

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ УРБОСИСТЕМ ЛЬВОВА

Іванов Є.А., Кравців С.С., Войтків П.С.

Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів

yevhen.ivanov@lnu.edu.ua, stepan.kravtsiv@lnu.edu.ua, petro.voytkiv@lnu.edu.ua

Львів має розвинену промисловість і транспортну мережу, що виступають джерелами надходження різних радіоактивних речовин у природне середовище міста. Підвищений радіаційний фон зумовлює використання будівельних матеріалів (граніту, базальту, бетону тощо), спалюванням вуглеводнів на ТЕЦ і котельнях та забрудненням повітря автотранспортом. У 2018–2024 рр. проведено радіоекологічні дослідження в межах центральної частини Львова. Особливо детальні роботи виконано на території Львівської цитаделі (понад 800 вимірів). Здійснено вимірювання потужності гамма-випромінювання, густини потоку бета-випромінювання і показника радіаційної чистоти довкілля.

У центральній частині Львова середній рівень гамма-випромінювання змінюється від 0,05 до 0,07 мкЗв/год, а максимальний – не перевищує 0,14 мкЗв/год. Густина потоку бета-випромінювання знаходиться у проміжку 1,5–2,0 част/см²хв. Біля Львівського національного університету та парку імені Івана Франка вона становить до 0,15–0,25 мЗв/год. Встановлено сучасні рівні радіаційного фону, що залежать від особливостей геологічних умов і рельєфу. Наприклад, контрольні вимірювання біля Чатової скелі виявили гамма-фон на рівні 0,11–0,13 мЗв/год, довкола Високого замку – 0,10–0,12 мЗв/год, а на Кортумовій горі – 0,12 мЗв/год. У долині річки Полтви гамма-фон є дещо вищим та складає 0,14–0,15 мЗв/год. У західній і південно-західній частинах міста радіаційний фон коливається у межах від 0,06 до 0,09 мЗв/год. Мінімальні показники гамма-випромінювання у районі Львівської цитаделі виявлені на ґрунті (0,067 мкЗв/год). Максимальні значення гамма-випромінювання заміряно біля Львівської наукової бібліотеки імені Василя Стефаника (0,256 мкЗв/год). На сьогодні удосконалюється мережа пунктів радіоекологічного вимірювання, що сприяє поглибленню дослідження радіаційного фону в урбосистемах міста. *Ключові слова:* місто, урбосистема, радіоактивні речовини, радіаційний фон, радіоекологічні дослідження, моніторинг.

Radioecological monitoring of urbosystems of Lviv. Ivanov Ye., Kravtsiv S., Voitkiv P.

Lviv has a developed industry and transport network, which are sources of various radioactive substances entering the city environment. The increased radiation background is caused by the use of building materials (granite, basalt, concrete, etc.), the combustion of hydrocarbons at thermal power plants and boiler houses, and air pollution by vehicles. In 2018–2024, radioecological studies were conducted within the central part of Lviv. Particularly detailed work was carried out on the territory of the Lviv Citadel (over 800 measurements). The average and maximum gamma radiation power, beta radiation flux density, and the radiation purity index of the environment were measured.

In the central part of Lviv, the average gamma radiation level varies from 0,05 to 0,07 $\mu\text{Sv/h}$, and the maximum does not exceed 0,14 $\mu\text{Sv/h}$. The beta radiation flux density is in the range of 1.5–2.0 parts/sq.cm min. Near Lviv National University and Ivan Franko Park, it is up to 0,15–0,25 mSv/h. Modern levels of background radiation have been established, which depend on the characteristics of geological conditions and relief. For example, control measurements near Chatova Rock revealed a gamma background of 0,11–0,13 mSv/h, around Vysoky Zamok (High Castle) – 0,10–0,12 mSv/h, and on Kortumova Gora – 0,12 mSv/h. In the Poltva River valley, the gamma background is somewhat higher and is 0,14–0,15 mSv/h. In the western and southwestern parts of the city, the radiation background ranges from 0,06 to 0,09 mSv/h. The minimum gamma radiation levels in the Lviv Citadel area were detected on the ground (0,067 $\mu\text{Sv/h}$). The maximum gamma radiation levels were measured near the Vasyl Stefanyk Lviv Scientific Library (0,256 $\mu\text{Sv/h}$). Currently, the network of radioecological measurement points is being improved, which contributes to the deepening of the study of the radiation background in the city's urban systems. *Key words:* city, urban system, radioactive substances, radiation background, radioecological studies, monitoring.

Постановка проблеми. Львів як й інші великі міста України, має досить розвинену промисловість і транспортну мережу, що виступають джерелами надходження різних радіоактивних речовин у природне середовище міста. Потенційно це може призводити до збільшення радіаційного фону в межах урбосистем міста. У будь-якому великому місті радіаційний фон є суттєво вищим, ніж в його агломераціях, оточуючих природних геосистемах, а тим більше у межах природоохоронних територій. Це явище називають техногенно-поосиленим радіаційним фоном урбосистем. Підвищений радіаційний фон у великих містах зумовлений використанням різних будівельних матеріалів (граніту, базальту, цегли, бетону, асфальту тощо), спалюванням вуг-

леводнів чи вугілля на ТЕЦ і котельнях та забрудненням повітря автотранспортом. В урбосистемах водночас розміщено чимало об'єктів із побутовими і медичними джерелами радіації малої потужності.

Актуальність дослідження. Радіоактивне забруднення урбосистем є питанням, що турбує кожного містянина, адже у час сучасних інформаційних технологій про це відомо чимало. Тому слід регулярно проводити заміри гамма- і бета-випромінювання та порівнювати результати та аналізувати зміни. У результаті постійного моніторингу можна визначати джерела забруднення. Разом з тим місто Львів є туристичним центром України, куди щорічно на екскурсії приїжджають десятки тисяч людей. Подорожуючи містом важливо розуміти наскільки

екологічно безпечними у радіаційному плані є міські простори міста (вулиці, площі, тротуари, велосипедні доріжки, парки тощо).

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Радіоекологічне дослідження спрямовано на удосконалення системи радіоекологічного моніторингу урбосистем великих міст України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нормативна база роботи регульована існуючими документами з радіаційної безпеки [1, 2]. Навчально-методичні основи проведення радіоекологічного дослідження урбосистем міст викладено у методичних рекомендаціях [3], посібниках [4, 5] і статтях [6]. Особливості радіаційної ситуації у Львові загалом та його окремих районів зокрема подано у наукових працях І. Волошина [7], Є. Іванова [8], Є. Іванова, Ю. Андрейчука, Т. Козака [9] та різних інтернет-джерелах [10–12].

Методика дослідження. Радіоекологічні дослідження в урбосистемах великих міст передбачають проведення польових (експедиційних) робіт, які включають в себе три етапи робіт: підготовчий, польовий і камеральний. На підготовчому етапі підготовлено та опрацьовано цифрові топографічні основи масштабу 1 : 2 000, сплановано маршрути із відносно рівномірними розподілом точок дослідження.

Контроль радіаційної ситуації в межах урбосистем Львова проведено за допомогою дозиметра-радіометра МКС-05 «Терра». Цей прилад призначено для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалента дози фотонного (гамма- і рентгенівського) іонізуючого випромінювання, а також поверхневої густини потоку частинок бета-випромінювання. У 2018–2024 рр. здійснено щосезонні радіоекологічні дослідження в межах центральної частини Львова. Особливо детальні роботи виконано на території Львівської цитаделі. Всього за цей період знято понад 800 контрольних промірів. На кожній точці здійснено вимірювання середньої і максимальної потужності гамма-випромінювання, густини потоку бета-випромінювання і показника радіаційної чистоти довкілля. Проміри проводили протягом 15–20 хв. із зазначенням у щоденнику опису обстановки навколо точки радіаційного контролю (географічна прив'язка, ґрунт або покриття, відстань від потенційних джерел радіаційного забруднення) і погодних умов (атмосферний тиск, температура атмосферного повітря, опади). Радіометричні вимірювання виконано на двох висотах: на рівні ґрунтового або техногенного покриву та на висоті 1,2–1,5 м від площадки, що зроблено з метою вивчення впливу відстані від земної поверхні як головного джерела техногенної радіації на рівень забруднення урбосистем радіонуклідами.

Географічну прив'язку точок визначено приладом геопозиціонування GPS Garmin eTrex. Цей GPS-прилад позиціонує електронний маршрут

у шляховому журналі на сторінці карти, а у журналі відображає інформацію для точок маршруту, включаючи їхнє місцезоположення і даний час.

На камеральному етапі створено базу геоданих і моделі радіаційного моніторингу досліджуваних територій. Аналітичне опрацювання даних, які отримані за допомогою дозиметра-радіометра проводиться із математичним обробленням та побудовою різних графіків і діаграм. Кінцевим результатом є радіоекологічна карта, діаграми, рисунки і текстовий аналіз.

Особливості природних умов міста і Львівської цитаделі. У Львові та його передмістях виділяють урбосистеми та інші природно-антропогенні системи Львівської улоговини, Розточчя, Опілля і Пасмового Побужжя [8]. Окремі міські ландшафтні системи мають різні фонові радіаційні показники, що головню зумовлені особливостями міських і передміських просторів природно-антропогенного походження.

Львівську улоговину, яка займає найнижчі рівні міста, у його центральній частині, що обмежена височинними частинами, зокрема Розточчям, Львівським плато (Опіллям) і Пасмовим Побужжям. Власне в улоговині й здійснюється плосковершинний останець Львівської цитаделі [7]. Львівська улоговина охоплює широку долину р. Полтви, а також її схили, що розчленовані ярами верхів'я річки і закріплені парковими насадженнями. Ерозійний останець Цитадель височіє посередині улоговини.

Розточчя є горбистою залісненою частиною міста, яка розпочинається з горбистого пасма Шевченківського гаю та простягається через Високий замок, до Клепарівської, Голосіївської і Брюховецької височин. Це пасмо є крайнім північно-західним відрогом Подільської височини. Верхні морфологічні рівні займають Кортумова гора, Високий Замок, Піскова гора і Чатові скелі. Поверхня району має асиметричну будову із максимальними висотами, що зосереджені вздовж північно-східного краю, який стрімко піднімається (на 80–100 м) над прилеглою Львівською улоговиною. Розточчя не утворює суцільної височини, воно у декількох місцях прорізано долинами, по яких в епоху зледеніння просувались льодовики і стікали талі води, що залишили у долинах рік великі площі пісків. Білогірсько-Мальчицька долина відокремлює Розточчя від Львівського плато і водночас з'єднує долини Полтви і Верещиці.

Пасмове Побужжя складається з плосковерхих пасом, які простягаються від Розточчя і Львівського плато у східному і південно-східному напрямі до долини Західного Бугу. Ці пасма розділені широкими плоскими, і часом перезволоженими долинами з невеличкими потічками. Висота пасом сягає 60 м над рівнем долин. В межах Львова місцевість розрізає широка долина Полтви, ускладнена ерозійними останцями.

Опілля (Львівське плато) займає майже половину міського простору та околиць із західної і південної частини міста. Воно має пластовий структурний тип рельєфу, який дещо порушують балки. Невеликі допливи Полтви врізані у схили плато. Відріг плато охоплює декілька ерозійних останців, серед яких слід виокремити Львівську цитадель.

Львівська цитадель є пам'яткою фортифікаційного мистецтва середини XIX ст. у Галицькому районі Львова. Зведення цитаделі велось у 1850–1856 рр. Цитадель складається з чотирьох веж-бастіонів і триповерхової будівлі казарми та розташована на узгір'ї, яке складається з трьох невеликих гір: Вроновських (Шембека), Пелчинської (Познаньської) і Калічої (Жебрацької).

Для Львівської цитаделі властиве цікаве розташування у природно-географічному відношенні, адже це ерозійний останець розташований в межах сильнорозчленованого Львівського плато. Гора має практично правильну округлу форму з крутими схилами, які виходять до вулиць Вітовського, Франка, Грушевського, Мартовича, Стефаника і Коперніка. Абсолютні відмітки земної поверхні у верхній

частині гори коливаються від 320 до 325 м. У свою чергу, абсолютні відмітки земної поверхні у підніжжі гори становить 285 м (район пл. І. Франка) до 279 м (район вул. В. Стефаника) (рис. 1). Перевищення коливаються від 40 до 45 м. Крутість схилів є значною і може сягати 25–30°, при цьому домінують спади, сильноспадисті і круті схили.

Сучасний радіаційний фон у місті і в межах Львівської цитаделі. Проведені радіоекологічні дослідження не ставили за мету аналіз просторово-територіального поширення радіаційного забруднення на всій території Львова. Для цього недостатнім є часовий проміжок і кількість досліджуваних промірів. Головним завданням є виявлення закономірностей зміни рівнів забруднення радіонуклідами в основних типах урбосистем міста. Однак загальні риси поширення ареалів радіаційного забруднення у місті все ж вдалося відстежити.

У центральній, старовинній частині міста, яку внесено до списку архітектурної спадщини ЮНЕСКО і є головно пішохідною, середній рівень гамма-випромінювання змінюється від 0,05 до 0,07 мкЗв/год, а максимальний – не перевищує

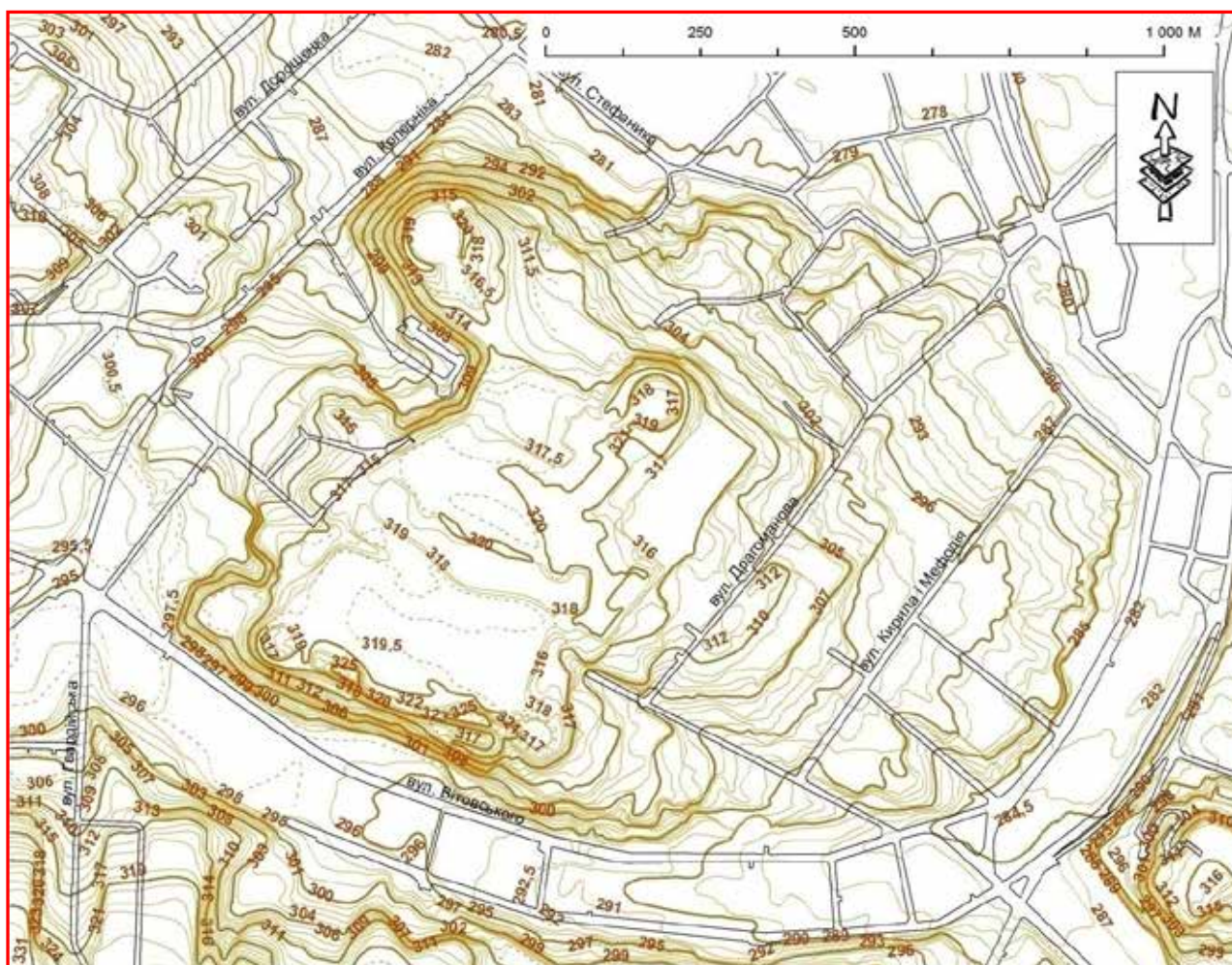


Рис. 1. Гіпсометрична карта Львівської цитаделі та її околиць

0,14 мкЗв/год. Густина потоку бета-випромінювання знаходиться у проміжку 1,5–2,0 част/см²хв. Забудована частина Львова представлена культурним ґрунтовим шаром, що впливає на радіаційний фон міста. Ґрунти цього шару майже суцільно вкривають територію історичної частини міста, але потужність шару вирізняється за різних геолого-геоморфологічних умов. Суттєво вирізняються долинні (заплавні), ерозійні (ярково-долинні), схиліві і вододільні (плакорні) типи місцевості [5].

Дослідженнями радіаційної обстановки у Львів охоплено різні типи урбосистем – вулиці, площі, тротуари, прибудинкові і паркові зони тощо. На дорогах з інтенсивним рухом спостерігаємо дещо підвищені, у порівнянні з іншими ділянками міста, рівні **потужності експозиційної дози**. Наприклад, у районі біля Львівського національного університету та парку ім. І. Франка вона становить до 0,15–0,25 мЗв/год. У східній частині Львова, у Личаківському районі, радіаційний фон істотно нижче і є в межах 0,04–0,07 мЗв/год. Місцями радіаційний фон у інших районах міста сягає показників у 0,12 мЗв/год. Схожа радіаційна ситуація подібна й для території Високого замку [8].

На основі контролю радіоекологічного стану у Львові й передмісті встановлено сучасні рівні радіаційного фону, що залежать від особливостей геологічних умов і рельєфу. Наприклад, контрольні вимірювання біля Чатової скелі виявили

гамма-фон на рівні 0,11–0,13 мЗв/год, довкола Високого замку – 0,10–0,12 мЗв/год, а на Кортумовій горі – близько 0,12 мЗв/год. У долині річки Полтви (район вул. Чорновола) гамма-фон є вищим і складає 0,14–0,15 мЗв/год. У західній і південно-західній частинах міста гамма-фон коливається у межах від 0,06 до 0,09 мЗв/год. Розточанські масиви мають дещо нижчі показники радіаційного фону порівняно з тими, що властиві для Львівської улоговини і долини р. Полтви. Останцеві масиви утворюють окремі радіаційні мікрозони, оскільки навколо них радіаційні величини є нижчими [7].

Зупинимося детальніше на аналізі у районі Львівської цитаделі. Територію вдалося вкрити щільною мережею пунктів вимірювання потужності гамма-випромінювання (рис. 2). При цьому заміри проведено на різних типах покриття урбосистем: бруківка, бетонне покриття, ґрунти, піщані чи супіщані поверхні, залізні і дерев'яні поверхні будівельних споруд.

Мінімальні показники гамма-випромінювання у районі дослідження виявлено на бетонному покритті становлять 0,079 мкЗв/год, а на ґрунті – 0,067 мкЗв/год (рис. 3). Максимальні значення гамма-випромінювання заміряно на базальтовому покритті біля Меморіалу жертвам комуністичного режиму, який сягає 0,178 мкЗв/год, а на схожих базальтових плитах біля Львівської національної наукової бібліотеки України імені Василя Стефаника

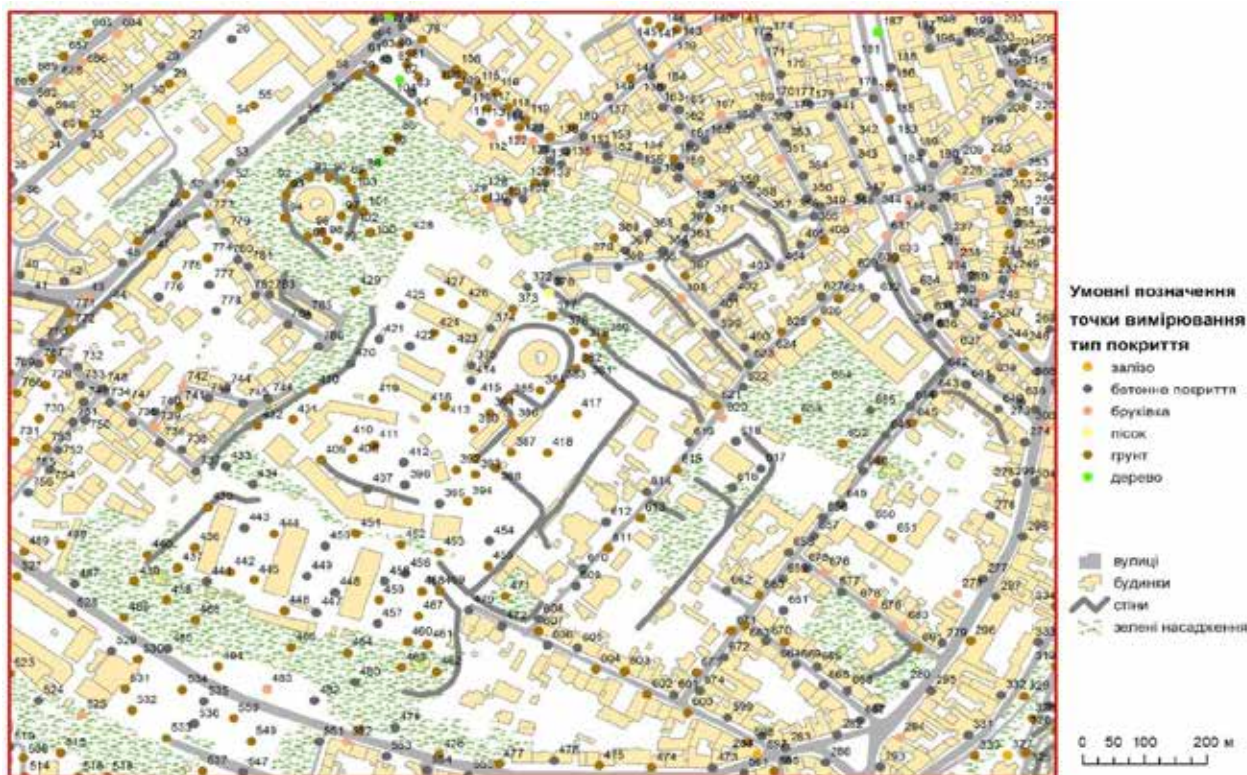


Рис. 2. Пункти вимірювання потужності гамма-випромінювання у районі Львівської цитаделі за типами покриття



Рис. 3. Показники потужності гамма-випромінювання у районі Львівської цитаделі

ці значення ще вищі – 0,256 мкЗв/год. На гранітних плитах у районі парку імені Івана Франка ці значення можуть перевищувати 0,148 мкЗв/год. Найвищі показники потужності гамма-фону спостерігаємо на вулицях Крушельницької, Стефаника, Каменярів і Саксаганського, які коливаються від 0,146 до 0,299 мкЗв/год.

Львівська цитадель складається з чотирьох башт і корпусів казарм. Навколо башти форту № 1, де розташоване книгосховище наукової бібліотеки ім. Стефаника найвищий показник гамма-фону становить 0,112 мкЗв/год, а найнижчий – 0,072 мкЗв/год. Дані, які отримані біля башти форту № 2, в якій розташований готель «Citadel Inn», найвищий показник гамма-випромінювання на бетонному покритті становить 0,136 мкЗв/год, а найменший на схожому покритті – 0,128 мкЗв/год. На ґрунтовому покритті найвищий показник складає 0,106 мкЗв/год, а найнижчий – 0,073 мкЗв/год. Біля корпусів казарм найвищий рівень гамма-фону сягає 0,127 мкЗв/год, а найменший – 0,058 мкЗв/год. На бетонному покритті біля казарм найвищі значення гамма-випромінювання становлять 0,152 мкЗв/год, а найнижчі – 0,062 мкЗв/год. Показники біля третьої і четвертої башт-форту є схожими до значень біля колишніх казармених приміщень. Між цими баштами знаходиться автостоянка на якій гамма-випромінювання є підвищене і знаходиться в межах 0,124–0,152 мкЗв/год.

Густина потоку бета-частинок в межах Львівської цитаделі змінюється від 1,5 до 2,2 част/см²хв. Найбільшу густину бета-випромінювання спостерігаємо біля казарм, яка становить 2,6 част/см²хв.

Узагальнені геодані, зважаючи на плямистий характер поширення забруднення урбосистем радіонуклідами, лише у загальному характеризують радіаційну ситуацію в місті. За результатами радіоекологічних досліджень нами розділено усі урбосистеми Львова на житлові, промислові, транспортні і паркові. Ці типи урбосистем мають властивий їм узагальнений рівень радіаційного забруднення. При цьому транспортні урбосистеми мають найвищу ступінь радіоактивного забруднення (9,7–9,9 мКі/км²). Це пов'язано з тим, що автотранспорт є головним джерелом поступлення іонізуючого випромінювання у довкілля Львова. Дещо менший рівень концентрації радіонуклідів властивий для густозаселених житлових урбосистем (8,0–8,2 мКі/км²). Ще нижчі показники радіоактивного забруднення властиві для промислових урбосистем (5,6–5,8 мКі/км²). Таке зниження показників іонізуючого випромінювання відбулося протягом останніх десяти років і зумовлене зменшенням виробництва на підприємствах або їх закриттям. Однак найкращу радіоекологічні умови спостерігаємо у паркових частинах міста, де середня концентрація радіонуклідів становить лише 1,7–1,8 мКі/км².

Радіаційний моніторинг у місті. На сьогодні успішно функціонує проєкт SaveEcoBot, що відображає інтерактивну карту України із результатами вимірювання радіаційного фону. У Львові вимірювання проводять на 17 постах різними способами, від щоденних ручних замірів відповідними державними установами на стаціонарних постах до багаторазових на онлайн станціях моніторингу. Систему громадського моніторингу радіаційного фону розвивається у співпраці із міжнародною організацією Safecast, встановлюють стаціонарні пристрої і мобільні установки, що вимірюють рівень радіації. Також у межах співпраці отримано три портативні детектори радіоактивного випромінювання з модулем GPS – Safecast bGeigie Nano, які дають змогу щодня збирати геодані про стан радіації.

Наприклад, радіаційний фон у місті станом на 16 лютого 2025 р. перебував у своїх звичних межах і становив 0,079–0,120 мкЗв/год (найменший і найбільший показники за останні 24 год.). Найвища величина потужності експозиційної

дозы (радіаційний фон) за останню добу зафіксовано о 18:00 год. на посту спостереження за адресою вул. В. Винниченка, 12 і вона становила 0,120 мкЗв/год, що нижче контрольного рівня [12].

Висновки. На основі проведеного радіоекологічного дослідження зробимо такі висновки:

1. В урбосистемах центральної частини Львова загрозового рівня радіації не виявлено. Формування мікрозон із підвищеними значеннями радіаційного фону пов'язані головню із неоднорідністю геологічних порід, решти природних умов та впливом техногенних чинників на довкілля.

2. У Львові середній рівень гамма-випромінювання змінюється від 0,05 до 0,09 мкЗв/год, а максимальний – не перевищує 0,26 мкЗв/год. Густина потоку бета-частинок головню коливається від 1,5 до 2,0 част/см²хв, а найбільша сягає 2,6 част/см²хв.

3. На сьогодні удосконалюється діюча мережа пунктів радіоекологічного вимірювання, що сприятиме поглибленню дослідження радіаційного фону в урбосистемах міста.

Література

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) / Міністерство охорони здоров'я України. Київ, 1997. URL: <http://www.insc.gov.ua/docs/nrbu97.pdf>
2. Норми радіаційної безпеки України; доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінювання (НРБУ-97/Д-2000); Державні гігієнічні нормативи / Міністерство охорони здоров'я України. Київ, 2000. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00#Text>
3. Методичні рекомендації з дозиметричного контролю / Академія наук УРСР, Міністерство охорони здоров'я УРСР; Г. А. Косінов, Г. М. Коваль, О. А. Адаменко та ін. Київ: Здоров'я, 1990. 40 с.
4. Іванов Є. Радіаційна екологія : навч.-метод. посібн. Львів : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2011. 217 с.
5. Іванов Є. А. Радіоекологічні дослідження : навч. посібн. Львів : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2004. 149 с.
6. Іванов Є. Оцінка стану хімічного і радіоактивного забруднення антропогенно-обумовлених геокомплексів. *Сучасна географія та навколишнє природне середовище* : матер. міжнарод. наук. конф. Вінниця, 1999. С. 30–32.
7. Волошин І. Особливості радіаційної ситуації у м. Львові. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2006. Вип. 33. С. 53–61.
8. Іванов Є. А. Радіаційне забруднення урбосистем Львова. *Науковий вісник УкрДЛТУ: Проблеми урбоекології та фітомеліорації*. 2003. Вип. 13.5. С. 142–145.
9. Іванов Є., Андрейчук Ю., Козак Т. Радіоактивне забруднення екосистем парку імені Івана Франка. *Біомедична електроніка та фізичні методи в екології* : зб. тез Всеукр. наук. семін. Львів : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2007. С. 65.
10. На Львівщині встановлюють нові пристрої для вимірювання радіації. *Львівський портал*: інформаційна агенція. 7 серпня 2024 р. URL: <https://portal.lviv.ua/news/2024/08/07/na-lvivshchyni-vstanovliuiut-novi-prystroi-dlia-vymiruvannia-radiatsii>
11. Радіаційний фон в місті Львів. *Чорнобиль, Прип'ять, Чорнобильська АЕС і зона відчуження*: сайт. URL: <https://chornobyl.in.ua/uk/radiacijniy-fon-lviv.html>
12. Стан радіаційного фону в місті Львів. SaveEcoBot: інтерактивний проєкт. URL: <https://www.saveecobot.com/radiation/lvivska-oblast/lviv>