



радону (ГПР) з поверхні ґрунту від низки об'єктивних факторів [1-3]:

- а) метеорологічних – температури, атмосферного тиску, опадів, швидкості вітру;
- б) кліматичних – сезонних змін густини потоку радону (ГПР);
- в) просторово-часових – одночасного вимірювання ГПР в різних географічних зонах;
- г) біотичних – зміна структури ґрунтів біологічними організмами як фактора впливу на ГПР.

В останній час в зв'язку з прийняттям низки документів світових організацій, в яких формулюються нові жорсткіші умови щодо радіаційного забруднення територій проживання в Європі, прописаних в Council Directive 2013/59/EURATOM [4], інтерес представляє вивчення радонових полів міст з великим скупченням населення, розташованих на платформних територіях, які характеризуються спокійною геодинамічною обстановкою. Ця директива повинна бути втілена в національних законодавствах країн-членів ЄС до лютого 2018 року, і випишує перші кроки для вирішення загальної проблеми впливу експозиції радону на глобальний стан здоров'я населення Європи. Як відомо, за рахунок радону людина отримує більше половини щорічної ефективної дози від природної радіоактивності, а дихання повітрям з радоном є другою причиною захворювання на рак легенів після паління. Тому заходи, передбачені [4], включають жорсткий контроль за будівництвом та експлуатацією будинків (особливо дошкільного, шкільного виховання та медичного призначення) відносно ГПР з ґрунту під ними та об'ємної активності (ОА) радону в них.

**Аналіз останніх досліджень.** На сьогодні, можна стверджувати, що поле густини потоку радону платформних територій має дискретну просторову структуру і підрозділяється на фонову і аномальну складові [5]. Фонова складова ГПР з ґрунту залежить від двох груп змінних. Перша з них пов'язана з якісними характеристиками ґрунту, з яких найсуттєвішими є питома активність (ПА) Радію-226 в ґрунті, коефіцієнти еманування і дифузії. Дані параметри слабко змінюються в межах окремої ділянки забудови (наприклад, під будівництво житлового будинку). Друга група – це параметри, пов'язані з кліматичними і погодними умовами, серед яких найбільш істотний вплив на зміну величини ГПР здійснюють температура навколишнього повітря, атмосферний тиск, вологість ґрунту. Ці параметри постійно змінюються в часі [6]. Радонові аномалії приурочені до геодинамічних активних зон і пов'язані з аномальними деформаціями приповерхневих ґрунтів.

За результатами досліджень найвищі концентрації радону зафіксовано в глинистих ґрунтах і в дуже зруйнованих і старих гірських породах. Низькі концентрації радону спостерігаються у чистих вапняках і пісках.

Значення величини ексхалції в залежності від типу і стану ґрунту представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Ексхалція радону з підстилаючих поверхонь різних типів

| <i>Тип поверхонь еманування</i>             | <i>ГПР, мБк/(м<sup>2</sup> · с)</i> |
|---|-------------------------------------|
| Сучасні відкладення (ґрунти, піски, глини)  | 1,85 - 11,1                         |
| Різні типи гранітів*                        | 18,5 - 111                          |
| Зони, які містять вторинні уранові мінерали | 3700 - 11100                        |
| Водні поверхні                              | $< 3,7 \cdot 10^{-3}$               |

\* – у місцях з вищою радіоактивністю ґрунту, наприклад, у районах виходу гранітів, вміст радону в повітрі і ГПР з поверхонь помітно підвищується.

**Постановка завдання.** В зв'язку з нагальною актуальністю радонових заходів в європейському контексті було сформульовано мету даних досліджень, що передбачала проведення польових досліджень густини потоку Радону-222 з ґрунтів м. Рівне (Україна).

**Об'єкт дослідження:** показники густини потоку Радону-222 з ґрунтів м. Рівне.

**Предмет дослідження:** зразки повітря, що надходить за рахунок ексхаляції Радону-222 з ґрунтів м. Рівне.

Комплекс завдань, які стояли перед науково-дослідницькою роботою зводився до наступних:

1. Скласти карту тест-полігонів м. Рівне і розробити план експериментальних досліджень.
2. Провести дослідження з визначення показників густини потоку Радону-222 з ґрунтів м. Рівне.
3. За результатами досліджень встановити шкалу радоннебезпеки ґрунтів м. Рівне відносно вибраних тест-полігонів.

**Методика досліджень.** Територію м. Рівне було розділено на 48 тест-полігонів, в кожному з яких було проведено вимірювання ГПР в трьох точках (в кожній точці по 7 разів з подальшим усередненням), всього – 144 вимірювання в весняно-літні періоди 2016 та 2017 років.

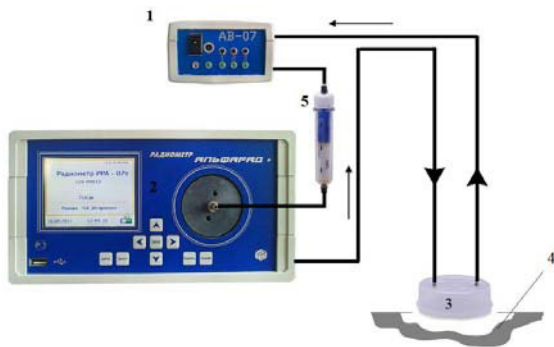


Рис. 1. Схема відбору проби повітря для визначення густини потоку радону:

- 1 – автономна повітродувка;
- 2 – блок вимірювання ГПР;
- 3 – накопичувальна камера;
- 4 – ґрунт; 5 – патрон-осушувач

Вимірювання проводили за допомогою електронного вимірювального радонметра «Альфарад Плюс», який працює за принципом електростатичного осадження іонів  $Po-218$  (продукту розпаду  $Rn-222$ ) на напівпровідниковий детектор та наступну альфа-спектроскопію (рис. 1).

**Результати досліджень.** В табл. 2 та на гістограмі (рис. 2) представлено результати визначення густини потоку радону з ґрунтів міста Рівне. Виміряні значення ГПР знаходяться у достатньо широких межах: від  $16 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  до  $173 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Таблиця 2

Значення густини потоку радону (ГПР, в  $\text{мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) з ґрунтів міста, кількість точок відбору та частота повторення значень, що попадають в даний діапазон ГПР

| ГПР                     | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 | 100-120 | 120-140 | 140-160 | 160-180 |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Кількість точок відбору | 10   | 23    | 42    | 21    | 16     | 12      | 9       | 6       | 5       |
| Частота повторення      | 0,07 | 0,16  | 0,30  | 0,15  | 0,11   | 0,08    | 0,06    | 0,04    | 0,03    |

Очевидно, розподіл частоти потрапляння виміряного значення ГПР у відповідний діапазон носить логнормальний характер. За отриманими значеннями було розраховано статистичні характеристики, представлені в таблиці 3.

Статистика ГПР (в  $\text{мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) з ґрунтів м. Рівне

| Тип визначення | К-сть | Ар. середнє | Геом. середнє | Середнє квадр. відхилення | Медіана | Макс | Мін |
|----------------|-------|-------------|---------------|---------------------------|---------|------|-----|
| ГПР з ґрунтів  | 144   | $70 \pm 7$  | 60            | 41                        | 62      | 173  | 16  |

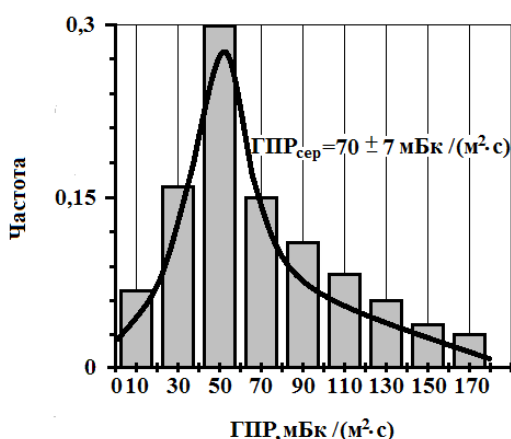


Рис. 2. Частота попадання значень густини

підтверджується дослідженнями ОА радону в підвальних, напівпідвальних приміщеннях та приміщеннях перших поверхів житлових будинків [7-8]. Отримана статистика свідчить, що потоки радону з ґрунтів міста є порівняними з загальноновизнаними радонебезпечними зонами світу, такими як Кавказ, Іркутська обл., Татарія, Красноярський край (Росія), Іллінойс (США).

#### Список використаних джерел:

- Mullerova M., Holy K., Blahusiak P., Bulko M. (2018). Study of radon exhalation from the soil. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 315(2), P. 237–241. doi: [10.1007/s10967-017-5657-4](https://doi.org/10.1007/s10967-017-5657-4).
- Mazur J. & Kozak K. (2014). Complementary system for long term measurements of radon exhalation rate from soil. Review of Scientific Instruments. 85(2), № 022104. doi: [10.1063/1.4865156](https://doi.org/10.1063/1.4865156).
- Yang J.M., Buchsteiner M., Salvamoser J., Irlinger J., Guo Q.J., Tschiersch J. (2017). Radon Exhalation from Soil and its Dependence from Environmental Parameters. Radiation Protection Dosimetry. 177(1-2), P. 21-25. doi: [10.1093/rpd/ncx165](https://doi.org/10.1093/rpd/ncx165).
- Council of the European Union. (2014). Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. Brussels: O. J. EU. Available from: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/65527fd1-7f55-11e3-b889-01aa75ed71a1/language-en/> Accessed on 25.12. 2017.
- Микляев П. С. Влияние природных факторов на плотность потока радона из грунта / П. С. Микляев, Р. С. Зиангиров // Труды III- й Международной конференции «Сергеевские чтения - 2001». – 2001.
- Рогалис В. С. Исследования влияния временных и погодных условий на потоки радона на строительных площадках г. Москвы / В. С. Рогалис, С. Г. Кузьмич, О. Г. Подольский // Аппаратура и новости радиационных измерений (АНРИ). – 2001. – № 4(27). – С. 57–61.
- Klimenko M. O. & Lebed O. O. (2017) Investigation of Radon Volumetric Activity of the Interior Apartment Air in Rivne. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 3(104), 124–129.
- Lebed O. O., Klimenko M. O., Lysytsya A. V., Myslinchuk V. O. (2018) Effect of Radon on oncological morbidity of the population: comparative analysis of some region of Ukraine and France (Web of Science), Ukrainian Journal of Ecology, 8(1). 585–595. doi: [10.15421/2017\\_253](https://doi.org/10.15421/2017_253)