

М. О. Клименко, О. М. Клименко, О. О. Лебедь\*, Л. В. Клименко,  
І. І. Залеський, О. В. Варжель

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

\*Відповідальний автор: lebed739@ukr.net

## ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ВЕЛИЧИНОЮ ГУСТИНИ ПОТОКУ РАДОНУ З ҐРУНТУ

Для території області наведено характеристику домезозойських, четвертинних відкладів та ґрунтових відмін. Зону Полісся на території області представлено відкладами середньо-верхнього рифею (пісковиками), нижнього венду (туфами, базальтами). Зона Лісостепу – відкладами девону (перешарування аргілітів, алевролітів, вапняками). Ґрунти зони Полісся, що сформувалися на пухких піщаних та моренних відкладах, представлено ґрунтами дерново-підзолистими різного ступеня оглеєності. Ґрунти зони Лісостепу сформувалися на лесах і лесовидних суглинках і представлені в основному сірими лісовими опідзоленими та чорноземами малогумусними зі слідами опідзолення ґрунтами. Обґрунтовано шкалу кількісної і якісної оцінки вимушеного екологічного ризику для населення області від низького до високого рівня із значеннями густини потоку радону з ґрунту: низький – до 25 мБк/(м<sup>2</sup>·с); середній – від 25,1 до 50 мБк/(м<sup>2</sup>·с); вищий за середній від 50,1 до 75 мБк/(м<sup>2</sup>·с); високий – більше 75 мБк/(м<sup>2</sup>·с). Установлено, що у зоні Полісся 46,3 % населення зазнає низького рівня ризику, у перехідній зоні 19 % населення зазнає середнього рівня ризику, а у зоні Лісостепу 23,4 % населення зазнає вище середнього ризику та 4,6 % населення зазнає високого вимушеного екологічного ризику.

*Ключові слова:* домезозойські, четвертинні відклади, ґрунти, густина потоку радону, ризик.

### 1. Постановка проблеми

Відомо, що радон і дочірні продукти його розпаду, які віднесені до категорії канцерогенів І класу, чинять негативний вплив на здоров'я населення. Так, за даними Наукового комітету із дії атомної радіації при ООН, у світі щорічно реєструється до 20 % онкологічних захворювань органів дихання, викликаних достеменно радоновою радіацією [1 - 3]. Як стверджують науковці в Україні і країнах СНГ, високі концентрації радону у будівлях і приміщеннях, де проживають або працюють люди, спричиняють захворюваність їх на рак легенів, або впливають на розвиток онкологічних захворювань інших органів людини [4 - 8].

Первинним джерелом радону є гірські породи, що містять уран. Радон, який виділяється з гірських порід, надходить в атмосферне повітря, горизонти підземних вод, ґрунти, накопичується у підвальних приміщеннях та перших поверхах будівель і є одним з основних чинників формування радіаційного фону та опромінення живих організмів, у т.ч. людини [9].

На територіях з помірним кліматом концентрація радону в закритих приміщеннях у середньому у 7 - 9 разів вища, ніж у зовнішньому середовищі [8 - 10].

У зв'язку з цим, перед початком будівництва будь-яких об'єктів доцільно вимірювати активність радону в ґрунті, гірських породах і повітрі, а також встановлювати швидкість його надходження до приміщень.

В Україні згідно з будівельними нормами НРБУ-97 зазначається, що еквівалентна рівноважна об'ємна активність <sup>222</sup>Rn у нових приміщеннях не повинна перевищувати 50 Бк/м<sup>3</sup>, а в уже існуючих будинках 100 Бк/м<sup>3</sup>.

Однак, в Україні наразі не приділяється великої уваги встановленню радонової небезпеки від виділення радону з ґрунту та надходження його до будинків (особливо у сільській місцевості), моніторинг теж відсутній.

### 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як відомо, основним джерелом радону в глобальній атмосфері Землі є його надходження за різними оцінками з надр і з поверхні Землі (74 ТБк/рік), із поверхні морського дна (18,5 ТБк/рік), із поверхні світового океану (1,11 ТБк/рік), із родовища фосфатів (111 ТБк/рік), із хвостовищ видобутку урану (74 ТБк/рік) [8].

Основними джерелами-утримувачами радону є гірські й осадові породи, що містять <sup>238</sup>U та <sup>226</sup>Ra, а саме: вуглисті сланці тульського горизонту нижнього карбону із вмістом урану 0,002 %; вуглецево-глинисті сланці глауконітових і еолових пісків і пісковиків нижнього ордовіка із вмістом урану понад 0,005 %; карбоноутримуючі гравеліти, пісковики, алевроліти гдовського горизонту венда, що містять урану понад 0,005 %; граніти верхнього протерозою, що мають вміст урану більше 0,0035 %; калієві мікроклінові гра-

© М. О. Клименко, О. М. Клименко, О. О. Лебедь,  
Л. В. Клименко, І. І. Залеський, О. В. Варжель, 2022

ніти протерозойського-архейського віку із вмістом урану понад 0,005 % [11].

Серед процесів, що сприяють концентруванню  $^{222}\text{Ra}$  в ґрунтах, слід указати, насамперед, на наявність в них геохімічних бар'єрів та їхні водо-фізичні властивості [12].

За результатами чисельних досліджень найвищі концентрації радону було виявлено в глинистих ґрунтах і в дуже дезінтегрованих та старих гірських породах, а низькі концентрації зафіксовано в чистих вапняках і пісках. Середні значення потоку  $^{222}\text{Ra}$  з ґрунтів в атмосферу для різних регіонів світу становлять (в мБк/(м<sup>2</sup>·с)): Австрія – від 9 до 19; Франція – 15; Німеччина – від 17 до 19; Австралія – 22; Ірландія – 27; Іспанія – від 10 до 25; Індія – 3; США – від 5 до 53; Росія – від 40 до 90; Кавказ – 73; Середня Азія – 9; Литва – від 25 до 38; Японія – від 8 до 11; Нова Зеландія – 4 [13].

Слід зазначити, що підвищений вміст радону в ґрунтах може використовуватися для вирішення геологічних завдань і, насамперед, пошуку корисних копалин (урановмісних порід, нафти, гідротермальних і радонових вод) [14].

Білоруськими вченими встановлено вплив на концентрацію радону деяких розломів, доведено можливість застосування радонометричних вимірювань для прогнозування нафтових покладів [14].

Дослідженнями на острові Садо (Японія) густини потоку радону (ГПР) було підтверджено існування широтного градієнта у функції континентального джерела радону (–0,39 мБк/(м<sup>2</sup>·с) на градус широти при щільностях його потоку від 14,1 до 8,4 мБк/(м<sup>2</sup>·с) для нижньої та вищої смуг широти [15]. Вимірювання радону в ґрунтах міста Ліма (Перу) показали, що концентрація його в ґрунтовому повітрі коливалась від 0,1 до 64,3 кБк/м<sup>3</sup> із середнім значенням 5,6 кБк/м<sup>3</sup>. Наряду з цим було встановлено, що концентрація радону в ґрунтовому повітрі була майже в два рази нижча в зимовий період, ніж в інші пори року [16].

*Мета роботи* полягає в наданні характеристики території Рівненської області за величинами ГПР з ґрунту.

Для досягнення мети необхідно було виконати такі завдання:

охарактеризувати на території області домезозойські, четвертинні відклади та ґрунтові відміни; провести геоінформаційні дослідження замірів ГПР з ґрунту районів області;

обґрунтувати шкалу кількісної і якісної оцінки вимушеного екологічного ризику для жителів області.

*Об'єкт дослідження* – явище надходження радону з ґрунту та формування вимушеного екологічного ризику для населення області.

*Предмет дослідження* – показники, які характеризують явище надходження радону з ґрунту і якісну оцінку вимушеного екологічного ризику для населення області.

*Методи дослідження.* Використовувалися методи теоретичних досліджень (аналізу, синтезу, аналогій, системного аналізу, моделювання) та емпіричних досліджень (вимірювань, порівнянь, кореляційного і регресійного аналізів). Побудову картосхем здійснювали з використанням програмного продукту MapInfo Professional 11.0, а обробку експериментальних даних – з використанням програм Microsoft Excel.

Для вимірювання ГПР з ґрунту використовувався прилад «Альфарад Плюс». Дослідження проводились нашою групою в 2020 р. у 32 пунктах у 16 районах на території Рівненської області. Радіометр «Альфарад Плюс» призначений для експресних вимірювань та неперервного моніторингу об'ємної активності (ОА)  $^{222}\text{Ra}$  (діапазон:  $(1 - 2) \cdot 10^6$  Бк/м<sup>3</sup>) та  $^{220}\text{Ra}$  і кількості розпадів  $^{216}\text{Po}$  (діапазон:  $(1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2})$  імп/с) у повітрі житлових та робочих приміщень і на відкритому повітрі.

Вимірювання ГПР базується на електростатичному осадженні іонів  $^{218}\text{Po}$  із відібраної проби повітря на напівпровідниковий детектор. ГПР  $^{222}\text{Ra}$  визначається за кількістю зареєстрованих  $\alpha$ -частинок під час розпаду атомів  $^{218}\text{Po}$ , що осіли на детектор. Вимірювальна камера об'ємом 0,94 м<sup>3</sup> виготовлена у вигляді циліндра, з розміщеним усередині високовольтним електродом і герметично закрита фланцями з протилежних боків. На вхідному фланці встановлено аерозольний фільтр, а в центрі вихідного – напівпровідниковий детектор. Результат вимірювання протягом 20 хв автоматично виноситься на екран (рис. 1).

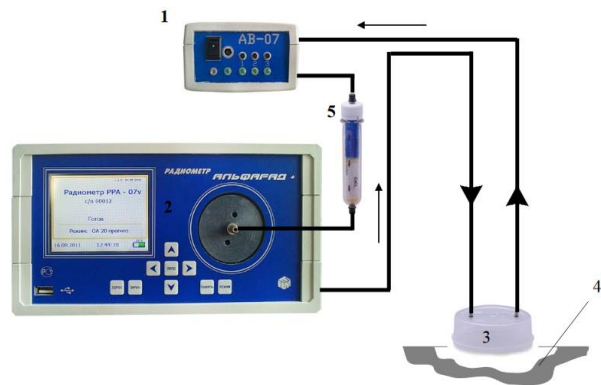


Рис. 1. Схема відбору проби повітря для визначення ГПР з ґрунту: 1 – автономна повітрорудка; 2 – блок вимірювання ОА; 3 – накопичувальна камера; 4 – ґрунт; 5 – патрон-осушувач.

### 3. Результати досліджень

За фізико-географічними умовами територію області прийнято поділяти на дві частини: північну – Полісся і південну – Лісостеп.

Північна частина займає майже 2/3 території області, є досить одноманітною рівниною, що знижується на північ, з великими масивами заболочених земель, луків, лісів, а також еолових піщаних форм.

Центральна і південна частини області більш різноманітні, характеризуються розчленованим рельєфом, чергуванням окремих невеликих височин, горбів із заболоченими низинами.

Домезозойські відклади області представлено: у зоні Полісся відкладами середнього-верхнього рифею поліської серії (пісковиками червоноколірними, пісковиками строкатими, з прошарками

алевролітів і аргілітів), відкладами ультраметаморфічного комплексу нижнього протерозою західних схилів Українського кристалічного щита (гранодіоритами, гранітами, габродіоритами, дезінтегрованими породами кори вивітрювання представленої жорстою, потужністю до 3,0 м), відкладами бабинської світи волинської серії нижнього венду (туфами базальтовими різноуламковими); у зоні Лісостепу відкладами девону (перешарування аргілітів, алевролітів, вапняків, доломітів, пісковиків, гіпсу), відкладами ордовіка та силура (доломіти щільні, вапняки, мергелі доломітові, гіпси, аргіліти).

Незначні площі в області займають відклади горбашівської світи волинської серії нижнього венду, канилівської серії верхнього венду та відклади могилів-подільської серії верхнього венду (рис. 2).

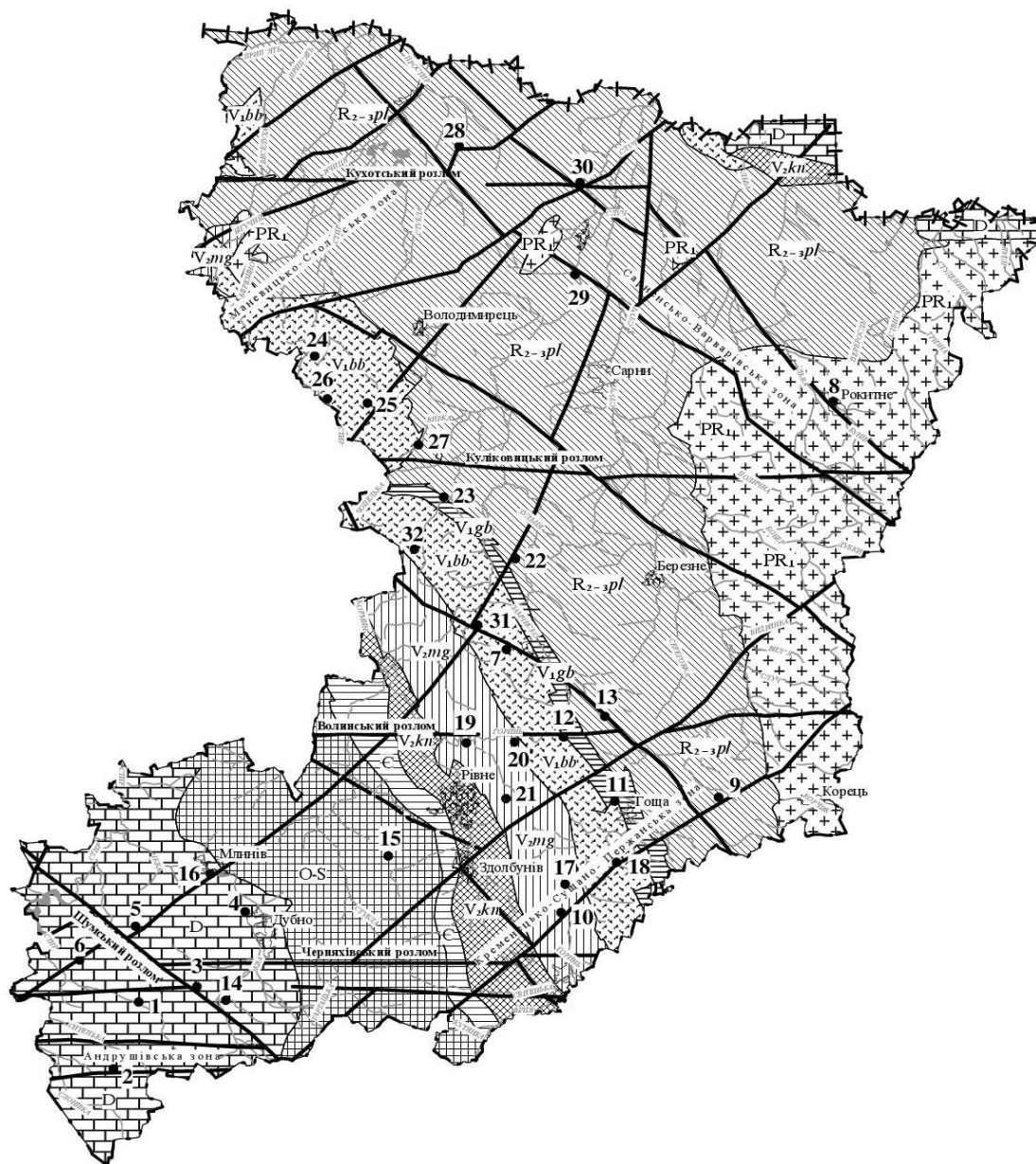


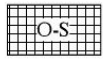
Рис. 2. Геологічна карта домезозойських відкладів Рівненської області [17].

## Умовні позначення

### Водоносні комплекси та горизонти



Відклади девону. Перешарування аргілітів, алевролітів, вапняків, доломітів, пісковиків, гіпс.



Відклади ордовіка та силура. Доломіти щільні, вапняки, мергели доломітові, гіпси, аргіліти.



Відклади нижнього кембрію. Пісковики кварцові світло-сірі з прошарками алевролітів. Аргіліти зеленувато-сірі з прошарками алевролітів і пісковиків.



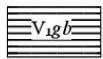
Відклади канилівської серії верхнього венду. Перешарування алевролітів і пісковиків блідо-зеленувато-сірих, аргіліти.



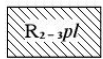
Відклади могилів-подільської серії верхнього венду. Алевроліти і аргіліти, пісковики. Вулканоміктові алевроліти, пісковики, гравеліти.



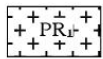
Відклади бабинської світи волинської серії нижнього венду. Туфи базальтові, різноуламкові. В середній частині товщі 1-2 базальтових потоки. Чергування базальтових потоків, лавобрекчій, туфів.



Відклади горбашівської світи волинської серії нижнього венду. Пісковики різнозернисті з прошарками аргілітів червоно-бурих з гравієм.



Відклади середнього-верхнього рифею поліської серії. Пісковики червоноколірні, пісковики строкаті, з прошарками алевролітів і аргілітів.

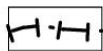


Відклади ультраметаморфічного комплексу нижнього протерозою. Гранодіорити, граніти, габродіорити, дезінтегровані породи кори вивітрювання.

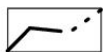
### Тектонічні зони та розломи

- а) достовірні  
 - - - б) імовірні

### Інші умовні позначення



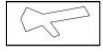
Державний кордон



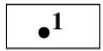
Границі областей



Річки та канали



Населені пункти



Пункти дослідження радону

Як видно з карти домезозойських відкладів, територія області перетинається зонами глибинних розломів північно-східного спрямування: Маневицько-Столинською, Стохідсько-Могилевською та Кременецько-Суцано-Пержанською.

У субширотному напрямку, на самому півдні області проходять Андрушівська та Черняхівська зони. На півночі області у діагональному спрямуванні закартована Сарненсько-Варварівська тектонічна зона.

Поодинокі глибинні розломи контролюють межі різних геоморфологічних структур або окремі структури. Так, Волинський розлом відділяє Полісся від Лісостепу. Черняхівський розлом відділяє Мале Полісся від Волинської лесової височини.

Грунтовий покрив області також має добре виражену зональність, неоднорідність і характеризується великою різноманітністю як за генезисом, гранулометричним складом, водно-фізичними властивостями, так і за родючістю (таблиця).

**Площі основних типів ґрунтів і ступінь розораності їх в області  
(за даними Рівненської філії ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»)**

Ґрунти	Площа ґрунтів			
	сільськогосподарських угідь		орних земель	
	тис. га	%	тис. га	%
Дерново-підзолисті	178,0	22	143,2	80,4
Ясно-сірі та сірі лісові	112,5	14	106,9	95,0
Темно-сірі та чорноземи опідзолені	152,3	18	145,0	95,2
Чорноземи типові	40,7	5	39,3	96,6
Дернові та чорноземи щебенюваті	36,6	4	35,2	96,2
Лучно-чорноземні	10,8	1	9,8	90,7
Лучні і чорноземно-лучні	49,9	6	18,7	37,5
Дернові	106,7	13	51,8	48,5
Болотні	93,0	11	25,9	27,8
Торфовища	33,6	4	7,5	22,3
<b>Всього:</b>	<b>936,1</b>	<b>100</b>	<b>649,4</b>	<b>69,3</b>

Ґрунти зони Полісся, переважною більшістю утворилися на пухких і бідних, в мінеральному відношенні, піщаних та моренних відкладах, характеризуються слабкою дренажною здатністю, сприяють заболочуванню значних площ цієї території. Найбільшого поширення набули у цій зоні ґрунти дерново-підзолистого типу ґрунтоутворення різного ступеня оглеєності. Ці ґрунти у зв'язку з легким гранулометричним складом характеризуються низькою вбирною здатністю, слабкою буферністю, низьким вмістом гумусу, рухомих форм азоту, фосфору і калію, підвищеною кислотністю, що і визначає низький рівень їхньої природної родючості.

У неглибоких зниженнях та заплавах річок сформувалися на різних породах дернові і лучні ґрунти, через що і гранулометричний склад їх коливається від піщаного до суглинистого. У цих ґрунтах вміст гумусу, вміст рухомих форм азоту, фосфору і калію дещо вищий, ніж у дерново-підзолистих ґрунтах, а реакція ґрунтового розчину в більшості випадків середньоокисла.

Ґрунти зони Лісостепу сформувалися на лесах і лесовидних суглинках і представлені в основному сірими лісовими опідзоленими та чорноземами малогумусними зі слідами опідзолення ґрунтами. Значно менші площі у цій зоні займають чорноземи неглибокі та глибокі малогумусні, а також чорноземи вилуговані. Характерною ознакою цих ґрунтів є те, що в них закумуляовані значні запаси гумусу, досить високі запаси рухомих форм фосфору і калію. Реакція ґрунтового розчину від середньоокисної до слаболужної.

Гранулометричний склад цих ґрунтів від легкосуглинкового до важкосуглинкового. На територіях частини Здолбунівського, Дубенського, Острозького і Радивилівського районів сформувалися ґрунти на продуктах вивітрювання карбонатних порід, а саме: дернові та чорноземні. Ці ґрунти, як правило, закарбонатовані по всьому профілю.

У результаті досліджень встановлено, що показники ГПР коливаються у достатньо широких межах: від 1,0 до 499 мБк/(м<sup>2</sup>·с). Найнижчі значення ГПР з поверхні було виявлено в ґрунтах зони Полісся від 1,0 до 22 мБк/(м<sup>2</sup>·с) за винятком ґрунтів Рокитнівського району, що сформувалися на гранітах і гранодіоритах, перекритих піщаними відкладами. Величина ГПР дерново-підзолистих ґрунтів цього району досягає значень 56 мБк/(м<sup>2</sup>·с). У зоні Лісостепу показники ГПР коливаються в межах від 51 до 89 мБк/(м<sup>2</sup>·с). За винятком сірих лісових ґрунтів, населених пунктів Козин та Демидівка, в яких величина ГПР досягала значень 474 і 499 мБк/(м<sup>2</sup>·с) відповідно. На межі розмежування зон Полісся і Лісостепу ГПР з дернових, дерново-підзолистих ґрунтів становить від 21 до 22 мБк/(м<sup>2</sup>·с), а з чорнозему опідзоленого до 40 мБк/(м<sup>2</sup>·с), який сформувався на туфах базальтових, перекритих супіщаними відкладами (див. рис. 2).

Одночасно було встановлено, що відносно високий вміст радону у ґрунтах тяжіє до ділянок перетину розломів смт Демидівка, пункт № 5 – 499 мБк/(м<sup>2</sup>·с), Шепетівського і Східного розломів, що обмежує Стохідсько-Могилівську зону. У зоні перетину Шепетівського та Черняхівського розломів знаходиться с. Птиче, пункт № 3 – 73 мБк/(м<sup>2</sup>·с). У зоні впливу Черняхівського розлому с. Козин, пункт № 1 – 474 мБк/(м<sup>2</sup>·с), а у Андрушівській зоні с. Крупець, пункт № 2 – 89 мБк/(м<sup>2</sup>·с). Перераховані пункти визначення ГПР з ґрунтів знаходяться у полі розвитку девонських відкладів, які представлені перешаруванням аргілітів та алевролітів, в яких накопичуються радіоактивні елементи, внаслідок розпаду яких утворюється радон, де сучасний ґрунтовий покрив сформувався на лесовидних суглинках.

За виділенням радону з ґрунтів Рівненську область можна поділити на чотири зони: полісь-

ку – північно-західну; зону виходу кристалічних порід Українського кристалічного щита – північно-східну; перехідну – між Поліссям і Лісостепом; Лісостепову – південно-західну.

У поліській зоні показники ГПР з дерново-підзолистих, дерново-глеєвих, лучних ґрунтів змінювалися в діапазоні від 1 до 20 мБк/(м<sup>2</sup>·с). Тоді як у зоні виходу кристалічних порід показник ГПР з дерново-підзолистих ґрунтів зріс до значень 56 мБк/(м<sup>2</sup>·с).

У перехідній зоні, яка представлена уступом лесовидного плато, а у глибинному відношенні контролюється субширотним розломом величини ГПР, зростають з дерново-підзолистих, дерново-лучних ґрунтів до значень від 22,0 до 44 мБк/(м<sup>2</sup>·с).

Високі показники ГПР було виявлено у лісостеповій зоні в ґрунтах, сформованих на суглинкових породах, а саме: сірих лісових ґрунтах – 55 - 66 мБк/(м<sup>2</sup>·с); чорноземах опідзолених слабозмитих – 79 мБк/(м<sup>2</sup>·с); торфяниках – 73 мБк/(м<sup>2</sup>·с); дерново-щебенюватих – 89 мБк/(м<sup>2</sup>·с). При цьому слід зазначити, що величини ГПР корелюють значною мірою не лише з типами ґрунтів, але і з літологією домезозойських порід. Так, на відкладах венду (туфах базальтових) у Поліссі і Лісостепу сформувалися дерново-підзолисті ґрунти, з поверхні яких еманується до 22 мБк/(м<sup>2</sup>·с) радону, із лучних – до 18 - 20 мБк/(м<sup>2</sup>·с), із чорноземів типових малогумусних – до 28 мБк/(м<sup>2</sup>·с).

Найвища ГПР 499 мБк/(м<sup>2</sup>·с) була виявлена у смт Демидівка та 474 мБк/(м<sup>2</sup>·с) у с. Козин Радивилівського району. Літологія смт Демидівка та с. Козин представлена девонськими відкладами (перешарування аргілітів, алевролітів, пісковиків), перекритих лесовими четвертинними породами і крейдовими, на яких сформувалися темно-сірі лісові і сірі лісові ґрунти. Причиною високої еманції радону в цих пунктах може бути формування потужних зон аерації в геологічних структурах внаслідок зниження динамічних рівнів підземних вод, зокрема повне зневоднення лесового покриву та значної товщі крейдових відкладів, у якій радон внаслідок нерозчинення у воді накопичується у великих кількостях та надходить на поверхню ґрунтів.

Поряд з цим, нами були проведені дослідження з визначення вимушеного екологічного ризику для населення області. Кількісну і якісну оцінку вимушеного екологічного ризику для населення області визначали за шкалою, розробленою нами і апробованою для території м. Рівне [18 - 22].

За даними вимірювань ГПР з поверхні ґрунтів близько третина території м. Рівне характеризується величинами еманції радону, що перевищують будівельні норми (80 мБк/(м<sup>2</sup>·с)). Найвищі значення ГПР у 2019 р. були виявлені в районі вул. Кобзарської між вул. Центральної Ради та вул. Бориса Степанишина, а також у районі вул. Карнаухова та парку «Пагорб Слави» [23].

На підставі визначення величин ГПР з ґрунту на 48 тест-полігонах міста та даних смертності населення від раку легенів нами була розроблена шкала кількісної і якісної оцінки вимушеного екологічного ризику для жителів міста, а саме: низького ризику при ГПР від 0 до 25 мБк/(м<sup>2</sup>·с); середнього ризику при ГПР від 25,1 до 50 мБк/(м<sup>2</sup>·с); вищого за середній ризик при ГПР від 50,1 до 75 мБк/(м<sup>2</sup>·с); високого ризику при ГПР з поверхні ґрунту вище за 75 мБк/(м<sup>2</sup>·с).

На підставі застосування цієї шкали територія області за рівнем вимушеного екологічного ризику поділяється на зони від низького ризику до високого ризику (рис. 3).

Як видно з картосхеми 46,3 % населення, яке проживає у зоні Полісся, за винятком Рокитнівського району, та мешкає на території 52,1 % від площі районів, зазнає низького вимушеного ризику. У перехідній зоні 19 % жителів, що мешкають на 12,8 % площі районів зазнають середнього вимушеного ризику, а у зоні Лісостепу 23,4 % жителів, що проживають на 19,6 % площі районів зазнають вищого від середнього вимушеного екологічного ризику.

Найвищі рівні вимушеного екологічного ризику були встановлені: вищий від середнього – у зоні Полісся для жителів Рокитнівського району з населенням 6,7 %, що мешкає на території 11,8 % площі районів; високий – у зоні Лісостепу для жителів Радивилівського району з населенням 4,6 %, що мешкає на території 3,7 % площі районів.

Виникає потреба розробки заходів зі зниження екологічного радонового ризику для населення області. Доведено, що контроль показників радонового ризику доцільно здійснювати за ГПР з ґрунту на територіях, де функціонує, або планується житлова забудова.

Рекомендується використовувати оптимальні технічні рішення або поєднання їх для будинків, що вже експлуатуються, а саме: за низького надходження ГПР з ґрунту (до 25 мБк/(м<sup>2</sup>·с)) – природна вентиляція підвальних приміщень, вентиляційні отвори в цокольних стінах; за середнього надходження ГПР з ґрунту (від 25 до 50 мБк/(м<sup>2</sup>·с)) – провітрювання приміщень, покриття монолітною (суцільною) плитою, захисний шар з цементно-піщаного розчину; за ви-

щого від середнього надходження ГПР з ґрунту (від 50 до 75 мБк/(м<sup>2</sup>·с)) – природна витяжка ґрунтового газу, герметизація швів, щілин, стиків

і комунікаційних отворів, ізоляція підлоги першого поверху та підвалу за допомогою мембран.

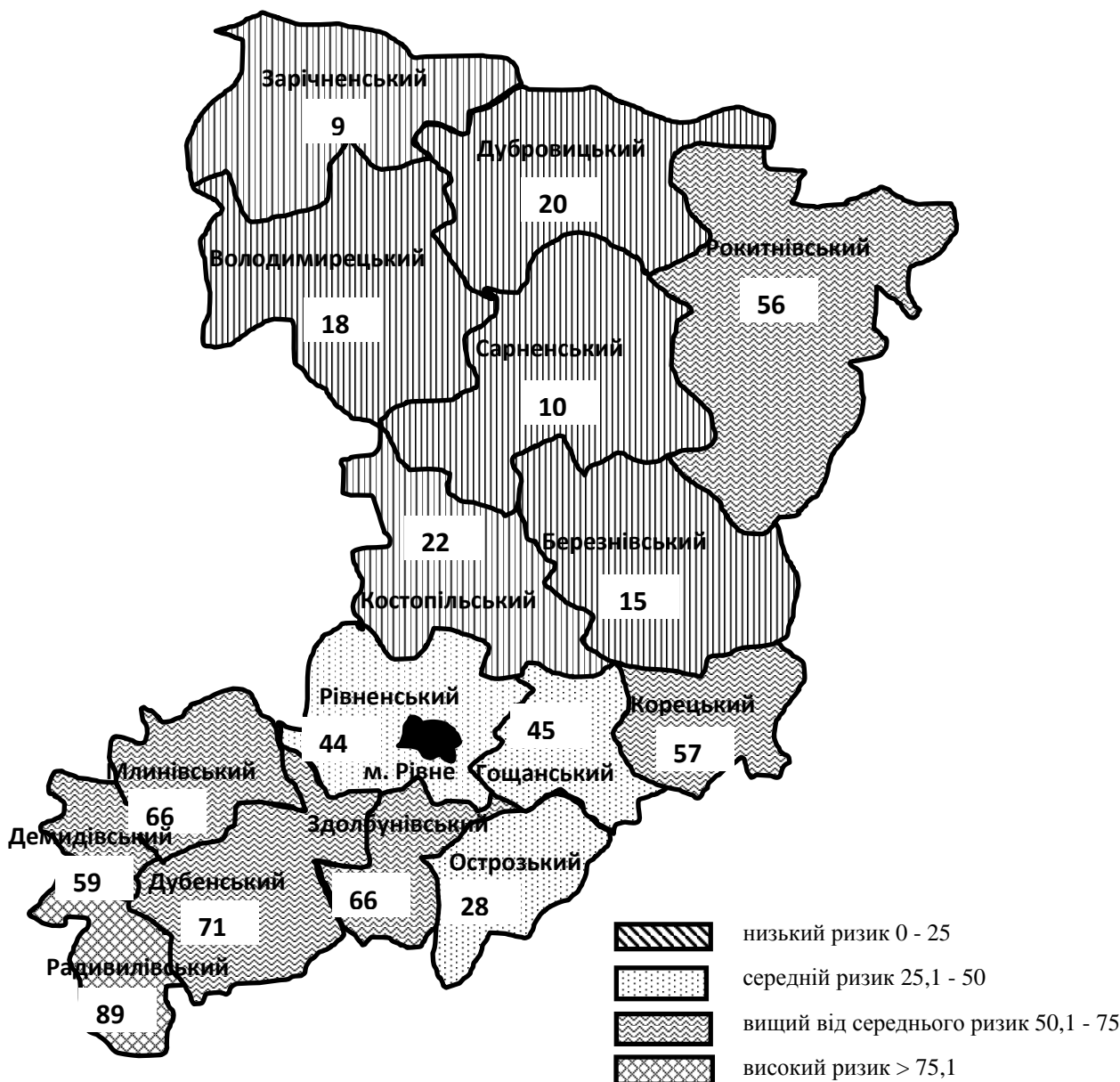


Рис. 3. Картохема оцінки вимушеного екологічного ризику для населення області за показником ГПР з поверхні ґрунтів, мБк/(м<sup>2</sup>·с).

#### 4. Висновки

1. Домезозойські відклади області представлено у зоні Полісся відкладами середнього-верхнього рифею поліської серії (пісковиками червоноколірними, пісковиками строкатими з прошарками алевролітів і аргілітів), а у зоні Лісостепу відкладами девону (перешарування аргілітів, алевролітів, вапняків, доломітів, гіпсу) та відкладами ордовіка і силура (доломітами, вапняками, мергелями доломітовими, гіпсами, аргілітами), що перетинаються зонами глибинних розломів і обумовлюють різну еманіацію радону з поверхні ґрунтів, а саме: на територіях поліських

районів – від 10 до 22 мБк/(м<sup>2</sup>·с); у перехідній зоні – від 28 до 45 мБк/(м<sup>2</sup>·с); на територіях лісостепових районів – від 57 до 71 мБк/(м<sup>2</sup>·с) та 89 мБк/(м<sup>2</sup>·с).

2. Обґрунтовано шкалу кількісної і якісної оцінки вимушеного екологічного ризику для населення області від низького до високого рівнів за показниками ГПР з поверхні дерново-підзолистих, сірих лісових, чорноземних ґрунтів, а саме: низького – до 25 мБк/(м<sup>2</sup>·с); середнього – від 25,1 до 50 мБк/(м<sup>2</sup>·с); вищого за середній – від 50,1 до 75 мБк/(м<sup>2</sup>·с); високого – більше 75,1 мБк/(м<sup>2</sup>·с).

3. Установлено, що 46,3 % населення, яке проживає у зоні Полісся на території 52,1 % від площі районів, зазнає низького рівня вимушеного екологічного ризику. У перехідній зоні від Полісся до Лісостепу 19 % населення, що мешкає на 12,8 % площі районів, зазнають середнього вимушеного екологічного ризику, а у зоні Лісостепу 23,4 % населення, що проживає на 19,6 % площі

районів, зазнають вищого від середнього вимушеного екологічного ризику. Найвищі рівні вимушеного екологічного ризику було виявлено: вищого від середнього для Рокитнівського району у зоні Полісся для населення 6,7 %, що мешкає на території 11 % і високого рівня Радивилівського району у зоні Лісостепу для населення 4,6 %, що мешкає на території 3,7 % площі районів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. *Annals of the ICRP* 40(1) (2010) 68 p.
2. Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters. ICRP Publication 50. *Annals of the ICRP* 17(1) (1987) 70 p.
3. О.О. Лебедь та ін. Вплив радону на онкологічну захворюваність населення, порівняльний аналіз окремих регіонів України та Франції. *Ukrainian Journal of Ecology* 8(1) (2018) 585.
4. П.Н. Диденко. Экологические аспекты воздействия радона на население. Техногенно-экологична безпека та цивільний захист 6 (2011) 72.
5. М.Ю. Калинин. Природные радионуклиды и здоровье населения. В кн.: Сб. докл. междунар. науч. конф. «Европа – наш общий дом: Экологические аспекты», Минск, Беларусь, 6 - 9 декабря 1999 г. (Минск, 2000) с. 261.
6. М.Ю. Калинин. Радонопроявление и здоровье населения. В кн.: *Современные геологические процессы* (Минск, 1998) с. 43.
7. Л.В. Липницкий, Е.В. Костицкая. Оценка медицинских последствий при облучении дочерними продуктами распада радона населения Могилевской области. *Агроэкология* 1 (2004) 100.
8. О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук, О.А. Андреев. *Радон: моніторинг та геоекологічний аналіз його впливу на екосистему міста Рівного* (Рівне: Рівненська Мала академія наук учнівської молоді, 2017) 208 с.
9. *Екологічна енциклопедія*: у 3 т. А.В. Толстоухов (гол. ред.). Т. О - Я (К.: ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2008) 472 с.
10. И.Л. Комов и др. *Основные проблемы радоновой безопасности* (К.: Логос, 2005) 351 с.
11. М.Н. Левин и др. *Радон*. Учеб. пос. (Воронеж: Издат.-полиграф. центр ВГУ, 2007) 41 с.
12. Д.М. Гродзинский. *Естественная радиоактивность растений и почв* (К.: Наук. думка, 1965) 216 с.
13. Е.В. Березина. Приземные концентрации и потоки радона-222 на территории России и оценки биогенных эмиссий углекислого газа, метана и сухого осаждения озона. Дис. канд. физ.-мат. наук (Москва: Ин-т физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 2014) 136 с.
14. А.В. Матвеев. Радоновые аномалии в почвенном воздухе на территории Беларуси. *Літасфера* 1(44) (2016) 81.
15. A.G. Williams et al. Estimating the Asian radon flux density and its latitudinal gradient in winter using ground-based radon observations at Sado Island. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 61(5) (2009) 732.
16. L.L. Vilcapoma et al. Measurement of radon in soils of Lima City - Peru during the period 2016-2017. *Earth Sciences Research Journal* 23(3) (2019).
17. *Тектонічна карта України*. Ч. 1. За ред. Д.С. Гурського, С.С. Круглова (К.: Український державний геологорозвідувальний інститут, 2007) 135 с.
18. О.О. Lebed et al. Determination of oncological disease risks caused by radon in urban ecosystems of Rivne. *Ukrainian Journal of Ecology* 8(4) (2018) 175.
19. О.О. Лебедь. Густина потоку радону з ґрунту як показник екологічного ризику території. В кн.: Зб. статей наук.-практ. конф. «Екологічна наукова діяльність: в концепції сталого розвитку», Житомир, 4 грудня 2018 р. (Житомир: Укрекобін-окон, 2018) с. 184.
20. О.О. Lebed et al. Radon ecology danger and the ways of its minimization in Rivne City (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology* 9(2) (2019) 43.
21. О.О. Lebed et al. Radon exposure and lung cancer: analysis of risk for residents of Rivne City (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology* 9(4) (2019) 552.
22. О.О. Lebed et al. Probability of radon cancer occurrence in Rivne city residents (Ukraine), calculation by WISMUT and Radon-2014 models. *Ukrainian Journal of Ecology* 10(2) (2020) 240.
23. О.О. Лебедь та ін. Оцінка радонової екологічної небезпеки для жителів міста західного регіону України. *Ядерна фізика та енергетика* 22(4) (2021) 390.



**M. O. Klymenko, O. M. Klymenko, O. O. Lebed\*, L. V. Klymenko,  
I. I. Zaleskiy, O. V. Varzhel**

*National University of Water Management and Nature Resources, Rivne, Ukraine*

\*Corresponding author: lebed739@ukr.net

**CHARACTERISTICS OF THE TERRITORY OF THE RIVNE REGION  
ACCORDING TO THE VALUE OF RADON FLUX DENSITY OUT OF THE SOIL**

This article presents features of pre-Mesozoic Quaternary sediments and soil variations for the territory of the region. Middle-Upper Riphean sediments (sandstones) of the Lower Vendus (tuffs, basalts), represent the Polissia zone on the territory. The Lisostep zone is represented by Devonian sediments (interlayers of argillites, siltstones, and limestones). The soils of the Polissia area formed the mellow sand and moraine deposits and represent the soddy podzolic of the different levels of soil gleying. The soils of Lisostep formed less and loamy soils and they represent mainly grey forest podzolic and low humus chernozem with the marks of soil podzolization. The scale of quantitative and qualitative estimation of constrained ecological risk for the region population is set from lower to a high level with the value of radon current density out of the soil from 0 to 25 mBq/(m<sup>2</sup>·s), medium – from 25.1 to 50 mBq/(m<sup>2</sup>·s), higher than medium from 50.1 to 75 mBq/(m<sup>2</sup>·s), higher than 75 mBq/(m<sup>2</sup>·s). Notably, in the Polissia area, 46.3 % of the population suffers from a medium level of risk and in the area of Lisostep, 23.4 % of the population suffers from higher than medium risk and 4.6 % suffers from high-constrained ecological risk.

*Keywords:* pre-Mesozoic, Quaternary sediments, soils, radon flux density, risk.

REFERENCES

1. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. *Annals of the ICRP* 40(1) (2010) 68 p.
2. Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters. ICRP Publication 50. *Annals of the ICRP* 17(1) (1987) 70 p.
3. O.O. Lebed et al. Effect of Radon on oncological morbidity of the population: comparative analysis of some regions of Ukraine and France. *Ukrainian Journal of Ecology* 8(1) (2018) 585. (Ukr)
4. P.N. Didenko. Ecological aspects of the radon impact on the population. *Tekhnohennno-Ekolohichna Bezpeka ta Tsyvilnyy Zakhyst* 6 (2011) 72. (Rus)
5. M.Yu. Kalinin. Natural radionuclides and public health. In: Proc. of the Int. Scie. Conf. "Europe is our Common Home: Ecological Aspects", Minsk, Belarus, December 6 - 9, 1999 (Minsk, 2000) p. 261. (Rus)
6. M.Yu. Kalinin. Radon manifestation and public health. In: *Modern Geological Processes* (Minsk, 1998) p. 43. (Rus)
7. L.V. Lipnitsky, E.V. Kostitskaya. Assessing the medical consequences of irradiation by radon daughters decay of the population of the Mogilev region. *Agroekologiya* 1 (2004) 100. (Rus)
8. O.O. Lebed, V.O. Muslinchuk, O.A. Andreev. *Radon: Monitoring and Geoecological Analysis of its Impact on the Ecosystem of the City of Rivne* (Rivne: Rivne Small Academy of Sciences for Students, 2017) 208 p. (Ukr)
9. Ecological encyclopedia: in 3 vols. A.V. Tolstoukhov (chief editor). Vol. O - Ya (Kyiv: Center for Environmental Education and Information LLC, 2008) 472 p. (Ukr)
10. I.L. Komov et al. *Main Problems of Radon Safety* (Kyiv: Logos, 2005) 351 p. (Rus)
11. M.N. Levin et al. *Radon*. Tutorial (Voronezh: Publishing and Printing Center of Voronezh State University, 2007) 41 p. (Rus)
12. D.M. Grodzinsky. *Natural Radioactivity of Plants and Soils* (Kyiv: Naukova Dumka, 1965) 216 p. (Rus)
13. E.V. Berezina. *Surface concentrations and fluxes of radon-222 on the territory of Russia and estimates of biogenic emissions of carbon dioxide, methane and dry ozone deposition*. Thesis of the Candidate of Physics and Mathematics Sciences (Moskva: A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, 2014) 136 p. (Rus)
14. A.V. Matveev. Radon anomalies in the soil air in Belarus. *Litasfera* 1(44) (2016) 81. (Rus)
15. A.G. Williams et al. Estimating the Asian radon flux density and its latitudinal gradient in winter using ground-based radon observations at Sado Island. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 61(5) (2009) 732.
16. L.L. Vilcapoma et al. Measurement of radon in soils of Lima City - Peru during the period 2016-2017. *Earth Sciences Research Journal* 23(3) (2019).
17. *Tectonic Map of Ukraine*. Part 1. D.S. Gursky, S.S. Kruglova (Eds.) (Kyiv: Ukrainian State Geological Exploration Institute, 2007) 135 p. (Ukr)
18. O.O. Lebed et al. Determination of oncological disease risks caused by radon in urban ecosystems of Rivne. *Ukrainian Journal of Ecology* 8(4) (2018) 175.
19. O.O. Lebed. The density of the radon flow from the soil as an indicator of the ecological risk of the territory. In: Proc. of the Scientific-Practical Conf. "Ecological Scientific Activity: in the Concept of Sustainable Development", Zhytomyr, December 4, 2018 (Zhytomyr: Ukrekiobikon, 2018) p. 184. (Ukr)
20. O.O. Lebed et al. Radon ecology danger and the ways of its minimization in Rivne City (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology* 9(2) (2019) 43.
21. O.O. Lebed et al. Radon exposure and lung cancer: analysis of risk for residents of Rivne City (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology* 9(4) (2019) 552.
22. O.O. Lebed et al. Probability of radon cancer occurrence in Rivne city residents (Ukraine), calculation by WISMUT and Radon-2014 models. *Ukrainian Journal of Ecology* 10(2) (2020) 240.
23. O.O. Lebed et al. Radon environmental hazard assessment for residents of the city of the Western region of Ukraine. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 22(4) (2021) 390. (Ukr)

Надійшла/Received 03.11.2021