

# ОЦІНКА РАДОНОНЕБЕЗПЕКИ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЧАСТИНИ ПЕЧЕРСЬКОГО РАЙОНУ КИЄВА

**ДІДЕНКО П.** Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України

**МАКАРЕНКО М.** Кандидат геолого-мінералогічних наук, головний гідрогеолог КП «Кіровгеологія»

**КУПЕНКО І.** Провідний геофізик НТЦ Інституту фундаментальних досліджень Української наукової асоціації

*По данным радиоэкологических исследований путем проведения эманиционной съемки на территории г. Киева определены фоновые и аномальные уровни объемной активности радиоактивных газов в почвенном воздухе. Выяснено, что повышенные и аномальные уровни объемной активности этих газов формируются разломными зонами, в пределах которых могут создаваться опасные условия в домах, расположенных над этими зонами. Детально изучена площадь приднепровской части Печерского района г. Киева, которую по уровню объемной активности радона и торона можно разделить на две части: восточную – радоно- и торонобезопасную и центрально-западную, напротив – опасную, что связано с обнаруженной нами субмеридиональной радоно-торононосной зоной, которая существует благодаря наличию в недрах разломной зоны аналогичного направления.*

*Background and anomalous levels of volume activity of radioactive gases in soil air were defined from the data of radioecological researches conducted by means of emanation survey on the territory of Kyiv. It was found that the higher and anomalous levels of volume activity of these gases are formed by fracture zones within the limits of which dangerous conditions may be formed for the inhabitants of the houses constructed above the zones. The area of the Prydniprovsk part of Pechersk district of Kyiv has been researched in detail. Based on the levels of volume activity of radon and thoron this area is divided into two parts: the eastern part is radon-thoronsafe while the central and western ones, on the contrary, are dangerous. We think that it is connected with the submeridional radon-thoron-bearing zone which exists due to presence of the fracture zone of the similar direction in the bowels.*

**Ключові слова:** радон, радононебезпека, об'ємна активність, Київ.

**Ключевые слова:** радон, радоноопасность, объемная активность, Киев.

**Keywords:** radon, radon-dangerous, volumetric activity, Kyiv.

## Вступ

Проблема оцінки радононебезпеки населення в будівлях актуальна для України. Вона успішно розв'язується, зокрема в Чехії і Швеції. В цих та інших країнах працюють державні радонові програми, відповідно до яких виконуються дослідження з оцінки радононебезпеки і вживаються заходи з мінімізації впливу радону на здоров'я населення.

В Україні цілеспрямоване вивчення цієї проблеми розпочали в останні роки. Важливою складовою згаданих вище програм є оцінка радонового ризику в населених пунктах і на ділянках для житлової забудови [2]. Визначення радонового ризику базується на оцінках як рівнів об'ємної активності радону в ґрунтовому повітрі, так і щільності потоку радону з поверхні ґрунту.

Проблема достовірної оцінки радононебезпеки для жителів населених пунктів, зокрема районів

м. Києва, є нагальною. Київ розташований на території, 70% якої характеризується наявністю в надрах гранітоїдів з підвищеним вмістом урану і радію – природних джерел радону; останній проникає з надр по розломних зонах, які одночасно є емануючими колекторами і транспортерами радіоактивних газів [1] до поверхні землі і далі – в будівлі, формуючи різні, в т.ч. за певних умов небезпечні, концентрації радону в повітрі приміщень, а відповідно і різні ступені радононебезпеки для людей, які там живуть і працюють [3].

## Методика радіоекологічних досліджень

Для оцінки рівнів ОА радону в ґрунтовому повітрі ділянок, на яких розташовані будинки або плануються новобудови, використовуються миттєві вимірювання (безпосередньо в пунктах дослідження) активності ґрунтового радону.

Надходження радону і торону з надр до денної поверхні, як відомо [3], надійно фіксується за даними площадної або профільної еманційної зйомки з застосуванням радіометрів і спектрометрів радіоактивних газів.

Досвід проведення численних досліджень з проблеми радононебезпеки на територіях Чехії та Швеції, в т.ч. на модельних (еталонних) ділянках, свідчить про те, що вимірювання активності радону в ґрунтовому повітрі повинно мати нижню межу детектування не більше  $1 \text{ кБк/м}^3$  [2].

В проведених нами радіоекологічних дослідженнях як по м. Києву в цілому, так і на території придніпровської частини Печерського району столиці використано радіометр активних газів (РГА-01) з межею детектування радіоактивних газів (по сумі радону і торону) не більше  $0,4 \text{ кБк/м}^3$  і спектрометри рідинно-квантиляційного лічення (стаціонарний спектрометр Quantulus 1220™ і портативний спектрометр Triather).

Присутність торію в ґрунті та гірських породах приводить до генерації альфа-емітера торону ( $^{220}\text{Rn}$ ). Численні виміри його концентрацій у ґрунтовому повітрі на території Києва показують, що рівні ОА торону, як правило, одного порядку величини з рівнями ОА радону.

### Результати радіоекологічних досліджень та їх обговорення. Місто Київ

Фахівці Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України, Казенного підприємства «Кіровогеологія» Державної геологічної служби Мінприроди України та Інституту фундаментальних досліджень Української наукової асоціації з 2002 р. проводили профільну еманційну зйомку на території м. Києва. Крок вимірювань ОА радіоактивних газів в ґрунтовому повітрі (переважно по вулицях міста) становить 200 м з ущільненням в аномальних зонах до 100–50 м. Загальна протяжність 54 профілів зйомки еманції (близько 1400 точок) спостережень, в т.ч. 87 опорних (по мережі  $2 \times 2 \text{ км}$ ), становить більше 400 км. Для оцінки фонових, підвищених і аномальних рівнів ОА радіоактивних газів, як за їхньою сумарною активністю так і окремо по радону і торону, в ґрунтовому повітрі території площею близько  $400 \text{ км}^2$  м. Києва нами з досліджених пунктів сформована регулярна (опірна) мережа пунктів за умови відстані між ними  $2 \times 2 \text{ км}$ . По цих пунктах проведено статистичну обробку результатів вимірювання рівнів ОА радону і торону в ґрунтовому повітрі (табл. 1), які відповідають логнормальному закону.

З'ясовано, що в цілому ОА радіоактивних газів у ґрунтовому повітрі на правобережній частині м. Києва в 1,5–2,5 рази перевищує ОА цих газів на лівому березі міста; це, очевидно, пов'язано з різними геологічними умовами вказаних територій.

В м. Києві зафіксовано досить багато розломних зон, і саме вони, порівняно з рештою території міста, характеризуються підвищеними рівнями ОА радіоактивних газів у ґрунтовому повітрі (рис. 1\* [3]).

**Придніпровська частина Печерського району** м. Києва за результатами еманційної зйомки в пунктах за мережею  $2 \times 2 \text{ км}$  оцінюється як достатньо безпечна (рис. 1), але за даними детальної зйомки по сітці  $250 \times 250 \text{ м}$  на цій площі можна виділити радоно- і торононебезпечні ділянки (рис. 2–5).

Основою для оцінки різних рівнів радононебезпеки як для території придніпровської частини Печерського району м. Києва, так і по місту в цілому є побудовані нами карти концентрацій радону в ґрунтовому повітрі.

Карти ОА радону (рис. 2, 4) і торону (рис. 3, 5) в ґрунтовому повітрі побудовано на основі даних еманційної зйомки, яку провели протягом червня 2006 – липня 2007 років. Рівні ОА радону і торону в ґрунтовому повітрі визначено за 159 пунктами на загальній площі  $9,4 \text{ км}^2$  ( $3,75 \times 2,5 \text{ км}$ ) в межах: вул. Саперно-Слобідська (південь площі), ст. Київ-Московський (південно-західна частина площі) і далі на північ, вздовж р. Дніпро та на захід від нього.

Рівні ОА радіоактивних газів (радону і торону) в ґрунтовому повітрі площі зйомки змінюються в широких межах:

- суми радіоактивних газів (радону і торону) від  $69 \text{ Бк/м}^3$  до  $53\,466 \text{ Бк/м}^3$ ;
- радону – від  $8 \text{ Бк/м}^3$  до  $11\,068 \text{ Бк/м}^3$ ;
- торону – від  $22 \text{ Бк/м}^3$  до  $42\,401 \text{ Бк/м}^3$ .

Для визначення статистичних параметрів даних зйомки з усіх пунктів сформована регулярна мережа за умови відстані між пунктами  $250 \times 250 \text{ м}$  (рис. 2, 4). Результати статистичного аналізу за параметрами, які вимірювались при зйомці (рівні ОА суми радіоактивних газів, окремо радону і торону та координати пунктів), наведено в табл. 2.

Визначені середні, підвищені і аномальні рівні ОА радону і торону в ґрунтовому повітрі враховані при побудові карт концентрацій радону (рис. 2) і торону (рис. 3), виконано кореляційний аналіз між визначеними параметрами еманційної зйомки (табл. 3, рис. 6). Як видно, має місце кореляційний зв'язок між рівнями об'ємної активності як суми радіоактивних газів, так і окремо радону і торону, що свідчить про одне джерело цих газів у надрах – розломні зони, які перетинають гірські породи. Концентрація радію ( $^{226}\text{Ra}$ ) у ґрунті становить 12–14 Бк/кг; торію – 18–26 Бк/кг. Коефіцієнт еманування радону становить 4–10%. Ці гази, очевидно, дуже швидко надходять з надр до денної поверхні, формуючи в ґрунтовому повітрі різні рівні об'ємної активності та, відповідно, різні рівні радоно- і торононебезпеки для мешканців будинків, розміщених на ґрунті в межах зон підвищеної радоно- і торонності надр.

Як видно на рис. 2–5, територія придніпровської частини Печерського району м. Києва характеризується достатньо диференційованими рівнями ОА як радону, так і торону. В цілому за рівнями ОА радіоактивних газів територія може бути поділена на дві частини, а саме:

\* рисунок, уточнений М. Макаренко та П. Діденком.

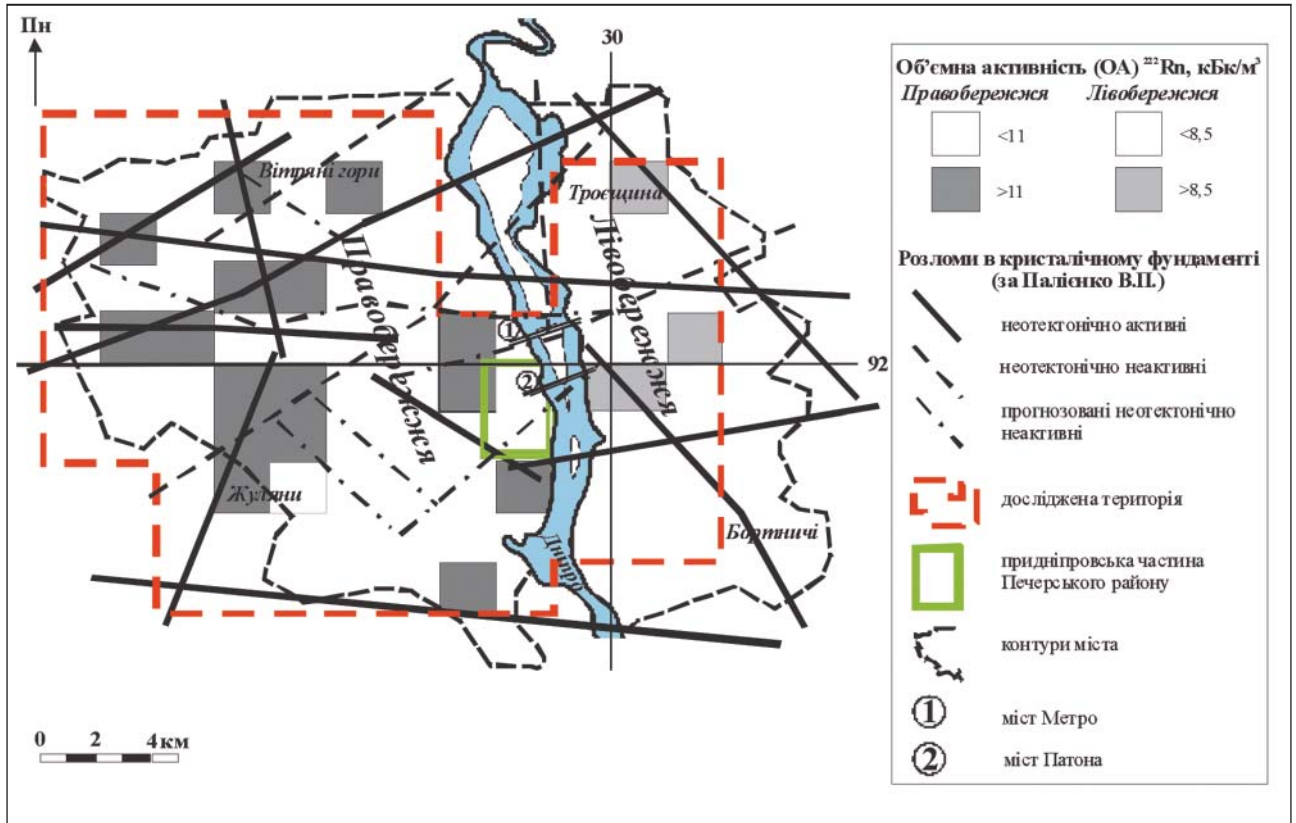


Рис. 1. Карта розподілу об'ємної активності (ОА) радону-222 в ґрунтовому повітрі на території м. Києва

**Таблиця 1. Результати статистичної обробки результатів вимірювання рівнів об'ємної активності (ОА) радіоактивних (р.а.) газів у ґрунтовому повітрі в пунктах опорної мережі на території м. Києва**

| Об'єкт досліджень                               | Опорних пунктів | Рівні об'ємної активності (ОА) радіоактивних (р.а.) газів, кБк/м <sup>3</sup> |          |            |                  |            |         |            |                  |            |         |            |                  |
|---|-----------------|---|----------|------------|------------------|------------|---------|------------|------------------|------------|---------|------------|------------------|
|   |                 | Сума р.а. газів (Rn+Tn)   |          |            |                  | Радон (Rn) |         |            |                  | Торон (Tn) |         |            |                  |
|   |                 | низький   | фоновий  | аномальний | високоаномальний | низький    | фоновий | аномальний | високоаномальний | низький    | фоновий | аномальний | високоаномальний |
| 1   | 2               | 3   | 4        | 5          | 6                | 7          | 8       | 9          | 10               | 11         | 12      | 13         | 14               |
| Територія Києва                                 | 87              | менше 5   | 5–20     | 20–55      | більше 55        | менше 3    | 3–9     | 9–20       | більше 20        | менше 4    | 4–9     | 9–20       | більше 20        |
| Правобережна частина Києва                      | 64              | менше 7,5   | 7,5–32   | 32–85      | більше 85        | менше 4    | 4–11    | 11–23      | більше 23        | менше 2,5  | 2,5–8,5 | 8,5–30     | більше 30        |
| Лівобережна частина Києва                       | 23              | менше 2,8   | 2,8–13   | 13–27      | більше 27        | менше 3    | 3–8,5   | 8,5–18     | більше 18        | менше 2,2  | 2,2–7,5 | 7,5–19     | більше 19        |
| Придніпровська частина Печерського району Києва | 131             | менше 2,5   | 2,5–10,7 | 10,7–22,4  | більше 22,4      | менше 1,1  | 1,1–2,9 | 2,9–5,0    | більше 5,0       | менше 3,5  | 3,5–8,4 | 8,4–20,2   | більше 20,2      |

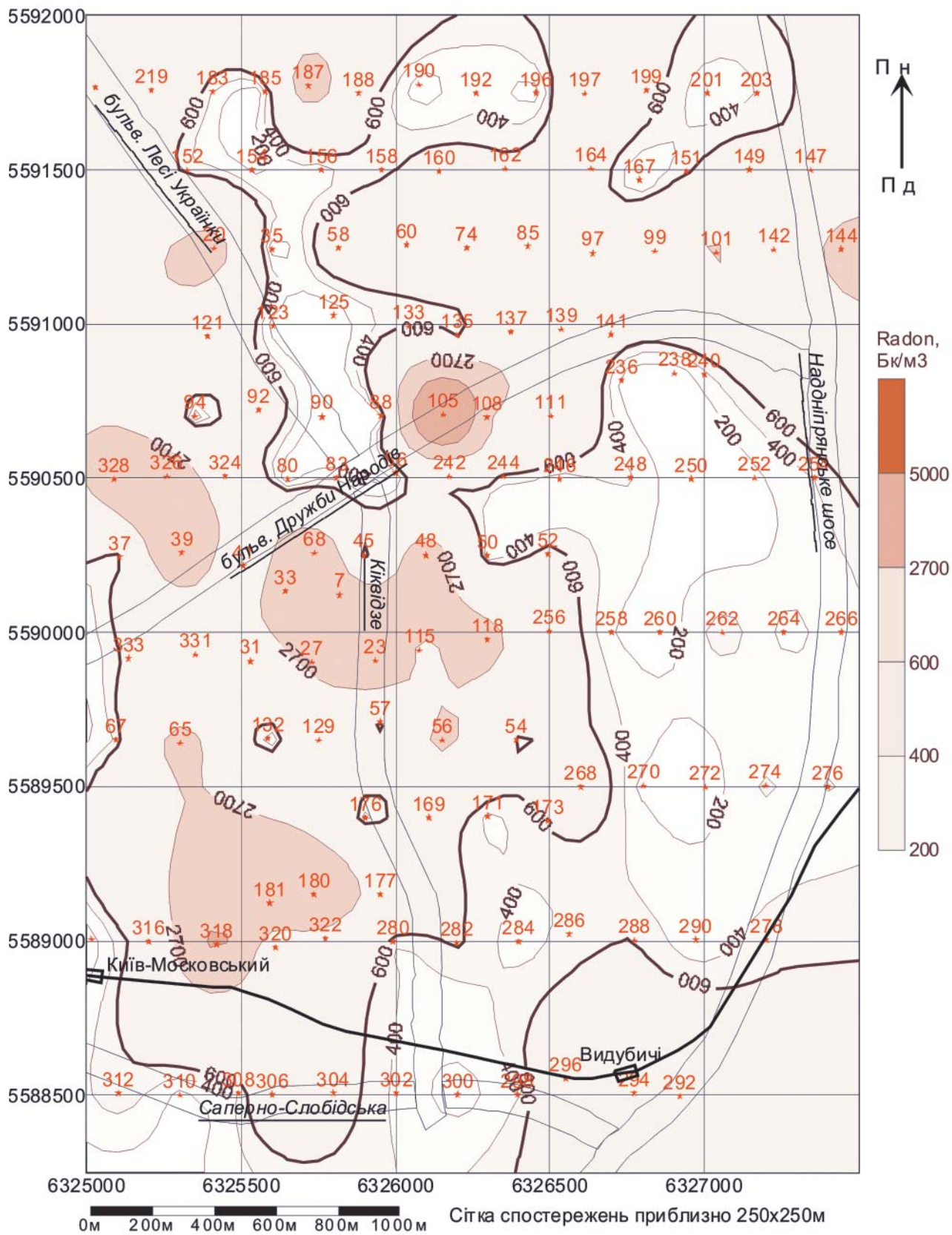


Рис. 2. Придніпровська частина Печерського району м. Києва. Рівні об'ємної активності (ОА) радону в ґрунтовому повітрі по регулярній сітці спостережень (250x250 м)

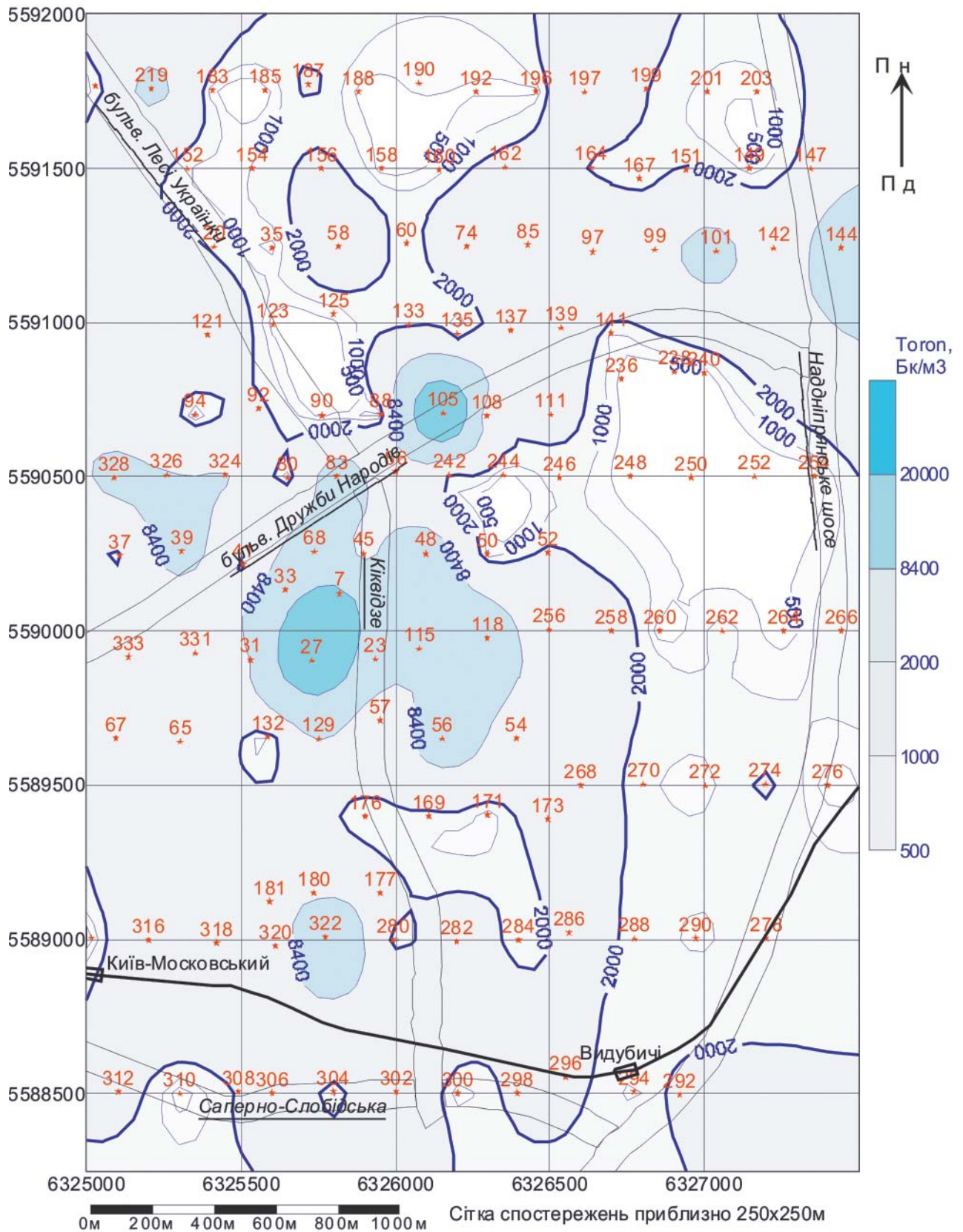


Рис. 3. Придніпровська частина Печерського району м. Києва. Рівні об'ємної активності (ОА) торону в ґрунтовому повітрі по регулярній сітці спостережень (250x250 м)

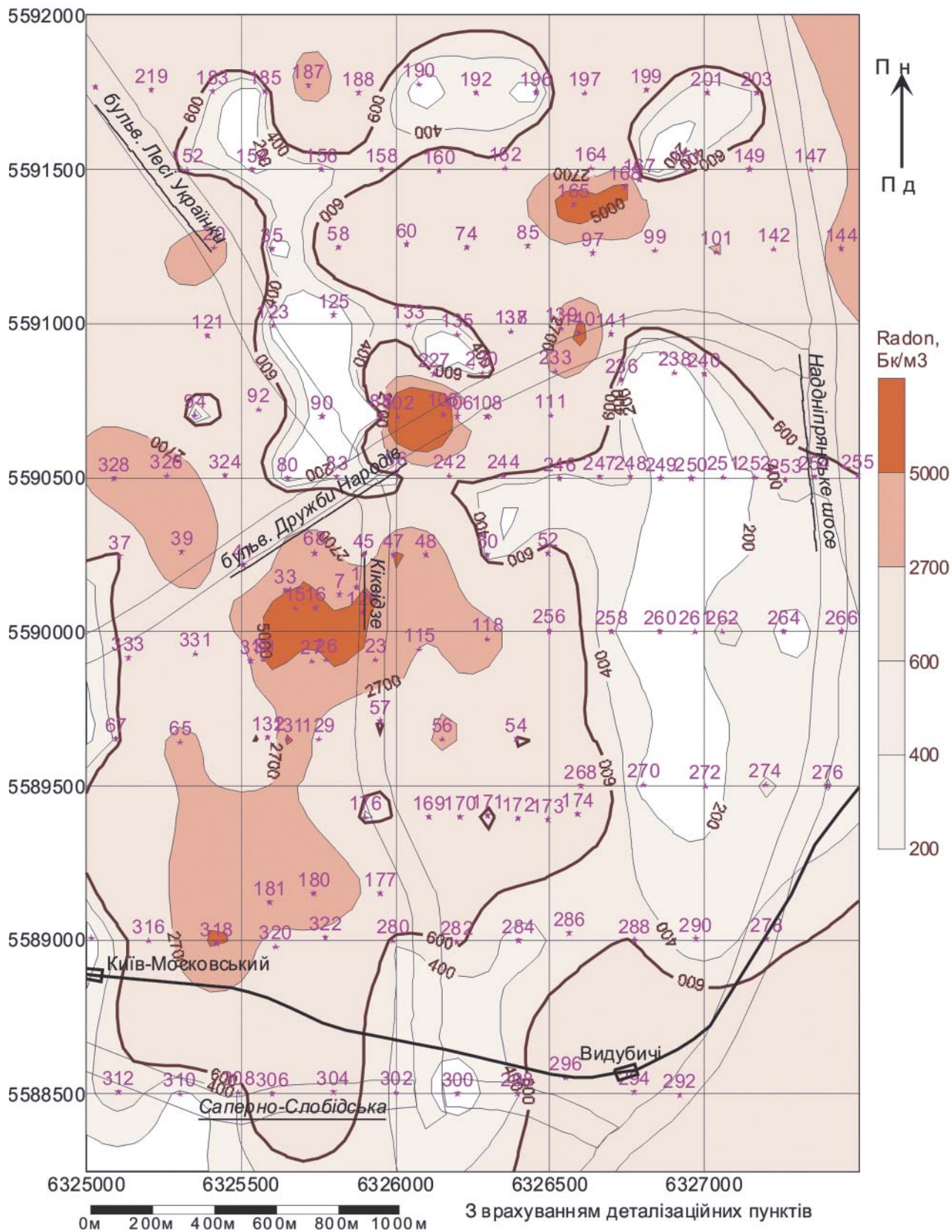


Рис. 4. Придніпровська частина Печерського району м. Києва. Рівні об'ємної активності (ОА) радону в ґрунтовому повітрі по усіх пунктах еманційної зйомки (з урахуванням деталізаційних пунктів)

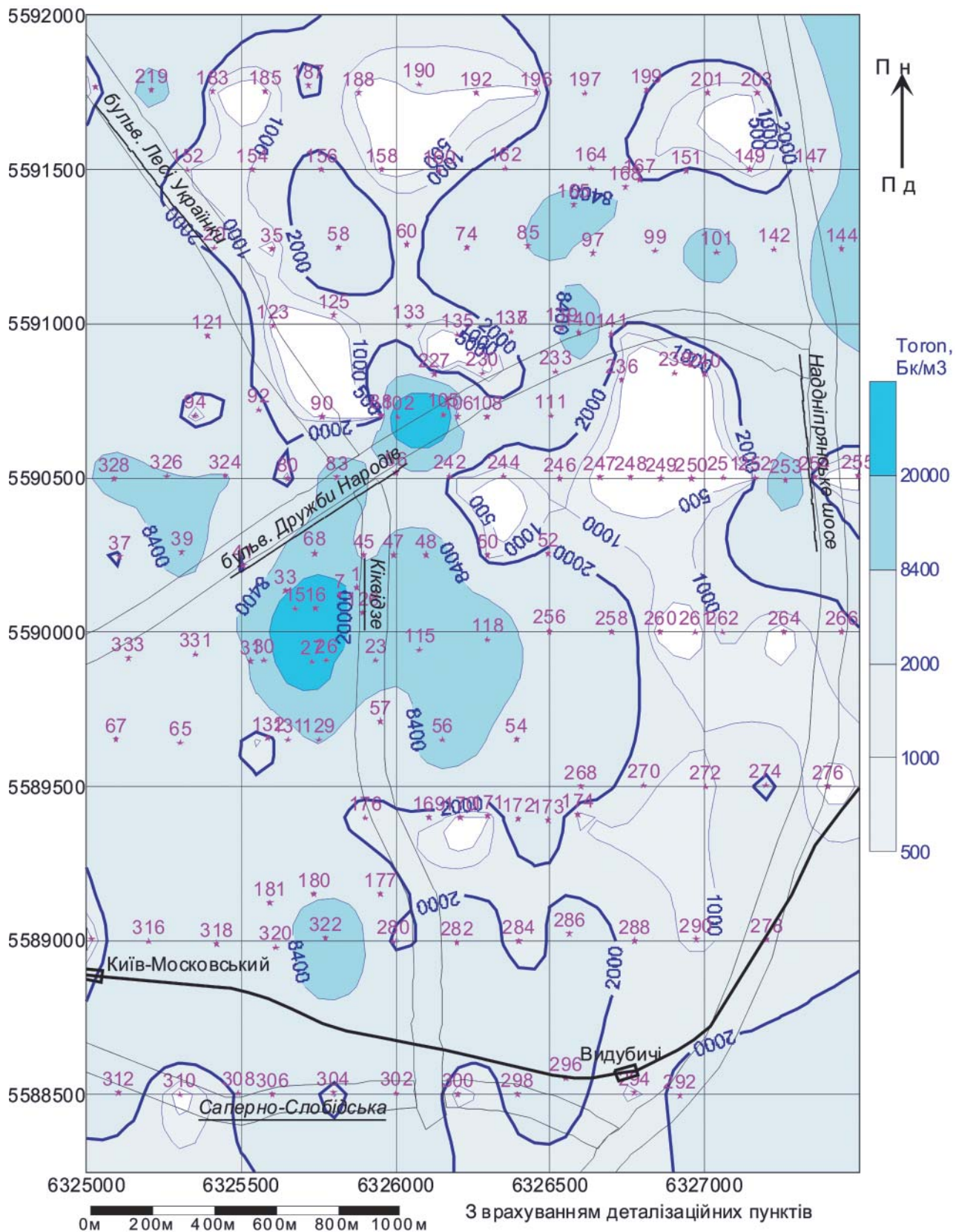


Рис. 5. Придніпровська частина Печерського району м. Києва. Рівні об'ємної активності (ОА) торону в ґрунтовому повітрі по усіх пунктах еманційної зйомки (з урахуванням деталізаційних пунктів)

– східна – від Наддніпрянського шосе і приблизно 1000 м у західно-напрямі – характеризується в цілому відносно низькими рівнями ОА як радону, так і торону;

– центрально-західна частина досліджуваної площі, навпаки, вирізняється підвищеними рівнями ОА радіоактивних газів, особливо це стосується смуги субмеридіонального простягання – в межах визначеної нами вперше радоно-торононебезпечної зони, осьова лінія якої проходить за 300 м на схід від ст. Київ-Московський, далі біля Печерського мосту і ще далі – в північно-східному напрямі по урочищу Спаський Яр. В окремих місцях визначеної зони радоно- і торононебезпеки рівні ОА радіоактивних газів у ґрунтовому повітрі досягають аномальних значень. Ці ділянки мають розміри від 100×300 м до 300×600 м; більші з них фіксуються мережею пунктів 250×250 м, а менші – ні. Але в будь-якому випадку ця зона (шириною до 500–600 м) підвищених і аномальних рівнів ОА радіоактивних газів у ґрунтовому повітрі, яка створює радоно- і торононебезпеку для мешканців будинків, що знаходяться в її межах, надійно фіксується мережею із 131 пункту спостережень за сіткою 250×250 м (рис. 2, 3), так і за даними вимірювань ОА радіоактивних газів у ґрунтовому повітрі по усіх пунктах (159) еманційної зйомки (рис. 4, 5).

Очевидно, в надрах придніпровської частини Печерського району м. Києва існує розломна зона субмеридіонального простягання, яка формує флюїдні потоки з радоном і тороном, що надходять з надр до денної поверхні. Ця зона, вірогідно, перетинається з іншою зоною, північно-західного простягання, за 500 м на південь від Печерського мосту, де таким чином утворюється вузол перетину зон і формуються максимальні для всієї вивченої площі рівні ОА радону у повітрі приповерхневих ґрунтів – до 5000–8000 Бк/м<sup>3</sup> та торону – до 30 000–39 000 Бк/м<sup>3</sup>.

Таким чином, підтверджується явище [1, 3], що формуючими та провідними каналами для радіоактивних газів у надрах є розломи, по яких водно-газові флюїди з радоном і тороном надходять до денної поверхні та проникають через ґрунти в будівлі [1]. Врешті решт, у приміщеннях житлових і виробничих будівель, розташованих над розломними зонами, накопичується радон і торон, створюючи радіаційну небезпеку для людей, що живуть і працюють у таких умовах.

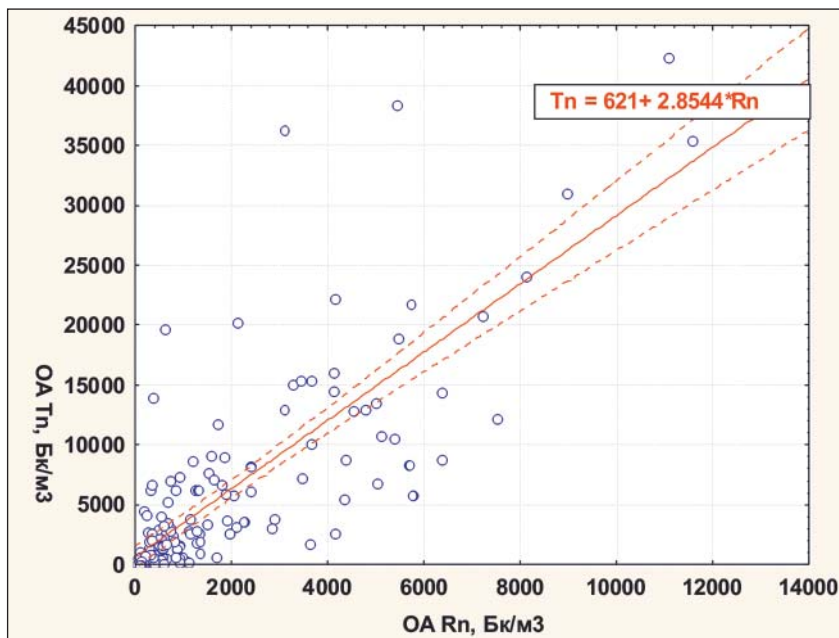


Рис. 6. Графік кореляційної залежності між рівнями об'ємної активності (ОА) радону і торону у ґрунтовому повітрі території придніпровської частини Печерського району м. Києва

**Таблиця 2. Результати статистичного аналізу параметрів еманційної зйомки на території придніпровської частини Печерського району м. Києва**

|       | X_42  | Y_42  | Tn+Rn | Rn    | Tn    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X_42  | 1.00  | 0.10  | -0.06 | -0.03 | -0.06 |
| Y_42  | 0.10  | 1.00  | -0.19 | -0.21 | -0.18 |
| Tn+Rn | -0.06 | -0.19 | 1.00  | 0.84  | 0.99  |
| Rn    | -0.03 | -0.21 | 0.84  | 1.00  | 0.76  |
| Tn    | -0.06 | -0.18 | 0.99  | 0.76  | 1.00  |

### Висновки та пропозиції

1. Проблема радоно- і торононебезпеки для жителів населених пунктів є актуальною як у світі, так і в Україні, а також для Києва в цілому і його окремих районів.

2. За даними детальної еманційної зйомки, проведеної підприємством «Науково-технічний центр» Інституту фундаментальних досліджень Української наукової асоціації, вперше визначено рівні ОА радіоактивних газів (радону і торону) в ґрунті придніпровської частини Печерського району Києва на площі 9,4 км<sup>2</sup>, яка за результатами зйомки по місту в цілому визначається як відносно безпечна.

3. За рівнями ОА радону і торону в ґрунтовому повітрі вивчена площа поділяється на дві частини: східну – радоно- і торононебезпечну та центрально-західну, навпаки – безпечну.

4. Зона радоно- і торононебезпеки шириною до 500 м має субмеридіональний напрям; її осьова лінія проходить за 300 м на схід від ст. Київ-Московський,



**Таблиця 3. Кореляційна матриця параметрів еманційної зйомки (див. табл. 2)**

|       | К-ть, N | Середнє | Медіана | Мінімум | Максимум | Рівень 84.1% | Рівень 97.7% | Станд. відх. | Асиметрія | Ексцес |
|-------|---------|---------|---------|---------|----------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------|
| X_42  | 131     | 5590292 | 5590498 | 5588497 | 5591775  | 5591498      | 5591759      | 1000         | -0.21     | -1.05  |
| Y_42  | 131     | 6326165 | 6326140 | 6325015 | 6327444  | 6326921      | 6327356      | 643          | 0.15      | -0.96  |
| Tn+Rn | 131     | 5638    | 2731    | 69      | 53466    | 10733        | 22363        | 7681         | 3.05      | 13.38  |
| Rn    | 131     | 1265    | 614     | 8       | 11065    | 2892         | 4982         | 1609         | 2.58      | 10.11  |
| Tn    | 131     | 4373    | 1933    | 22      | 42401    | 8373         | 20227        | 6383         | 3.16      | 13.58  |

біля Печерського мосту і далі. Зона практично не оконтурена по простяганню.

Визначена нами радоно- і торононебезпечна зона, очевидно, формується завдяки наявності в надрах розломної зони аналогічного напрямку, яка одночасно є емануючим колектором і транспортером радону і торону з надр до денної поверхні.

5. За даними статистичного кореляційного аналізу по пунктах еманційної зйомки встановлено зв'язок між рівнями ОА радону і торону, що свідчить про одне джерело формування підвищених і аномальних рівнів цих газів у ґрунтового повітрі вивченої площі природного походження (розлом у надрах).

6. Доцільно продовжити еманційну зйомку на всій території Печерського району м. Києва, в першу чергу у північному напрямі від вивченої площі, де знаходяться житлові, адміністративні, а також дитячі, навчальні та лікувальні заклади.

7. Вважається необхідним розпочати виконання радіологічних досліджень з оцінкою рівнів еквівалентної рівноважної об'ємної активності радіоактивних газів (радону і торону) у повітрі приміщень будинків, що знаходяться в межах визначеної в придніпровській частині Печерського району м. Києва радоно- і торононебезпечної зони.

1. Лобанова А.Б. Геохимические поиски глубокозалегающих месторождений по диффузионным ореолам выходящей миграции. – СПб: НПО «Севморгеология», 1991. – 222 с.

2. Новый метод оценки радонового риска в местах застройки / Нежнал М., Нежнал М., Матолин М. и др. // [www.Radon-vos.cz/pdf/metodica.pdf](http://www.Radon-vos.cz/pdf/metodica.pdf).

3. Основные проблемы радоновой безопасности / Комов И.Л., Диденко П.И., Макаренко Н.Н. и др. – К.: Логос, 2005. – 352 с.