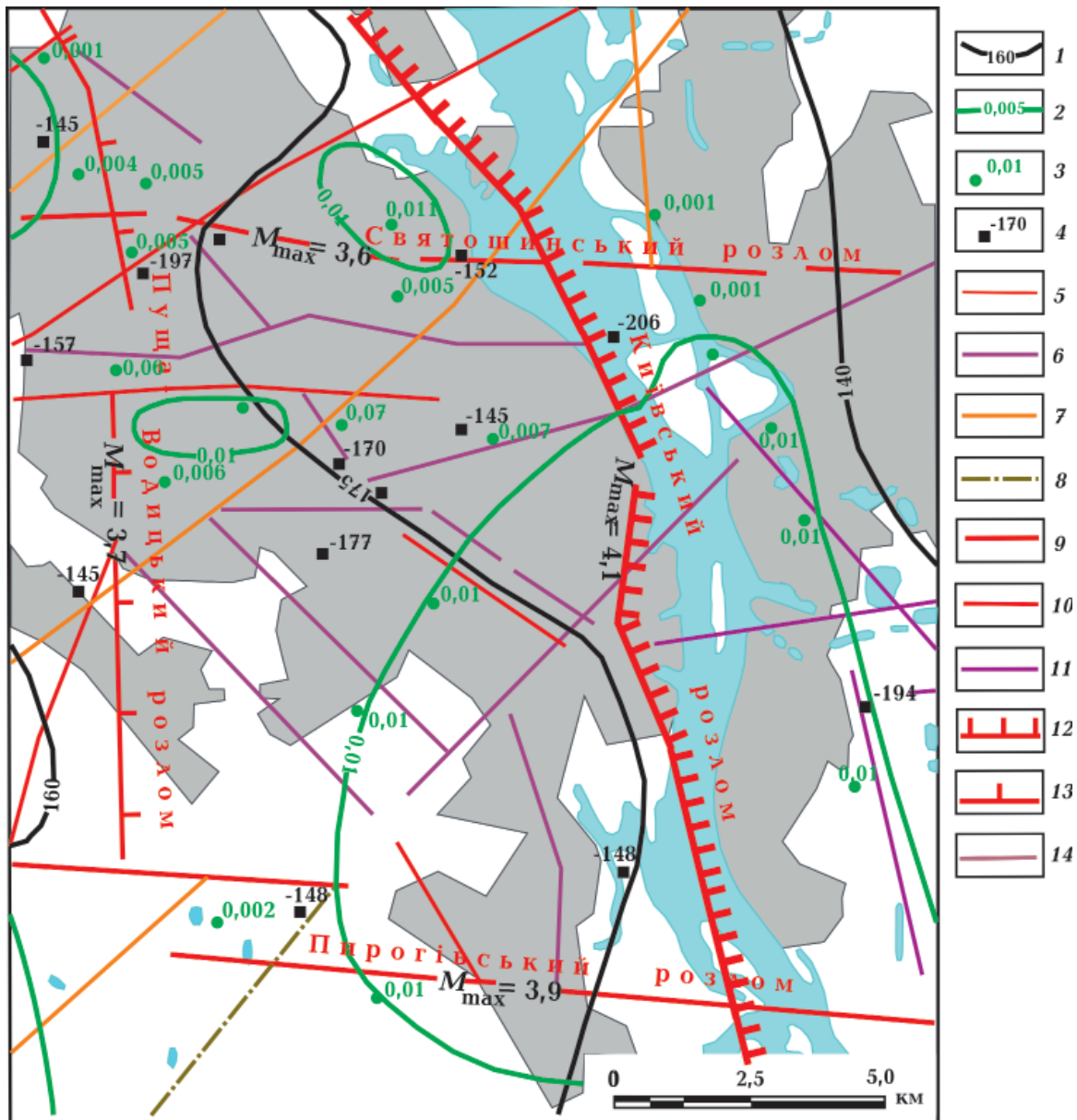


Рис. 1. Схема неотектоніки території м. Києва, за [Старостенко та ін., 2001]: 1 — ізобати сумарних амплітуд неотектонічних рухів земної кори, м; 2 — ізогради середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів земної кори, см/(км·тис. років); 3 — окремі значення середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів земної кори, см/(км·тис. років); 4 — абсолютні відмітки поверхні кристалічного фундаменту, м; розломи: 5 — виявлені у кристалічному фундаменті, неотектонічна активність яких підтверджується за геолого-геоморфологічними даними, 6 — виявлені в кристалічному фундаменті, неотектонічна активність яких на цей час не підтверджена геолого-геоморфологічними даними, 7 — передбачувані, неотектонічна активність яких підтверджується інженерно-геоморфологічними ознаками; 8 — лінеamenti, виявлені за ландшафтними та геоморфологічними ознаками; ранг розломів: 9 — регіональні, 10 — субрегіональні, 11 — локальні; кінематичні типи розломів: 12 — скидо-зсув, 13 — скид, 14 — з нез'ясованим типом зміщення.

Fig. 1. Kyiv city neotectonics scheme by [Starostenko et al., 2001]: 1 — isobaths of total amplitudes of neotectonic earth's crust movements, m; 2 — isograds of average velocity gradients of the earth's crust neotectonic movements in cm/(km·thousand years); 3 — individual values of the average velocity gradients of the earth's crust neotectonic movements, cm/(km \* thousand years); 4 — absolute marks of the crystalline basement surface, m; faults: 5 — confirmed by geological and geomorphological data neotectonic activity, found in the crystalline basement; 6 — currently not confirmed by geological and geomorphological data neotectonic activity, detected in the crystalline basement; 7 — supposed neotectonic activity which is confirmed by geomorphological features; 8 — by landscape and geomorphological features identified lineaments; faults rank: 9 — regional; 10 — subregional; 11 — local; kinematic types of faults: 12 — normal — strike-slip; 13 — normal; 14 — with unknown displacement type.

важкої об'ємної активності (ЕРОА)  $^{222}\text{Rn}$  у повітрі приміщень будівель, побудованих на аномальних зонах за об'ємною активністю (ОА) радону в ґрунтовому покриві;

- вивчення природної та техногенної компонент магнітного поля;
- зіставлення поширення радонових і магнітних аномалій та спільний якісний аналіз стосовно їх природи та механізму зв'язку.

Зауважимо, що на різних етапах дослідження більша частина різноманітної інформації була отримана або векторизована в цифровому форматі з подальшою візуалізацією окремих геолого-геофізичних даних у вигляді карт, схем, графіків і таке інше у системі координат WGS-84 із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

**Геологічна характеристика території дослідження.** Київ розміщується в районі східного схилу Українського щита. Територія Києва у геологічному відношенні має двоярусну будову. Породи кристалічного фундаменту перекриті фанерозойським чохлам, потужність якого зростає із заходу на схід і становить від десятків — перші сотні метрів (на правобережжі міста) до кількох сотень метрів (у лівобережній частині міста). Породи кристалічного фундаменту території міста для дослідження було розкрито окремими свердловинами, однією з яких є св. Новобіличанська-1 завглибшки 1927 м [Степанюк та ін., 2017]. За результатами буріння кристалічний фундамент залягає на глибині 290 м. Порооди фундаменту представлені переважно діоритами, кварцовими діоритами ( $\delta\text{PR}_1\text{zv}$ ) та гранодіоритами ( $\gamma\delta\text{PR}_1\text{zv}$ ), які поширені разом, а також у вигляді взаємних переходів від діоритів через кварцові діорити до гранодіоритів. У магнітному полі над цими породами фіксуються позитивні аномалії  $\Delta V$  інтенсивністю 150—500 нТл. Середня магнітна сприйнятливості цих порід  $200 \cdot 10^{-5}$  од. СІ [Державна..., 2001]. Через це мусковіт-біотитові, порфіробластичні граніти за фізичними властивостями близькі до гранітів звенигородського комплексу і тому розділити їх за геофізичними даними

майже неможливо. В межах міста також виділено тіла габроїдів, над якими фіксуються позитивні аномалії  $\Delta V$ . Відомо, що магнітна сприйнятливості порід зростає із їх основністю від гранітоїдів до базитів

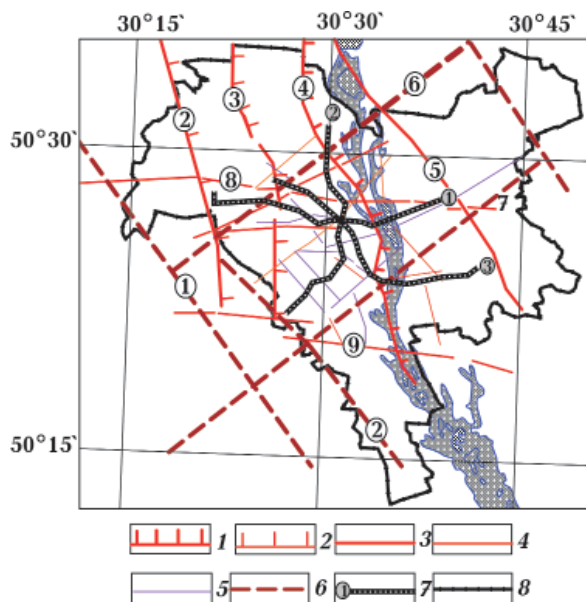


Рис. 2. Схема розломної тектоніки м. Києва. Розломи різних рангів та їх кінематичні типи: 1 — регіональні, скидо-зсуви; 2 — субрегіональні, скиди; 3 — регіональні без визначеного кінематичного типу; 4 — субрегіональні без визначеного кінематичного типу; 5 — у кристалічному фундаменті, неотектонічна активність яких на цей час не підтверджена; 6 — у кристалічному фундаменті за геомагнітними даними; 7 — лінії Київського метрополітену (цифри в кружках: 1 — Святошинсько-Броварська, 2 — Оболонсько-Теремківська, 3 — Сирецько-Печерська); 8 — межі Києва. Цифри в кружках — назви розломів: 1 — Ворзельсько-Креницький, 2 — Ірпінсько-Борщагівський, 3 — Пуща-Водицький, 4 — Київський, 5 — Дарницький, 6 — Петрівсько-Пухівський, 7 — Глевасько-Броварський, 8 — Святошинсько-Княжицький, 9 — Пирогівський.

Fig. 2. Kyiv fault tectonics scheme. Different rank and kinematic type faults: 1 — regional, normal — strike-slip; 2 — subregional normal; 3 — regional, without a certain kinematic type; 4 — subregional without a certain kinematic type; 5 — currently not confirmed neotectonic activity in the crystalline basement; 6 — in the crystalline basement by geomagnetic data; 7 — Kyiv metro lines (numbers in grey circles: 1 — Sviatoshyns'ko-Brovarska, 2 — Obolonsko-Teremkivska, 3 — Syretsko-Pecherska); 8 — borders. Kiev. Numbers in circles — names of faults: 1 — Vorzelsko-Krenitsky, 2 — Irpynsko-Borshchahivsky, 3 — Pushcha-Vodytsky, 4 — Kyivsky, 5 — Darnitsky, 6 — Petrivs'ko-Pukhivs'ky, 7 — Hlevas'ko-Brovars'ky, 8 — Svyatoshyns'ko-Knyazhyts'ky, 9 — Pyrohivs'ky.

та ультрабазитів, а радіоактивність, навпаки, зменшується, що є основою фізичного зв'язку магнітних та радонових аномалій природного походження.

У межах Києва та його околиць кристалічні породи перекриті потужною товщею осадових відкладів мезокайнозойського чохла, які можна вивчати в берегових відслоненнях правого борту р. Дніпро та в деяких кар'єрах, якщо представлені пісковиками, глинами, пісками, мергелем [Державна..., 2001].

Територія міста в геоструктурному плані знаходиться на продовженні Росинсько-Тикицького мегаблока Українського щита, який на північ занурений під осадові відклади Дніпровсько-Донецької западини. Глибина залягання ґрунтових вод більша за 3 м [Державна..., 2001; Котов, 2003; Диденко, 2011, 2012] на значній частині території з окремими ділянками підтоплення.

У межах міста спостерігається досить густа мережа розломів. Згідно зі схемою неотектоніки території м. Києва [Старостенко и др., 2001] виділено серію різнорангових розломів субмеридіонального і субширотного, північно-східного та північно-західного напрямків. Найбільшими в центральній частині міста є Київський, Пуща-Водицький, Дарницький розломи субмеридіонально-північно-західного простягання, а також Святошинський (Святошинсько-Княжицький) та Пирогівський (Бобровицько-Гнідинський) — субширотного простягання (рис. 1). Наведені у цій статті розломи та лінеamenti різних природи та генезису виділені за геолого-геоморфологічними, інженерно-геоморфологічними та ландшафтними критеріями, засвідчують значну сучасну неотектонічну активність території міста. В регіональному аспекті виділені на території Києва розломи є фрагментами новітніх платформних геоструктур (лінеamentних і розломних зон) пліоцен-четвертинного віку [Верховцев, 2008], активність яких підтверджена сучасними рухами поверхні Землі [Орлюк, Ищенко, 2019].

Згідно з даними праці [Верховцев, 2008], територія міста є своєрідним вузлом пере-

тину регіональних розломів та розломних зон: Чорнобильсько-Врадіївського (меридіонального простягання, скидо-підкид); Чорнобильсько-Маріупольського та Народицько-Бердянського (північно-західного простягання, скидо-зсуви); Попельнянсько-Середньобузького та Могилів-Подільсько-Шосткинського (північно-східного простягання, скиди). З використанням різнотипових і різнорангових лінеamentів, розломів та розломних зон, запропонованих у публікаціях [Старостенко та ін., 2001; Верховцев, 2008], а також аномального магнітного поля нами запропоновано схему регіональних розломів на території м. Києва та суміжних районів (рис. 2). При цьому зауважимо, що регіональні розломи на схемі показано однією лінією, а реально вони утворюють смуги завширшки 5—10 км, у межах яких наявні дрібніші розломи та зони тріщинуватості відповідних напрямків. Отже, земна кора території м. Києва та його околиць розбита на дрібні блоки ортогональними та діагональними системами розломів з відповідними зонами тріщинуватості порід у верхній частині її розрізу. Згідно із запропонованою схемою представниками діагональної системи є Ворзельсько-Креницький, Ірпінсько-Борщагівський, Пуща-Водицький, Київський і Дарницький (північно-західного простягання) та Петрівсько-Пухівський і Глевасько-Броварський (північно-східного простягання) розломи, а ортогональної — окремі фрагменти Ірпінсько-Борщагівського, Пуща-Водицького, Київського (меридіонального простягання) та Святошинського і Пирогівського (субширотного простягання) розломів. Зауважимо, що зміна північно-західного на субмеридіональне простягання зазначених фрагментів розломів відбувається у смугі, яка виокремлюється Святошинсько-Княжицьким та Пирогівським розломами субширотного простягання та Петрівсько-Пухівським і Глевасько-Броварським північно-східного простягання (див. рис. 2).

**Результати досліджень.** Результати сукупного аналізу магнітних і радоно-

вих аномалій ґрунтуються як на опублікованих, так і на власних дослідженнях авторів [Котов, 2003; Жовинский и др., 2004; Основные..., 2005; Диденко, 2012; Yatssevtskiy et al., 2017, 2018]. Більша частина досліджень щодо концентрації радону є оглядом публікацій, відповідні посилання на які наведено в списку літератури. Вивчення магнітних аномалій природного і техногенного генезису виконано повністю авторами публікації.

**Магнітне поле.** У численних роботах, у тому числі узагальнюючого характеру, показано, що магнітне поле природного й техногенного походження в низькочастотному спектрі може відігравати роль фактора, потенційно небезпечного для здоров'я людини [Птицына и др., 1998; Серпов, 2007; Сердюк та ін., 2010; Standard..., 2015; Orlyuk, Romenets, 2020 та багато інших]. Зазвичай найзагальнішими параметрами магнітного поля, які визначають можливий вплив на самопочуття та здоров'я людини, є величина модуля індукції  $B$  та його просторово-часові градієнти  $dB/dx$ ,  $dB/dy$ ,  $dB/dz$ ,  $dB/dt$ . Природне геомагнітне поле на території м. Києва змінюється в межах 50 100—50 860 нТл, збільшуючись з південного заходу на північний схід (рис. 3). Просторова неоднорідність геомагнітного поля в основному визначається його літосферною (аномальною) компонентою ( $\Delta B$ ), величина якої в межах міста змінюється від  $-300$  до  $+500$  нТл [Orlyuk et al., 2016]. Правобережна частина міста (особливо старого міста) розміщується в основному, на ділянках, що характеризуються позитивним магнітним полем з інтенсивністю 50—100 нТл. Лівобережна частина міста розташована в областях з переважно негативним магнітним полем (до  $\Delta B_a = -200$  нТл). На лівому березі тільки в районі Русанівки, Березняків і частково Харківського масиву та Бортничів поле  $\Delta B_a$  характеризується слабким позитивним фоном близько 50 нТл [Orlyuk, Romenets, 2003, 2004].

Наступною особливістю поля  $\Delta B$  є групування позитивних аномалій в своєрідний овал. Внутрішній контур цього овалу з напруженістю поля в центрі  $\Delta B = -50$  нТл

обмежений проспектом Перемоги та вул. Мельникова на півдні та півночі і вул. Олени Теліги та Мельникова на заході та сході. Зовнішній контур овалу (інтенсивність аномалій овалу  $\Delta B = 100 \dots 150$  нТл) охоплює Поділ, древній Київ з Трухановим островом, Печерськ (включно з Києво-Печерською лаврою, до музею Великої Вітчизняної війни), проходить північніше Байкового цвинтаря до ст. метро Нивки. Далі лінія контуру простягається приблизно по лінії залізничної колії, охоплюючи Сирець, Куренівку та Рибальський півострів. На правобережжі мінімум магнітного поля північно-західного простягання охоплює (з півночі на південь) такі райони Києва: Чоколівка, аеропорт Жуляни, с. Жуляни, Теремки I, Теремки II, Феофанія (західна межа приблизно проходить по вулиці Академіка Заболотного). Другий мінімум північно-східного — субширотного простягання розташовується від Петропавлівської Борщагівки у північно-східному напрямку та охоплює такі наступні райони: Святошине, Академістечко, Біличі, цвинтар Берківці, західну частину Виноградаря, житлові масиви Мостицький, Вишгородський, Мінський, Оболонь, Вигурівщину-Троєщину, Радужний, Воскресенку, Лісний та Биківню [Orlyuk, Romenets, 2003, 2004].

Негативні аномалії частково зумовлені потужними зонами тріщинуватості з активною флюїдно-динамічною активністю і внаслідок цього виділенням радону.

Окремо розглянемо статичне магнітне поле, яке в окремих будівлях і приміщеннях може істотно відрізнитися від гранично допустимих норм. Відповідно до публікацій [Orlyuk, Romenets, 2004; Резинкина и др., 2009], у більшості будівель рівень поля не перевищує граничних значень 35 000—55 000 нТл. Однак у деяких каркасно-монолітних житлових будинках, офісних приміщеннях, торгово-розважальних центрах, а також на підземних платформах метрополітену існують суттєві відхилення поля від норми [Розов, 2013]. Зокрема, з використанням трикомпонентного магнітометра LEMI-17 ми виконали заміри маг-

нітного поля в окремих кімнатах будинків різного типу.

Як можна бачити з рис. 4, модуль індукції  $B$  у кімнатах будинків різного типу суттєво різняться за величиною. В окремих кімнатах квартир на вул. Богдана Хмельницького поле змінюється в межах 5 000—68 000 нТл, на вул. Милославській — 36 000—70 000, вул. Святошинській — 38 000—88 000 нТл, а в приміщенні Інституту геофізики НАН України — 28 000—78 000 нТл. У зв'язку з тим що індукцію магнітного поля вимірювали у порожніх

кімнатах, можна впевнено говорити про зумовленість аномалій конструктивними особливостями будови стін та перекриття, а також додатковими металевими конструкціями (батареї, кріплення люстри та ін.).

Відповідно до досліджень, усередині житлових приміщень за рахунок сантехнічних виробів і конструктивних особливостей будівлі можливе істотне відхилення поля як у бік його зменшення (внизу чавунної ванни — 10000 нТл, на рівні умовної поверхні — 40000 нТл), так і збільшення (в одній з квартир на вул. Святошинська

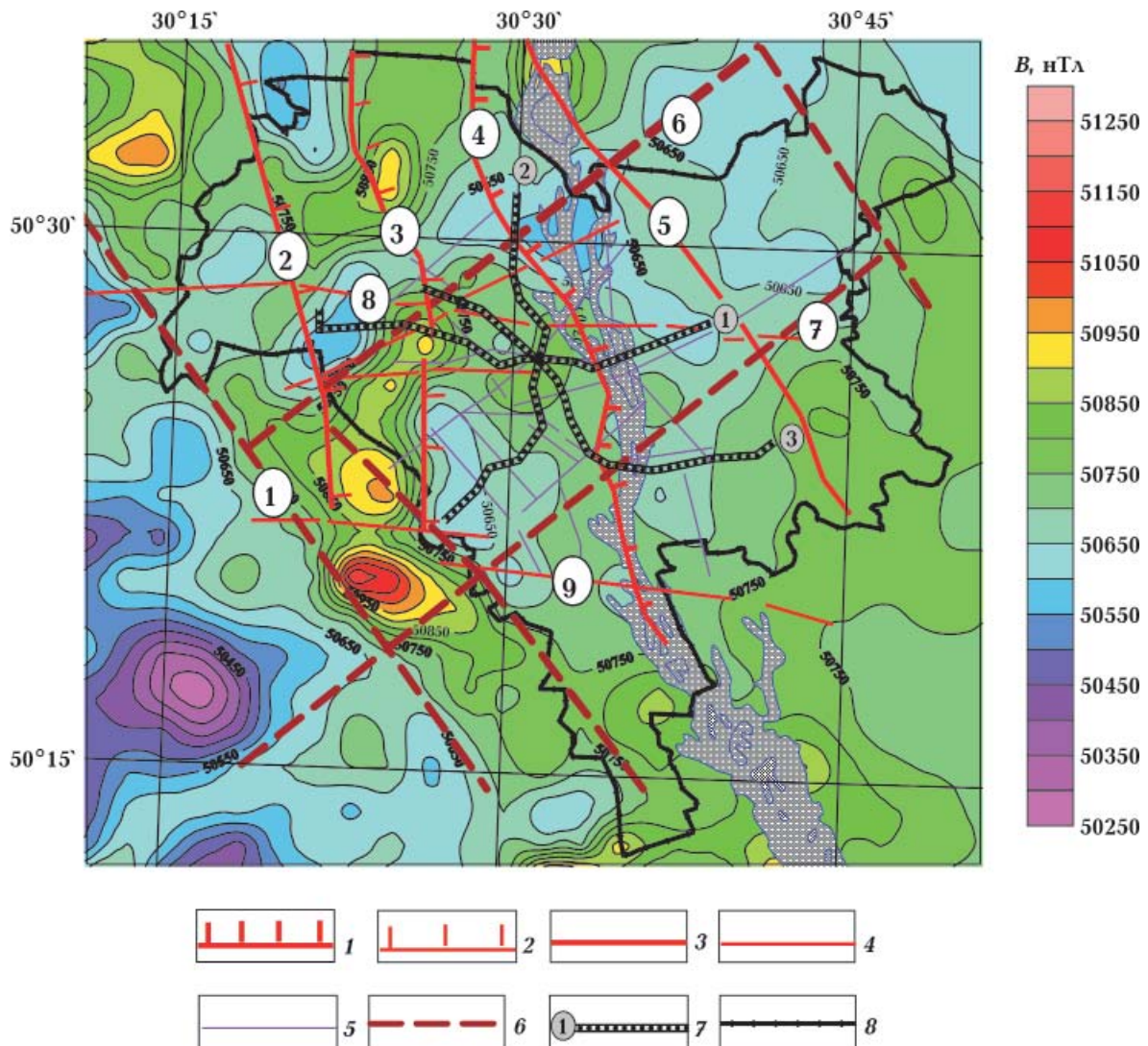


Рис. 3. Карта індукції геомагнітного поля  $B$  на території Києва та суміжних районів. Шкала інтенсивності — в нанотесла. Інші умовні позначення див. на рис. 2.

Fig. 3. Kyiv and neighbor regions map of magnetic field induction  $B$ . Intensity scale in Nanotesla. Other legend see on fig. 2.

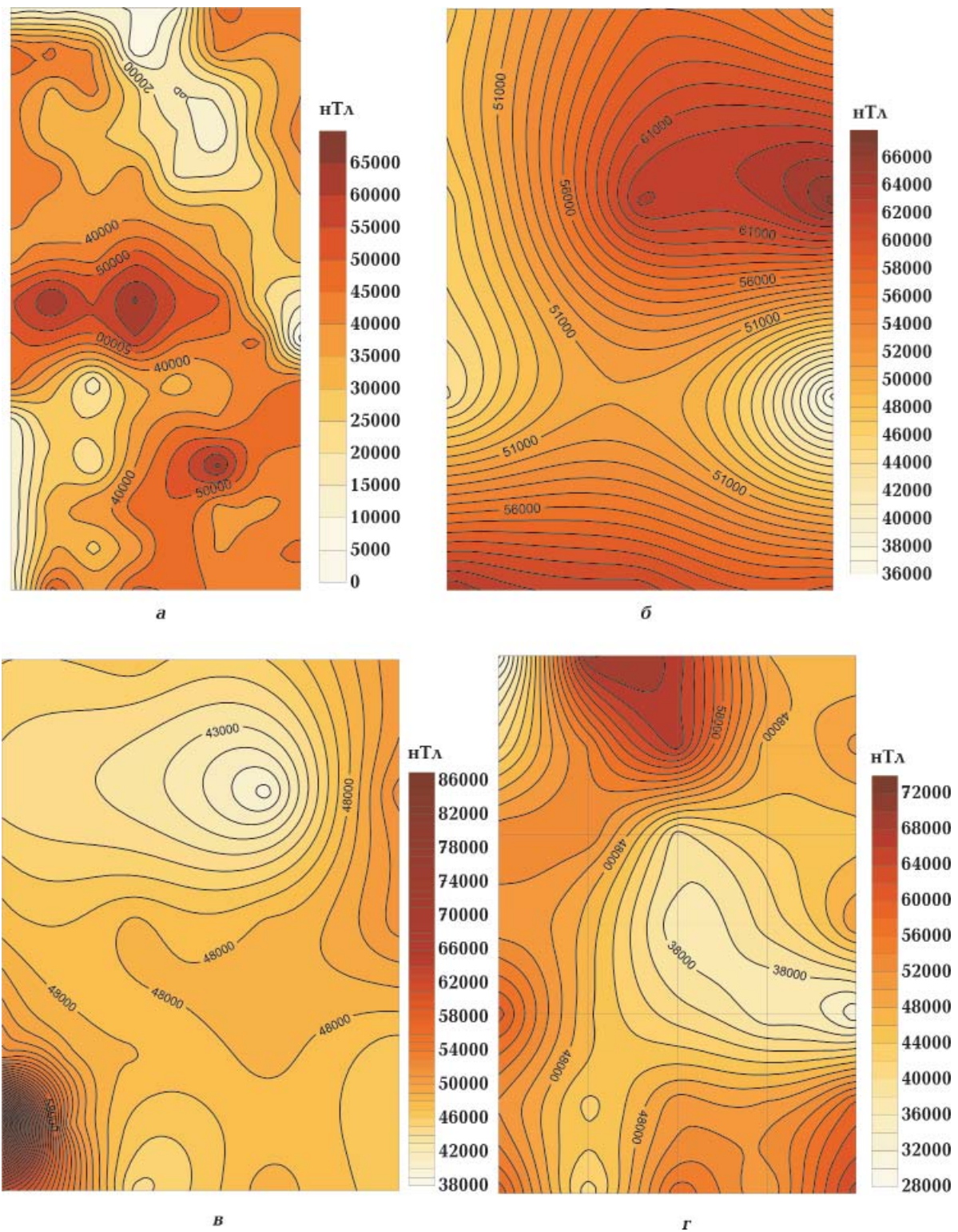


Рис. 4. Індукція магнітного поля в окремих кімнатах будинків різного типу: *а* — вул. Богдана Хмельницького (цегляний, «сталінка»); *б* — вул. Славгородська (каркасно-монолітний); *в* — вул. Святошинська (каркасно-монолітний); *г* — просп. Палладіна (цегляний, 1-й поверх Інституту).

Fig. 4. Magnetic field induction in separate rooms of different typehouses: Bohdan Khmelnytsky street (brick, «Stalinka») (*a*), Slavgorodska Street (frame-monolithic) (*б*), Svyatoshinska street (frame-monolithic) (*в*), Palladin Avenue (brick, 1st floor of the Institute) (*г*).



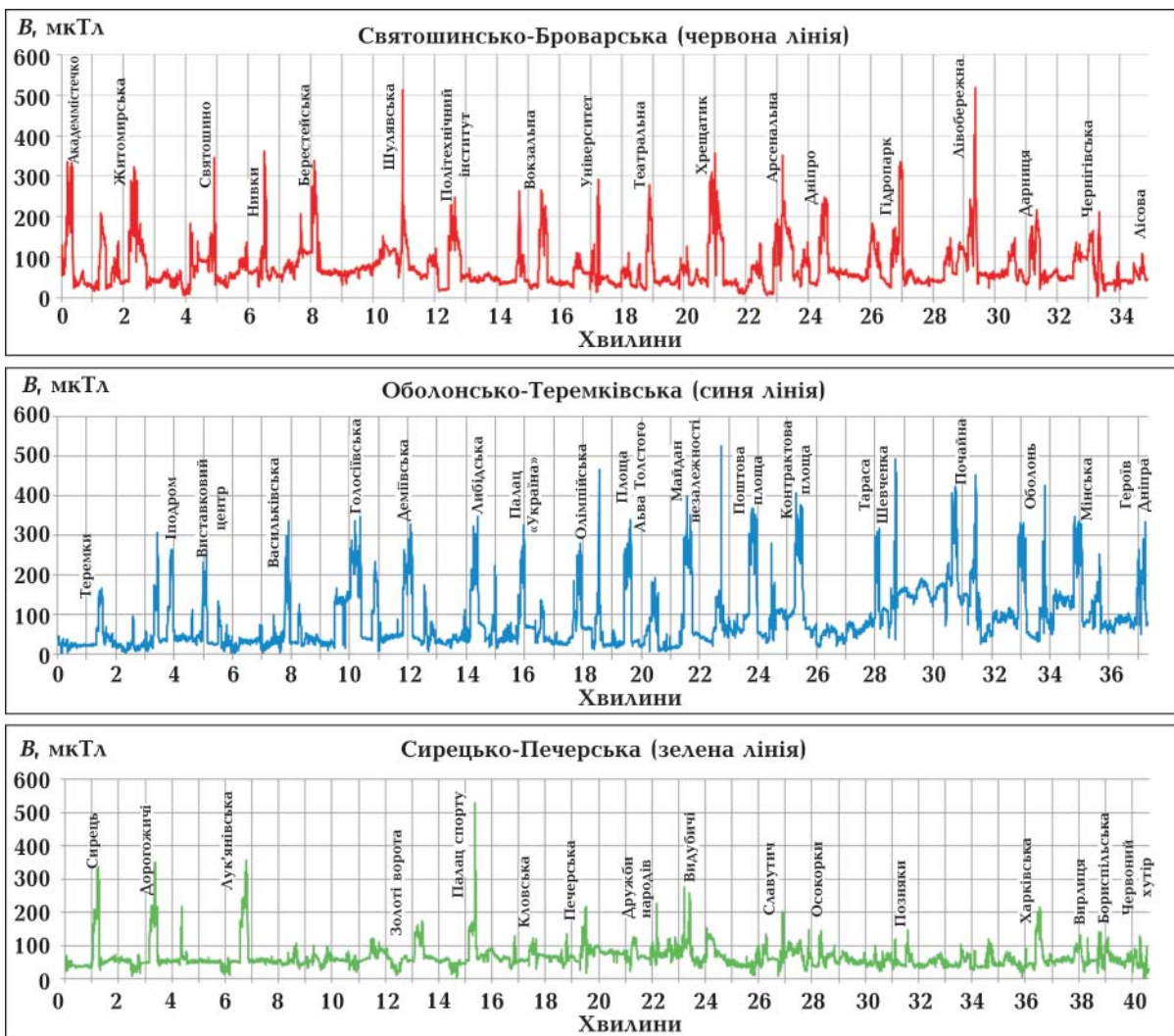


Рис. 5. Індукція магнітного поля на Святошинсько-Броварській, Оболонсько-Теремківській та Сирецько-Печерській лініях метрополітену.

Fig. 5. Magnetic field induction on the Svyatoshyynsko-Brovarska, Obolonsko-Teremkivska and Syretsko-Pecherska metro lines.

— 80000 нТл у кутовій частині кімнати (рис. 4)). При цьому слід звернути увагу на величезні вертикальні й горизонтальні градієнти магнітного поля, що досягають 10000 нТл/м. Природно, що переміщення людини в такому полі рівносильне впливу на неї потужної магнітної бурі.

Зауважимо, що в межах мегаполісів геомагнітне поле суттєво спотворюється техногенною складовою від різних електричних і магнітних джерел [Henzl et al., 2006; Lowes, 2009; Тягунов, 2011; Розов, 2013; Orlyuk et al., 2016]. При цьому найінтенсивніші зміни як фонових значень індукції магнітного поля, так і його різночастотних

варіацій зв'язані з метрополітенном.

Значення статичного геомагнітного поля (ГМП) на деяких платформах підземних станцій метрополітену змінюються від 32000 до 9000—12000 нТл, що значно менше допустимих норм. Зокрема, до таких належать станції метрополітену «Осокорки», «Арсенальна» «Дорогожичі», і це може становити, згідно з [Standart..., 2008], небезпеку для здоров'я людей, які перебувають на платформі більше як дві години (ослаблення до 9000 нТл за допустимого значення для пасажирів 15000 нТл і для обслуговуючого персоналу — 25000 нТл).

Значно більші величини варіацій маг-

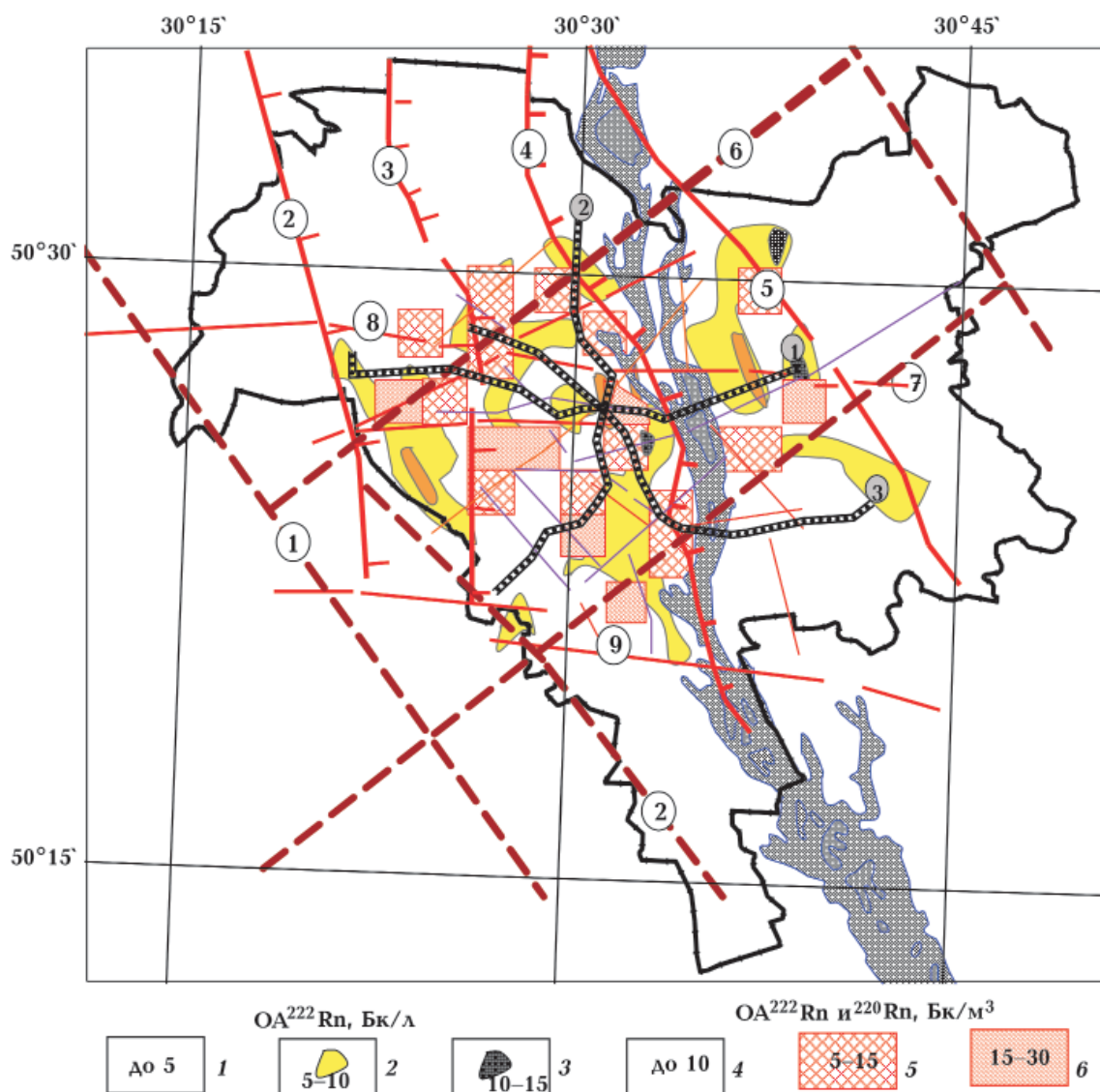


Рис. 6. Схема розподілу об'ємної активності (ОА) радону-222 у підземних водах (1—3) та у підґрунтовому повітрі (4—6) в межах території м. Київ. Інші умовні позначення див. на рис. 2.

Fig. 6. Volume activity divisions scheme (OA) of radon 222 in underground water (1—3) and in underground air (4—6) within Kyiv territory. Other legend see in Fig. 2.

нітного поля зумовлені рухом складом і режимом його роботи. Розглянемо коротко результати досліджень. Згідно із синхронними замірами величини індукції магнітного поля в межах одного вагона, її значення змінюються залежно від місця розташування спостерігача і становлять від 20—40 мкТл у центрі вагона до 60—100 мкТл — у районі електродвигунів. Графіки безперервного запису (у центрі вагона) модуля індукції магнітного поля на трьох лініях Київського метрополітену наведено на рис. 5. Як можна ба-

чити з рис. 5, значення магнітного поля змінюються в межах 20÷500 мкТл. При цьому контрастніші значення отримано для Святошинсько-Броварської та Оболонсько-Теремківської ліній метрополітену порівняно із Сирецько-Печерською. Зазвичай для кожної станції спостерігається «двогорба» крива, максимуми якої відображають час приїзду потягу на станцію та від'їзду з неї.

У деяких випадках, більшими значеннями поля характеризуються вузлові станції, тобто місця перетину ліній метрополітену

(Хрещатик, Майдан Незалежності, Палац спорту), або наземних транспортних ліній та їх розв'язок (Шулявська, Лівобережна, Контрактова площа, Почайна, Лук'янівська, Видубичі). Зауважимо, що меншими значеннями магнітного поля характеризується зупинка електропоїзду (80—200 мкТл) порівняно з його від'їздом від платформи (200—500) мкТл. У проміжку між станціями також спостерігаються окремі збурення (до 100 мкТл і більше на фоні 40—60 мкТл). Величини магнітних збурень, які спостережені на станціях метрополітену поблизу проїзду електропоїзду, також знаходяться в межах перших сотень мікротесла. Магнітні збурення складної форми і тривалості відбуваються під час прибуття на платформу двох поїздів одночасно або з невеликим зміщенням у часі.

Пікові значення індукції магнітного поля під час прибуття та відправлення зі станції метрополітену спостерігаються в межах 1—10 с, а інтервали часу між ними визначаються часом стоянки поїзду на платформі (10—30 с). Інтервал часу з фоновими значеннями магнітного поля визначається відстанню між станціями метрополітену та швидкістю електропоїзду і становить зазвичай 120—240 с.

**Радон.** Експериментальні вимірювання, які проводили на території Києва, показали значні відмінності концентрації радону в різних частинах міста. У південній і західній його частинах спостерігається найбільша концентрація радону. Також у розломних зонах, які виділяються в межах центру міста, можуть спостерігатися локальні зони високої концентрації радону [Котов, 2003; Диденко, 2012].

Концентрація радону в лівобережній та правобережній частинах міста є різною. Причиною цього може бути те, що близько 70 % площі підстильного фундаменту складається з гранітоїдів і вісім з десяти районів міста розташовані в межах гранітного масиву, східний край якого проходить по правому берегу р. Дніпро. Перекриті малопотужним чохлам пухких відкладів гранітні породи характеризуються підвищеними концентраціями радіоактивних елементів

урану, торію і радію [Диденко, 2012]. Як відомо, основними шляхами надходження радону є виявлені в породах тріщинуваті зони з підвищеною газопроникністю. Крім того, породи в цих зонах характеризуються високими коефіцієнтами еманування.

З метою виявлення радонопровідних зон у ґрунті було здійснено еманційне знімання [Диденко, 2012]. На 30 рекогносцирувальних профілях завдовжки близько 400 м було виконано 2500 вимірювань. За такої густоти спостережень розробити кондиційні карти концентрації радону неможливо, але було виділено ділянки з різним типом радонових полів. Аналіз результатів вимірювань показав, що фонові концентрації радону в ґрунтового повітрі лівобережної частини міста становили в середньому 12 кБк/м<sup>3</sup>, правобережної — 20 кБк/м<sup>3</sup>. На території міста було виділено три типи радонових полів: до 10 кБк/м<sup>3</sup>; 10—15, 15—30 кБк/м<sup>3</sup> і вище (рис. 6).

На рис. 6 винесено тільки ділянки з підвищеними значеннями концентрації радону, оскільки інші ділянки міста характеризуються фоновими значеннями менш як 10 кБк/м<sup>3</sup>. Згідно з [Основные..., 2005], зони концентрації радону спостерігаються в основному в правобережній частині міста вздовж розломів.

Відповідно до результатів досліджень, максимальна питома активність радону в артезіанських свердловинах становить 34 кБк/м<sup>3</sup>, а мінімальна — 2 кБк/м<sup>3</sup>. Артезіанські свердловини в середньому містять дещо більше радону (в 1,5 рази), ніж води колодязів. Вода в мінералізованих джерелах також має підвищений вміст радону і фтору. Відсутність істотного внеску фактора «вид джерела» вказує на те, що, очевидно, провідну роль у надходженні радону в підземні води відіграють проникні розломні зони земної кори, де гірські породи роздроблені і по цих зонах до земної поверхні дифундують різні гази, в тому числі радон [Жовинский и др., 2004; Основные..., 2005].

Вміст радону в будинках залежить від багатьох факторів: конструкції будівель, будівельних матеріалів, що використовую-

ють при будівництві, наявності під будівлями розломних (проникних для радону) зон, складу ґрунтів під будівлями, типу фундаментів, використання води у побуті із підземних джерел, наявності та якості вентиляції приміщень, метеорологічних умов. Сучасні житлові будинки, як правило, зводять із залізобетонних конструкцій, що складаються з цементу, піску, щебеню, пористого глинистого керамзиту, тому при радіоекологічних дослідженнях будівель слід враховувати природну радіоактивність цих матеріалів. За підвищеної радіоактивності вихідних компонентів будівельних матеріалів стелі, стіни і підлоги можуть досить інтенсивно випромінювати радіоактивні частинки та гамма-кванти. Умови проживання людей в квартирах таких будинків у цілому відносно небезпечні для їх здоров'я [Котов, 2003; Основные..., 2005; Діденко, 2012].

За концепцією радону міська агломерація м. Києва поділяється на три категорії: 1 — небезпечні площі, де в приміщеннях будівель різного призначення встановлені концентрації радону більше як  $200 \text{ Бк/м}^3$ ; 2 — небезпечні, з імовірністю виявлення окремих приміщень з ЕРОА радону більше як  $50\text{—}100 \text{ Бк/м}^3$ ; 3 — безпечні, де перевищення допустимого рівня ( $50\text{—}100 \text{ Бк/м}^3$ ) у приміщеннях, розташованих на обстеженій площі, не фіксуються. У місті виявлено будинки з ЕРОА радону близько  $900 \text{ Бк/м}^3$  за концентрації його в ґрунтах вивчених територій від 10 до  $20 \text{ кБк/м}^3$  і більше [Основные..., 2005].

До особливо небезпечних для проживання населення віднесено площі з концентраціями радону в ґрунтовому повітрі понад  $40 \text{ кБк/м}^3$ , а до небезпечних — від  $20 \text{ кБк/м}^3$  до  $40 \text{ кБк/м}^3$ . Ці площі, в основному, виявлені у північно-західній і південно-західній частинах м. Києва. У центральній, північній та східній частинах міста також виділено окремі ділянки з високими концентраціями радону.

Виявлені закономірності поширення ділянок з підвищеними концентраціями радону в ґрунтовому повітрі підтверджено спорадичними замірами в приміщеннях у

різних районах м. Києва. Зокрема, в таких районах за результатами експериментальних досліджень спостережено підвищені концентрації радону в службових та підсобних приміщеннях, павільйонах і т. ін. Дослідження було проведено протягом 02.2020—06.2020 у житлових, службових та підсобних приміщеннях Інституту геофізики (просп. Палладіна). Реєстрацію значень концентрації радону у приміщеннях було виконано приладом німецького виробництва SARAD (Radon Scout).

В Інституті геофізики спостереження виконано у робочих і складських приміщеннях. У трьох кімнатах на другому поверсі концентрація радону становить у від 6 до  $65 \text{ Бк/м}^3$ , а в кімнаті на першому поверсі — всього  $27 \text{ Бк/м}^3$ . У підвальному складському приміщенні концентрація радону була заміряна в кількох місцях (з повторними замірами) і значно перевищує прийняту норму і складає  $154\text{—}373 \text{ Бк/м}^3$ . Зауважимо також, що спостереження протягом доби засвідчили суттєві часові зміни концентрації радону ( $183\text{—}273$ ) з максимумами у вечірні та ранішні години. Високі концентрації радону зареєстровано у непровітрюваних кімнатах павільйонів ( $103\text{—}250 \text{ Бк/м}^3$ ), а у провітрюваному вуличному боксі вона складає  $12 \text{ Бк/м}^3$ . Зазначимо, що після інтенсивного провітрювання павільйону концентрація радону стала суттєво менша за допустимий рівень  $100 \text{ Бк/м}^3$ . Крім того, як і для підвальних приміщень, спостережено таку саму закономірність часової зміни концентрації радону. Заміри концентрації радону у приміщеннях та будівлях, розташованих в інших місцях Києва (Троєщина, Труханів острів, вул. Січових Стрільців, вул. Васильківська та ін.), засвідчили його незначні величини і залежність від концентрації радону у підґрунтовому повітрі.

У підвальних приміщеннях житлових будинків по вул. Малокитаївській та на проспекті Науки характерними значеннями еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону в повітрі є  $7,5\text{—}12,5 \text{ Бк/м}^3$ . У повітрі підвалів будинків, побудованих на аномальних зонах з ОА ра-

дону в ґрунтовому повітрі, значення ЕРОА радону досягають  $1500 \text{ Бк/м}^3$ . Отже, рівні ОА і ЕРОА різняться в сотні разів. Якщо для зони нормального поля ОА значення ЕРОА радону досягає  $12,5 \text{ Бк/м}^3$ , то в аномальних зонах ОА значення ЕРОА в повітрі підвалів мають два чіткі максимуми зі значеннями  $900$  і  $1500 \text{ Бк/м}^3$ . Таким чином, рівні концентрації радону в повітрі підвальних приміщень будівель, розташованих в аномальних зонах радоновиділення, перевищують норми НРБУ-97 до десяти разів і більше [Основные..., 2005; Норми..., 1997].

Отже, практично всі виявлені аномалії радону в ґрунтовому повітрі м. Київ приурочені до районів розвитку розломних зон, перекритих на земній поверхні четвертинними моренними суглинками і глинами невеликої потужності. Це дає змогу стверджувати, що основним механізмом формування підвищених і аномальних рівнів радону в будівлях є надходження радіоактивних газів до земної поверхні з надр зонами підвищеної проникності (тектонічними розломами).

У зв'язку з різноманітним рельєфом різних районів міста Києва об'ємна активність радону в ґрунтовому повітрі була визначена після досліджень територій поблизу станцій Київського метрополітену. Спостерігалася 3—7-кратна зміна об'ємної активності радону в ґрунтовому повітрі. За даними визначення ЕРОА  $^{222}\text{Rn}$  у повітрі службових приміщень три лінії метрополітену істотно не відрізняються між собою. У більшості приміщень ЕРОА  $^{222}\text{Rn}$  незначна і знаходиться в межах  $5$ — $36 \text{ Бк/м}^3$ , що не перевищує допустимий рівень середньорічного значення для приміщень, будівель і споруд, які зводяться і реконструюються для експлуатації, з постійним перебуванням людей ( $50 \text{ Бк/м}^3$ ), і нижче граничного значення для будівель, які експлуатуються та мають аналогічне призначення ( $100 \text{ Бк/м}^3$ ), а також виробничих приміщень ( $300 \text{ Бк/м}^3$ ) [Котлов, 2003].

У деяких випадках були зафіксовані підвищені значення вмісту радону. Це стосується станцій «Вокзальна», «Палац спорту» та «Видубичі». Підвищені значен-

ня об'ємної активності радону також спостерігали в районах станцій «Дорогожичі», «Арсенальна», «Либідська», «Святошин» і «Олімпійська». Максимальні значення ЕРОА  $^{222}\text{Rn}$  на станції «Вокзальна» спостерігали в приміщеннях на рівні касового залу (до  $90$ — $94 \text{ Бк/м}^3$ ). Вимірювання, виконані в цих приміщеннях після провітрювання, показали помітне зниження рівня радону. На станції «Палац спорту» в декількох приміщеннях приповерхневого рівня значення ЕРОА  $^{222}\text{Rn}$  при багаторазових вимірах постійно були в межах  $31$ — $105 \text{ Бк/м}^3$ . На станції «Видубичі» максимальні значення ЕРОА  $^{222}\text{Rn}$  досягали  $47$ — $61 \text{ Бк/м}^3$  у приміщеннях на рівні касового залу. [Основные..., 2005]. У цілому найнижчі значення ЕРОА  $^{222}\text{Rn}$  встановлені для приміщень на рівні платформи, що зумовлено, ймовірно, нормальним обміном повітря під час руху поїздів. У повітрі відкритих приміщень (платформи, переходи) з метою визначення радонового навантаження на пасажирів виміри ЕРОА  $^{222}\text{Rn}$  були проведені в різні пори року. Істотних відмінностей між порами року і фоном не встановлено.

Підвищений вміст радону в приміщеннях станцій «Вокзальна», «Видубичі», «Палац спорту» і «Тараса Шевченка» можна пов'язати з розривними порушеннями фундаменту. Розломи сприяють процесу деформації приміщень в метро і будівлях на шляху прокладки метрополітену. Уздовж зон розломів спостерігаються формування обводнених ділянок і, в деяких випадках, руйнування комунікаційних мереж. Надходження радону в зонах тектонічних розломів і розривних порушень може відбуватися у результаті як конвекційно-дифузійних процесів, так і періодичного підйому рівня підземних вод, які характеризуються підвищеним вмістом радону [Котлов, 2003; Основные..., 2005].

Вимірювання концентрації радону в приміщеннях Київського метрополітену дають підстави припустити, що головні чинники, які визначають процес формування радонового навантаження, такі: 1 — здатність порід до еманування радону, яка залежить від концентрації в них урану (ра-

дію) і торію; 2 — особливості геологічного розрізу (потужність шарів ґрунтів і порід різного типу, глибина їх залягання, їх водо- і газопроникність, рівень і динаміка ґрунтових вод і т. п.); 3 — наявність у кристалічному фундаменті та осадових породах, які його перекривають, ослаблених тектонічних зон; 4 — глибина закладання станцій і транспортних тунелів метро; 5 — склад будівельних матеріалів, які застосовують для будівництва приміщень метро, вміст в них радіоактивних елементів, проникність і пористість матеріалів [Основные..., 2005].

**Обговорення результатів.** Природні геомагнітне поле та радіоактивні випромінювання є невід'ємними компонентами довкілля протягом усього періоду еволюції життя на Землі і, напевно, повинні сприйматися біотою як потрібний для еволюції чинник [Орлюк, 2001; Гродзинський, 2010]. Втім при цьому відхилення їх від певних нормальних значень у бік збільшення чи зменшення звичайно слід розглядати, як негативний фактор, що може суттєво впливати на біоту загалом та людину зокрема.

Насамперед зауважимо, що небезпечним для людини є не тільки радон ( $^{222}\text{Rn}$  (період розпаду  $T=3,825$  діб)), а також коротко існуючі продукти його розпаду: полоній ( $^{218}\text{Po}$  (3,05 хв)), свинець ( $^{214}\text{Pb}$  ( $T=26,8$  хв)), вісмут ( $^{214}\text{Bi}$  ( $T=20$  хв)), полоній  $^{214}\text{Po}$  ( $T=0,16$  мс)), які можуть накопичуватися в аерозолях, на поверхні стін, будівельних матеріалів, одязі та ін. Звичайно, що виявлені місця з підвищеними значеннями концентрації радону у підземних водах та підґрунтовому повітрі, особливо в правобережній частині міста, потребують додаткових досліджень, як з метою їх деталізації, так і експериментальної зв'язки у побудованих і планованих до побудови приміщень промислового і житлового типів.

Аномалії радону в місті Київ практично тяжіють до районів розвитку розломних зон, які перекриті на земній поверхні четвертинними відкладами малої потужності, що характерно для правобережної частини міста, оскільки глибина залягання корінних порід менша, ніж у лівобережній частині.

Як можна бачити з рис. 6, аномалії об'ємної активності радону в підземних водах мають північно-західне — субмеридіональне простягання, що вказує на їх приуроченість до відповідних розломів, а саме: Ірпінсько-Борщагівського, Пуща-Водицького, Київського та Дарницького, а також супутніх їм дрібніших розломів і зон тріщинуватості. Аномалії радону в підґрунтовому повітрі крім певного взаємозв'язку з аномаліями радону в підземних водах виявляють чіткіший контроль з розломами північно-східного простягання, а саме Петрівсько-Пухівським та Глевасько-Броварським.

Аналіз просторового розміщення розломів, аномального геомагнітного поля і концентрації радону показав, що розломи характеризуються зазвичай відносними мінімумами аномалій  $\Delta V$  та інтенсивними радоновими аномаліями, а концентрація радону зменшується з віддаленням від розлому, при цьому  $\Delta V$  зростає [Орлюк, Яцевський, 2016]. На карті аномальної компоненти магнітного поля радонові аномалії корелюються з негативними і невеликими позитивними її значеннями (рис. 7). Ця залежність досить чітко проявляється в межах правобережної частини міста, де негативне магнітне поле пов'язане з потужними зонами тріщинуватості, з активною флюїдно-динамічною активністю і розломами, які є зонами виділення радону в атмосферу. На лівобережжі кореляція між аномаліями магнітного поля і аномаліями радону менш помітна, оскільки в цій частині міста корінні породи залягають досить глибоко і перекриті потужним осадовим чохлам, який заважає надходженню радону на поверхню. Хоча слід зауважити, що і в лівобережній частині міста радонові аномалії контролюються мінімумом магнітного поля, Святошинсько-Княжицьким та Дарницьким розломами. Отже, наявність у геологічному розрізі гірських порід, що містять підвищену кількість природних радіоактивних елементів, і, головне, підвищена проникність гірських порід по тектонічних порушеннях (розломах) визначають

аномальні рівні концентрацій радону в Києві. Виходячи з аналізу рис. 7, на земній поверхні території м. Києва практично немає місць з істотним перевищенням рівнів як радонової, так і магнітної небезпеки.

Стосовно аномалій радону у промислових та житлових приміщеннях зазначимо, що, за літературними даними та результатами наших спостережень, вони можуть суттєво перевищувати допустимі норми, особливо у непровітрюваних підвалах та цокольних поверхах будинків. На жаль, як зазначено вище, у Києві практично не виконуються цілеспрямовані роботи такого типу і вони не входять в будівельні норма-

тиви на стадії як проектування, так і будівництва. Проте виявлені радонові аномалії в деяких будівлях та станціях метрополітену мають аномальні значення у приповерхневому повітрі та безпосередньо в розломах, або розломних зонах.

Згідно з нашими попередніми дослідженнями, найінтенсивніші поля спостерігаються у метрополітені [Orlyuk et al., 2016; Орлюк та ін., 2020]. При цьому постійні магнітні поля зумовлюються особливостями будови тунелів і станцій метрополітенів, а також рухомого складу і змінюються в межах від 10—20 до 30—50 мкТл. За експериментальними дослідженнями [Розов

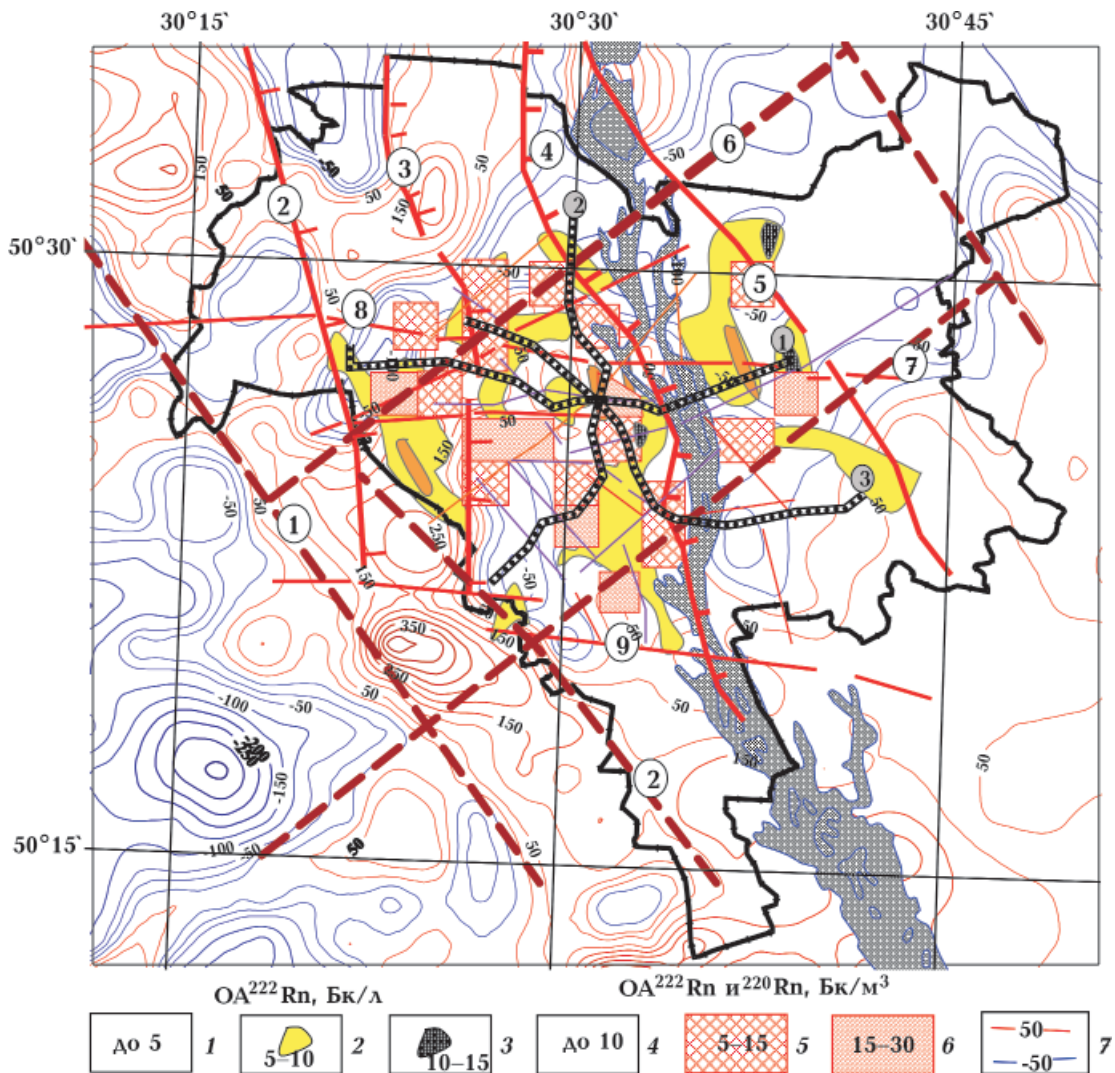


Рис. 7. Схема зіставлення магнітних (додатні значення — червоним, а від'ємні — синім кольором) і радонових аномалій з регіональними розломами земної кори. Умовні позначення див. на рис. 2 та 6.

Fig. 7. Scheme of magnetic and radon anomalies comparison (positive values in red and negative values in blue) with regional faults of the earth's crust. Symbols, see Fig. 2 and 6.

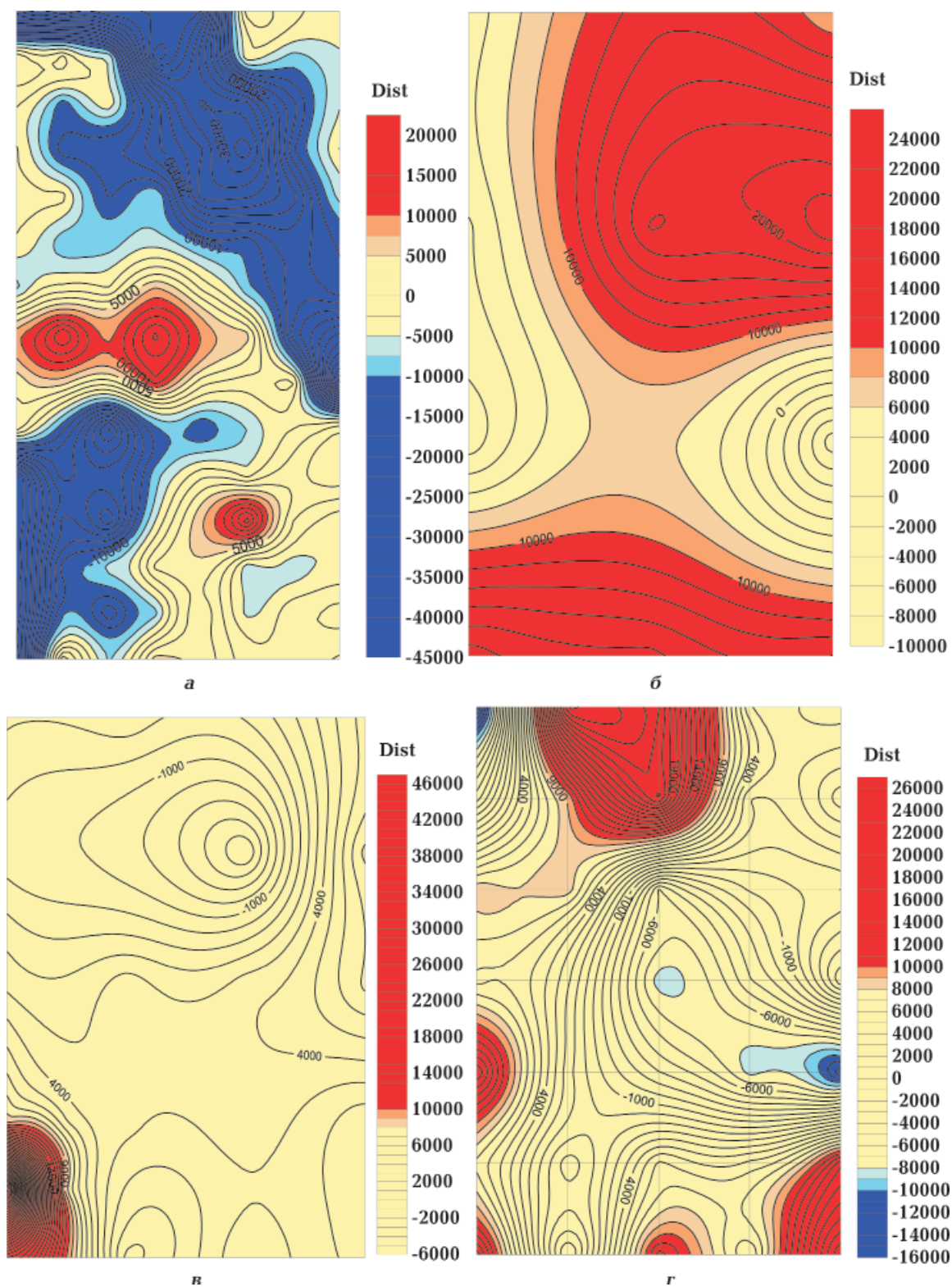


Рис. 8. Екологічна збуреність магнітного поля в окремих кімнатах будинків різного типу: а — вул. Богдана Хмельницького (цегляний, «сталінка»); б — вул. Славородська (каркасно-монолітний); в — вул. Святошинська (каркасно-монолітний); г — просп. Палладіна (цегляний, 1-й поверх Інституту).

Fig. 8. Ecological disturbance of magnetic field in separate rooms of houses of different types: Bohdan Khmelnytsky Street (brick «Stalinka») (a), Slavgorodska Street (frame-monolithic) (б), Svyatoshynska Street (frame-monolithic) (в), Palladin Avenue (brick, 1st floor of the Institute) (г).



и др., 2013], для більшості платформ Київського метрополітену статичні магнітні аномалії знаходяться в межах екологічної норми (більше як 30—35 мкТл). Втім на деяких платформах (Осокорки, Арсенальна, Дорогожичі) величини магнітного поля становить 30—10 мкТл, що менше за допустимі норми.

Інша картина спостерігається на лініях метрополітену, оскільки при замірах радону і магнітного поля на деяких станціях метрополітену були зафіксовані суттєві відмінності від нормальних значень. Є станції, на яких виявлено істотні відмінності від норми магнітного або радонового полів, а в деяких випадках їх обох (станції «Святошин», «Арсенальна» та ін.). Тривале перебування людини на таких станціях може мати негативний ефект на здоров'я, тому що впливають два фактори разом. Між тим зауважимо, що довготривале перебування на станціях, де суттєвий вплив має один з цих факторів, може бути також небезпечним для здоров'я людини. Накопичення радону на станціях можна пояснити розташуванням їх в межах або поблизу зон розломів, а також близькістю до кристалічного фундаменту, а наявність магнітних аномалій — з конструктивними особливостями станцій. Як можна бачити з рис. 7, практично всі лінії метрополітену перетинають або знаходяться поблизу регіональних розломів, що може зумовлювати наявність радонових аномалій на станціях. Зокрема, в зоні північно-східного Петрівсько-Пухівського розлому розташовані станції: Берестейська, Шулявська, Дорогожичі, Оболонь, Золоті Ворота та Майдан Незалежності. В зоні Глевасько-Броварського розлому знаходиться станція Видубичі.

В зонах регіональних північно-західного — субмеридіональних розломів розташовані такі станції: Академмістечко (близько до Ірпінсько-Борщагівського розлому), Шулявська та Сирець (Пуца-Водицький розлом), Оболонь, Дніпро, Видубичі (Київський розлом). Менш значними розломами цього напрямку контролюються станції Іподром, Виставковий центр та Васильківська.

До субширотного Святошинсько-Княжицького розлому та зон його впливу належать станції метрополітену: Лукнянська, Вокзальна, Поштова площа, Театральна, Майдан Незалежності, Арсенальна, Палац спорту і Чернігівська.

Деякі станції розташовані на перетині регіональних розломів та відносних мінімумів магнітного поля (Оболонь, Дніпро, Видубичі, Дорогожичі, Золоті Ворота, Театральна).

Це стосується і житлових будинків. Якщо, згідно з дослідженнями, радонові аномалії в будинках, за виключенням підвальних приміщень, у переважній більшості практично не перевищують існуючих норм, то магнітні аномалії можуть суттєво різнитися залежно від типу будівельних та сантехнічних конструкцій. На рис. 8 показано розраховані величини збуреності магнітного поля ряду приміщень (розрахованих за виразом  $D=(B-B_{\text{екол}})/B_{\text{екол}}$  [Orlyuk, Romenets, 2020]), модуль індукції  $B$  для яких наведено на рис. 4.

Наведені величини збуреності магнітного поля для всіх кімнат засвідчують їх суттєві відмінності щодо екологічної норми у бік як збільшення, так і зменшення. Напевне, не менш значним (але менш дослідженим) екологічним чинником у цьому випадку може бути просторовий градієнт магнітного поля, який на декілька порядків перевищує градієнт природного геомагнітного поля (1—15 нТл/м).

І насамкінець зауважимо: якщо радонові аномалії є більш-менш стабільними в просторі та часі, то магнітні аномалії, особливо в метрополітені, характеризуються значними змінами магнітного поля у низькочастотному та високочастотному спектрах їх коливань. Виявлені нами магнітні збурення складної форми і тривалості, величиною 40—500 мкТл у частотному діапазоні 1—10 с, 10—30 та 120—240 с потребують подальшого дослідження щодо їх можливого впливу на людей.

Отримані величини магнітних збурень суттєво відрізняються від відповідних екологічних норм, але існують принципові труднощі дослідження можливих ме-

ханізмів їх впливу на людину, оскільки в лабораторних умовах важко відтворити аналогію метрополітену, а виконувати експериментальні заміри функціонування різних систем організму людини *in situ* поки що неможливо.

Загалом викладені результати вперше окреслюють найзагальнішу характеристику магнітних та радонових аномалій у співвідношенні з розломною тектонікою на території м. Києва та їх аналізом як екологічного чинника зовнішнього середовища. Автори розуміють складність розглянутих у статті питань, що обумовило їх розгляд в основному на «регіональному» рівні, в також їх вирішення з конкретною локалізацією, що також продемонстровано на конкретних прикладах.

**Висновки.** Для території міста Києва розглянуто характеристику магнітних і радонових аномалій у сукупності з розломами та розломними зонами як значущих екологічних чинників довкілля. Найбільш важливими результатами дослідження є:

1. Викладено головні аспекти геологічної будови району дослідження, уточнено та доповнено схеми регіональних та супровідних розломів, розроблено карти модуля та аномалій модуля індукції геомагнітного поля, а також схему аномалій радону у воді та підґрунтового повітрі.

2. Виявлено зв'язок радонових аномалій з розломами та природними магнітними полями: радонові аномалії в основному корелюються з від'ємними і невеликими додатними значеннями аномального магнітного поля та пов'язані з потужними зонами тріщинуватості з активною флюїднодинамічною активністю і розломами діагональної та ортогональної систем, які є зонами виділення радону в атмосферу.

3. Радонові аномалії у воді та підґрун-

товому повітрі у переважній більшості контролюються Ірпінсько-Борщагівським, Пуща-Водицьким, Київським та Дарницьким розломами північно-західного—північного простягання і Петрівсько-Пухівським та Глевасько-Броварським північно-східного простягання.

4. Для деяких станцій Київського метрополітену встановлено перевищення екологічних норм магнітного поля та радонових аномалій, що пояснюється конструктивними особливостями будови приміщень метрополітену та їх знаходженням у зонах розломів та розломних зон.

5. Моніторингові спостереження радону засвідчили часові зміни його концентрації з максимумами у вечірні та ранішні години.

6. Показано, що магнітні аномалії, особливо в метрополітені, характеризуються значними змінами магнітного поля як в низькочастотному, так і високочастотному спектрі їх коливань, які суттєво вище прийнятих екологічних норм.

7. Спільний аналіз схеми розломної тектоніки, магнітних і радонових аномалій дасть змогу обґрунтованіше виділяти екологічно небезпечні зони на території Києва та поза його межами.

**Подяки.** Дане дослідження виконано в рамках бюджетних тем Інституту геофізики НАН України: III-3-18 «Інформативність магнітних моделей різновікових тектонотипів мантіяно-корових структур для вирішення задач геодинаміки та прогнозування корисних копалин території України» і III-23-17 «Моніторинг геофізичних полів з метою зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій від небезпечних природних явищ». Автори дякують академіку В.І. Старостенку та проф. С.А. Вишві за слушні зауваження, врахування яких значно покращили статтю.

### Список літератури

Алехин В.И. Разломы земной коры как зоны экологического риска. *Геолого-мінералогічний вісник*. 2004. № 1. С. 35—40.

Белокриницкий В.С. Что необходимо знать пользователям мобильных телефонов и

компьютеров. Киев: Изд. ун-та «Украина», 2009. 112 с.

Верховцев В.Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку: *Дис. ... г-ра геол. наук*. Київ, 2008. 423 с.

- Вижва С.А., Онищук І.І., Черняєв О.П. Ядерна геофізика. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2012. 608 с.
- Вижва С.А., Шабатура О.В., Онищук В.І., Онищук Д.І., Онищук І.І. Декомпозиція геогенічного радонового потенціалу за допомогою логнормального кригінгу. *Геоінформатика*. 2017. № 1(61). С. 42—50.
- Вижва С.А., Шабатура О.В., Онищук Д.І., Онищук І.І. Радіаційні характеристики радонових вод м. Хмільник. *Вісник Київ. нац. ун-ту. Геологія*. 2015. № 2(69). С. 30—38.
- Вижва С.А., Гавриленко О.Д., Онищук І.І., Шабатура А.В., Теут Е.В. Радоновый контроль и измерения. Алматы, 2014. 277 с.
- Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Матвеев А.В. Отражение радоновых аномалий в магнитном поле и тектонических элементах Беларуси. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 5. С. 40—48. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i5.2016.107820>.
- Гродзинський Д.М. Радіоактивні ізотопи і життя. *Вісник Харків. нац. аграр. ун-ту. Сер. Біологія*. 2010. Вип. 2(20). С. 6—18.
- Державна геологічна карта України масштабу 1: 200 000. Дніпровсько-Донецька серія. Аркуш М-36-ХІІІ (Київ). Пояснювальна записка. Ковальов О.Б. та ін. Київ: Північук-геологія. 2001.
- Диденко П.И. Влияние радона на население Украины. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2012. № 4. С. 60—67.
- Диденко П.И. Экологические аспекты воздействия радона на население. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2011. № 6. С. 72—81.
- Жовинский Э.Я., Комов И.Л., Диденко П.И., Макаренко Н.Н., Крюченко Н.О. Связь гидрогеохимических аномалий радона и фтора с участками тектонических нарушений (на примере г. Киев). *Пошукова та екологічна геохімія*. 2004. № 4. С. 56—60.
- Куликов В.Ю. Тимофеева Е.С. Оценка сочетанного влияния различных вариаций геомагнитного и радиационного полей на осмотическую резистентность эритроцитов человека в условиях in VITRO. *Медицина и образование в Сибири*. 2011. № 4. С. 12—20.
- Медведева О.А., Калущкий П.В., Беседин А.В., Медведева С.К., Калущкий А.П. Эколого-эпидемиологический анализ заболеваемости детского населения кишечными инфекциями в регионах Курской области с различным уровнем геомагнитного поля. *Научные ведомости. Сер. Медицина. Фармация*. 2011. № 10(105). С. 5—11.
- Методичні рекомендації «Здійснення контролю за дотриманням радіаційно-гігієнічних параметрів у будівництві». Затверджено МОЗ України наказом № 883 від 29.12.2008 р. Київ, 10 с.
- Норми радіаційної безпеки України. Київ, 1997. 127 с. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>.
- Основные проблемы радоновой безопасности. Киев: Логос, 2005. 351 с.
- Орлюк М.І., Роменець А.О. Магнітне екологічне поле мегаполісу (на прикладі м. Києва). *Екологія і природокористування*. 2004. № 7. С. 142—147.
- Орлюк М.І. Геофізична екологія — основні задачі та шляхи їх розв'язку. *Геофиз. журн.* 2001. Т. 23. № 1. С. 49—59.
- Орлюк М.І., Марченко А.В., Яцевський П.І. Зв'язок радонових і магнітних аномалій на території Українського щита та міста Києва. *Геодинаміка*. 2018. № 1(24). С. 80—90. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.01.080>.
- Орлюк М.І., Роменець А.О. Геомагнітне поле України: екологічний аспект. *Геолог України*. 2003. № 1. С. 64—71.
- Орлюк М.І., Роменець А.О., Орлюк І.М. Магнітні поля Київського метрополітену: екологічний аспект. *Доп. НАН України*. 2020. № 3. С. 63—70. <https://doi.org/10.15407/dopovid12020.03.063>.
- Орлюк М., Яцевський П. Зв'язок радонових аномалій, магнітного поля та розломів на території міста Києва. *Вісник Київ. нац. ун-ту. Геологія*. 2016. № 3(74). С. 18—22.
- Орлюк М.И., Ищенко М.В. Сравнительный анализ современной деформации и новейших движений земной поверхности на территории Украины. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 4. С. 161—181. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i4.2019.177381>.
- Павлович Н.В., Павлович С.А., Галлиулин Ю.И. Биомагнитные ритмы. Минск: Университетское, 1991. 136 с.
- Походзей Л.В. Гипогеомагнитные условия как

- неблагоприятный фактор производственной среды: дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2004. 198 с.
- Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Дорман Л.И., Ючки Н., Тясто М.И. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья. *Успехи физ. наук.* 1998. Т. 168. № 7. С. 767—791.
- Резинкина М.М., Пелевин Д.Е., Думанский Ю.Д., Биткин С.В. Ослабление геомагнитного поля в многоквартирных домах различных проектов. *Гігієна населених місць.* 2009. № 54. С. 209—216.
- Розов В.Ю., Пелевин Д.Е., Левина С.В. Экспериментальные исследования явления ослабления статического геомагнитного поля в помещениях. *Електротехніка і електромеханіка.* 2013. № 6. С. 72—76.
- Сердюк А.М., Григор'єв П.Є., Акіменко В.Я., Протас С.В. Екологічна значущість геомагнітного поля та медично-біологічні передумови гігієнічної регламентації його ослаблення в умовах України. *Довкілля і здоров'я.* 2010. № 3. С. 8—11.
- Серпов В. Влияние природных магнитных полей на безопасность человека в областях геофизических аномалий Европейской части России: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Санкт-Петербург, 2007.
- Старостенко В.И., Баран П.И., Барщевский Н.Е., Горлицкий Б.А., Демчишин М.Г., Иванченко Е.П., Кендзера А.В., Коболев В.П., Кутас В.В., Левашов С.П., Лялько В.И., Нестеренко Г.В., Омельченко В.Д., Палиенко В.П., Рыбин В.Ф., Сергиенко Н.Т., Спица Р.А., Сушко В.К., Черноконь В.Я. Киев: геология и геофизика окружающей среды и факторы, неблагоприятно на нее влияющие. *Геофиз. журн.* 2001. Т. 23. № 4. С. 3—39.
- Степанюк Л.М., Приходько В.Л., Курило С.І., Довбуш Т.І., Котвіцька І.М. «Фундамент» Києва. *Вісник НАН України.* 2017. № 2. С. 54—59.
- Тягунов Д.С. Техногенное электромагнитное поле как экологический фактор. *Экология урбанизированных территорий.* 2011. № 2. С. 45—50.
- Физические факторы производственной среды. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля и здоровье человека», Москва, 2003. 19 с.
- Холодов Ю.А. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. Москва: Наука, 1966. 126 с.
- Henzl, C., Kacor, J., & Palectr, J. (2006). Investigation of magnetic field in the subway station. *Advances in Electrical and Electronic Engineering, 5(1-2), 254—257.*
- Komov, I.L. (2003). Monitoring of radon in Ukraine. *Proceedings of the International Radon Symposium. Vol. II. American Association of Radon Scientists and Technologists, Inc., October 5—8, 2003.*
- Lowes, F.J. (2009). DC railways and the magnetic fields they produce — the geomagnetic context. *Earth, Planets and Space, 61, 1—15.* <https://doi.org/10.1186/BF03352944>.
- Orlyuk, M., Romenets, A., & Orliuk, I. (2016). Natural and technogenic components of megalopolis magnetic field. *Геофиз. журн.* Т. 38. № 1. С. 78—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i1.2016.107727>.
- Orlyuk, M.I., & Romenets, A.A. (2020). Spatial-temporal change in the geomagnetic field: environmental aspect. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 4. С. 18—38. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210670>.
- Standart of Building Biology Testing methods: SBM-2008. (2008). Germany: Institut fur Baubiologie+Okologie, 5 p.
- Standard-2015 Randbedingungen: SBM-2015. Institut fur Baubiologie+Nachhaltinkeit, 18 p. Retrieved from [www.baubiologie.de](http://www.baubiologie.de).
- Shabatura, O., Vyzhva, S., Onyshchuk, D., & Onyshchuk, V. (2015). Lognormal kriging for modeling of geogenic radon potential. *XIV Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти», 11—14 травня 2015 р., Київ, Україна.*
- Yatsevskiy, P.I., & Orlyuk, M.I. (2017). Geological sources of magnetic and radon anomalies on the territory of Kyiv: *XVII<sup>th</sup> International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects. 15—17 May 2017, Kiev, Ukraine, 5 p.*
- Yatsevskiy, P., Orlyuk, M., & Marchenko, A. (2017). Radioactive anomalies and their relationship with the magnetic field on the territory of Ukraine: *XI<sup>th</sup> International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment», 11—14 October 2017, Kyiv, Ukraine, 5 p.*

Yatsevskiy, P.I., Orlyuk, M.I., Marchenko, A.V.  
The link of radon and magnetic anomalies on  
the territory of Ukraine: XVII<sup>th</sup> International

Conference on Geoinformatics — Theoretical  
and Applied Aspects, 14—16 May 2018, Kiev,  
Ukraine, 5 p.

## Radon and magnetic anomalies in the territory of the city Kyiv: environmental aspect

M.I. Orlyuk<sup>1</sup>, I.I. Onyshchuk<sup>2</sup>, A.O. Romenets<sup>1</sup>, A.V. Marchenko<sup>1</sup>,  
P.O. Yatsevsky<sup>3</sup>, I.M. Orliuk<sup>1</sup>, 2021

<sup>1</sup>S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

<sup>3</sup>JSC «Ukrnafta», Kyiv, Ukraine

Magnetic and radon anomalous fields are essential geophysical entities of environment which determine to a considerable degree its ecological state. Revelation of magnetic and radon anomalous zones is an urgent task for the studies of geo-environmental state of the territory and appraisal of its ecological safety. The greatest danger is produced by the areas where the faults are localized with radon anomalies related in the upper part of the Earth crust. For the territory of Kyiv geological characteristics of the studied area has been reviewed, schemes of regional and accompanying faults have been adjusted and completed, maps of module and anomalies of module of geomagnetic field induction as well as a scheme of radon anomalies in water and subsoil air have been elaborated. Connection between radon anomalies with faults and natural magnetic fields has been shown which consisted in correlation of radon anomalies with negative and small positive values of anomalous magnetic field and related to thick zones of fracturing with active fluidal-dynamic activity and the faults of diagonal and orthogonal systems being the zones of radon emanation into atmosphere. Radon anomalies in subsoil air are mainly controlled by Irpin-Borshchagivka, Pushcha-Vodytsya, Kyiv and Darnytsya faults of northwestern-northern strike and Petrivka-Pukhivka and Glevakha-Brovary faults of northwestern strike. For some stations of Kyiv metro the excess of environmental norms of magnetic field and radon anomalies has been determined which can be explained by constructive features of metro compartments and their location in fault zones. It has been shown that radon anomalies are spatially and temporally stabile and magnetic anomalies, especially in metro, are characterized by considerable changes of magnetic field in both low-frequency and high-frequency spectra of their variation.

Combined analysis of the fault tectonic scheme, magnetic and radon anomalies will permit to find out environmentally hazardous zones in the territory of Kyiv and out of it more reasonably.

**Key words:** magnetic and radon anomalies, faults, ecology, metro, Kyiv.

### References

- Alekhin, V.I. (2004). Faults of the Earth's crust as zones of ecological risk. *Heoloho-mineralo-hichnyy visnyk*, (1), 35—40 (in Russian).
- Belokrinitkiy, V.S. (2009). *What you need to know the users of mobile phones and computers*. Kiev: Publ. of the University «Ukraine», 112 p. (in Russian).
- Verkhovtsev, V.G. (2008). The latest platform geostructures of Ukraine and the dynamics of their development: *Doctor's thesis*. Kyiv, 423 p. (in Ukrainian).
- Vyzhva, S.A., Onishchuk, I.I., & Chernyaev, O.P. (2012). *Nuclear geophysics*. Kyiv: Publishing and printing center «Kyiv University», 608 p. (in Ukrainian).
- Vyzhva, S.A., Shabatura, O.V., Onyschuk, V.I., Onyschuk, D.I., & Onyschuk, I.I. (2017). Decomposition of geogenic radon potential by

- lognormal kriging. *Geoinformatika*, (1), 42—50 (in Ukrainian).
- Vyzhva, S.A., Shabatura, O.V., Onishchuk, D.I., & Onyschuk, I.I. (2015). Radiation characteristics of Kholmilnyk radon groundwaters. *Visnyk Ky-yivs'koho universytetu. Heolohiya*, (2), 30—38 (in Ukrainian).
- Vyzhva, S.A., Gavrylenko, O.D., Onyshchuk, I.I., Shabatura, A.V., & Teut, Ye.V. (2014). *Radon control and measurement*. Almaty, 277 p. (in Russian).
- Garetsky, R.G., Karataev, G.I., & Matveyev, A.V. (2016). Reflectance of radon anomalies in magnetic field and tectonic elements of Belarus. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(5), 40—48. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i5.2016.107820> (in Russian).
- Grodzinskiy, D.M. (2010). Radioactive isotopes and life. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Ser. Biolohiya*, (2), 6—18 (in Ukrainian).
- State geological map of Ukraine scale 1: 200 000. Dnieper-Donetsk series. Sheet M-36 XIII. (2001). Kyiv: Pivnichukrheologhiya (in Ukrainian).
- Didenko, P.I. (2012). Effect of radon on the population of Ukraine. *Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka ta tsyvil'nyy zakhyst*, (4), 60—67 (in Russian).
- Didenko, P.I. (2011). Environmental aspects of radon exposure on population. *Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka ta tsyvil'nyy zakhyst*, (6), 72—81 (in Russian).
- Zhovinskiy, 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). *Poshukova ta ekolohichna heokhimiya*, (4), 56—60 (in Russian).
- Kulikov, V.Yu. & Timofeeva, E.S. (2011). Evaluation of the combined effect of various variations of the geomagnetic and radiation fields on the osmotic resistance of human erythrocytes in vitro conditions. *Meditsina i obrazovaniye v Sibiri*, (4), 12—20 (in Russian).
- Medvedeva, O.A., Kalutskiy, P.V., Besedin, A.V., Medvedeva, S.K., & Kalutskiy, A.P. (2011). Ecological and epidemiological analysis of the incidence of intestinal infections in children in the regions of the Kursk region with different levels of the geomagnetic field. *Nauchnyye vedomosti. Ser. Meditsina. Farmatsiya*, (10), 5—11 (in Russian).
- Methodical recommendations «Implementation of control over observance of radiation and hygienic parameters in construction». (2008). Approved by the Ministry of Health of Ukraine by order № 883 of December 29, 2008. Kyiv, 10 p. (in Ukrainian).
- Radiation safety standards of Ukraine. (1997). Kyiv, 127 p. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text> (in Ukrainian).
- The main problems of radon safety*. (2005). Kyiv: Logos, 351 p. (in Russian).
- Orlyuk, M.I., & Romenets, A.A. (2004). Magnetic ecological field of a megalopolis (on an example of Kyiv). *Ekolohiya i pryrodokorystuvannya*, (7), 142—147 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I. (2001). Geophysical ecology — the main tasks and ways of their solution. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 23(1), 49—50 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., Marchenko, A.V., & Yatsevsky, P.I. (2018). The link of radon and magnetic anomalies on the territory of Ukrainian Shield and Kyiv. *Geodynamika*, (1), 80—90. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.01.080> (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., & Romenets, A.O. (2003). Geomagnetic field of Ukraine: ecological aspect. *Heoloh Ukrayiny*, (1), 64—70 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., Romenets, A.O., & Orlyuk, I.M. (2020). Magnetic fields of the Kyiv underground: ecological aspect. *Dopovidi NAN Ukrayiny*, (3), 63—70. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.03.063> (in Ukrainian).
- Orlyuk, M., & Yatsevskiy, P. (2016). Correlation of radon anomalies, magnetic field and faults on the territory of Kyiv. *Visnyk Ky-yivs'koho Natsional'noho Universytetu. Heolohiya*, (3), 18—22 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., & Ishchenko, M.V. (2019). Comparative analysis of modern deformation and the newest motions of the Earth's surface in the territory of Ukraine. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(4), 161—181. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i4.2019.177381> (in Russian).

- Pavlovich, N.V., Pavlovich, S.A., & Galliulin, Yu.I. (1991). *Biomagnetic rhythms*. Minsk: Publ. house «University», 136 p. (in Russian).
- Pohodzey, L.V. (2004). Hypogeomagnetic conditions as unfavorable factor of production environment. *Doctor's thesis*. Moscow, 198 p. (in Russian).
- Ptitsyna, N.G., Villoresi, J., Dorman, L.I., Yucchi, N., & Tyasto, M.I. (1998). Natural and technogenic low-frequency magnetic fields as factors potentially hazardous to health. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 168(7), 767—791 (in Russian).
- 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).
- Rozov, V.Yu., Pelevin, D.Ye., Levina, S.B. (2013). Experimental studies of the geomagnetic field attenuation in rooms. *Elektrotehnika i elektromehnika*, (6), 72—76 (in Russian).
- Serdyuk, A.M., Grigoriev, P.E., Akimenko, V.Ya., & Protas, S.V. (2010). Ecological significance of the geomagnetic field and medical-biological preconditions of hygienic regulation of its weakening in the conditions of Ukraine. *Dovkillya i zdorov'ya*, (3), 8—11 (in Ukrainian).
- Serpov, V. (2007). Influence of natural magnetic fields on human security in the areas of geophysical anomalies of the European part of Russia. Extended abstract of Doctor—s thesis. St. Petersburg (in Russian).
- Starostenko, V.I., Baran, P.I., Barshchevskiy, N. Ye., Gorlitskiy, B.A., Demchishin, M.G., Ivanchenko, E.P., Kendzera, A.V., Kobolev, V.P., Kutas, V.V., Levashov, S.P., Lyalko, V.I., Nesterenko, G.V., Omelchenko, V.D., Palienko, V.P., Rybin, V.F., Sergienko, N.T., Spitsa, R.A., Sushko, V.K., & Chernokon, V. Ya. (2001). Geology and geophysics of the environment and factors that adversely affect it. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 23(4), 3—39 (in Russian).
- Stepanyuk, L.M., Prykhodko, V.L., Kurylo, S.I., Dovbush, T.I., & Kotvitska, I.M. (2017). «Basement» of Kyiv. *Visnyk NAN Ukrainy*, (2), 54—59 (in Ukrainian).
- Tyahunov, D.S. (2011). Technogenic electromagnetic field as an environmental factor. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*, (2), 45—50 (in Russian).
- Physical factors of the working environment. Sanitary-epidemiological rules and regulations SanPiN 2.2.4.1191-03 «Electromagnetic fields and human health». (2003). Moscow, 19 p. (in Russian).
- Kholodov, Yu.A. (1966). *The influence of electromagnetic and magnetic fields on the central nervous system*. Moscow: Nauka, 126 p. (in Russian).
- Henzl, C., Kacor, J., & Palectr, J. (2006). Investigation of magnetic field in the subway station. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 5(1-2), 254—257.
- Komov, I.L. (2003). Monitoring of radon in Ukraine. *Proceedings of the International Radon Symposium. Vol. II. American Association of Radon Scientists and Technologists, Inc., October 5—8, 2003*.
- Lowes, F.J. (2009). DC railways and the magnetic fields they produce — the geomagnetic context. *Earth, Planets and Space*, 61, 1—15. <https://doi.org/10.1186/BF03352944>.
- Orlyuk, M., Romenets, A., & Orliuk, I. (2016). Natural and technogenic components of megalopolis magnetic field. *Геофиз. журн.* Т. 38. № 1. С. 78—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i1.2016.107727>.
- Orlyuk, M.I., & Romenets, A.A. (2020). Spatial-temporal change in the geomagnetic field: environmental aspect. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 4. С. 18—38. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210670>.
- Standart of Building Biology Testing methods: SBM-2008. (2008). Germany: Institut fur Baubiologie+Okologie, 5 p.
- Standard-2015 Randbedingungen: SBM-2015. Institut fur Baubiologie+Nachhaltinkeit, 18 p. Retrieved from [www.baubiologie.de](http://www.baubiologie.de).
- Shabatura, O., Vyzhva, S., Onyshchuk, D., & Onyshchuk, V. (2015). Lognormal kriging for modeling of geogenic radon potential. *XIV Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти», 11—14 травня 2015 р., Київ, Україна*.
- Yatsevskiy, P.I., & Orlyuk, M.I. (2017). Geological sources of magnetic and radon anomalies on the territory of Kyiv: *XVI<sup>th</sup> International*

*Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects. 15—17 May 2017, Kiev, Ukraine, 5 p.*

Yatsevskiy, P., Orlyuk, M., & Marchenko, A. (2017). Radioactive anomalies and their relationship with the magnetic field on the territory of Ukraine: *XI<sup>th</sup> International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes*

*and Ecological Condition of the Environment», 11—14 October 2017, Kyiv, Ukraine, 5 p.*

Yatsevskiy, P.I., Orlyuk, M.I., Marchenko, A.V. The link of radon and magnetic anomalies on the territory of Ukraine: *XVII<sup>th</sup> International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects, 14—16 May 2018, Kiev, Ukraine, 5 p.*

## Радоновые и магнитные аномалии на территории города Киева: экологический аспект

М.І. Орлюк<sup>1</sup>, І.І. Оницук<sup>2</sup>, А.А. Роменец<sup>1</sup>, А.В. Марченко<sup>1</sup>,  
П.А. Яцевский<sup>3</sup>, І.М. Орлюк<sup>1</sup>, 2021

<sup>1</sup>Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

ННИ «Институт геологии», Киев, Украина

<sup>3</sup>ПАТ «Укрнафта», Киев, Украина

Магнитные и радоновые аномальные поля представляют собой существенные геофизические факторы окружающей среды, которые в значительной степени определяют ее экологическое состояние. Выявление магнитных и радоновых аномальных зон — актуальная задача при изучении геоэкологической обстановки территории и оценке ее экологической безопасности. Наиболее опасны участки, где локализованы разломы, с которыми в верхней части разреза земной коры связаны аномалии радона. Для территории Киева рассмотрена геологическая характеристика района исследования, уточнены и дополнены схемы региональных и сопровождающих их разломов, разработаны карты модуля и аномалий модуля индукции геомагнитного поля, а также схема аномалий радона в воде и подпочвенном воздухе. Показана связь радоновых аномалий с разломами и природными магнитными полями. Она заключается в том, что радоновые аномалии в основном коррелируются с отрицательными и небольшими положительными значениями аномального магнитного поля и обусловлены развитием мощных зон трещиноватости с активной флюидно-динамической активностью и разломов диагональной и ортогональной систем, которые являются зонами выделения радона в атмосферу. Радоновые аномалии в подпочвенном воздухе, в основном, контролируются Ирпенско-Борщаговским, Пуца-Водицким, Киевским и Дарницким разломами северо-западного—северного простирания, Петровско-Пуховским и Глеваско-Броварским — северо-восточного простирания. Для некоторых станций Киевского метрополитена установлено превышение экологических норм магнитного поля и радоновых аномалий, что объясняется конструктивными особенностями строения помещений метрополитена и их расположения в зонах разломов. Показано, что радоновые аномалии стабильны в пространстве и времени, а магнитные аномалии, особенно в пределах метрополитена, характеризуются значительными изменениями магнитного поля как в низкочастотном, так и высокочастотном диапазоне их колебаний.

Совместный анализ схемы разломной тектоники, магнитных и радоновых аномалий позволит более обоснованно выделять экологически опасные зоны на территории Киева и за его пределами.

**Ключевые слова:** магнитные и радоновые аномалии, разломы, экология, метрополитен, Киев.