

УДК 550.84;504.54
PACS number(s): 52.70.La

ЗАСТОСУВАННЯ ГАММА-РАДІОМЕТРІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЛІТОЛОГО-ГЕОХІМІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЛАНДШАФТІВ ПІД ВПЛИВОМ ЗАБУДОВИ

Д. Ганжа, Р. Ганжа

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Галицька, 201, 76000 Івано-Франківськ, Україна
dmgan@rambler.ru*

*Івано-Франківське вище професійно-технічне училище №21
вул. Тисменецька, 248, 76000 Івано-Франківськ, Україна*

Запропоновано спосіб та виконано оцінку будівельного навантаження ландшафтів методом гамма-радіометрії. Спостереження проведено на 55 ключових ділянках, розташованих в умовах фонових територій та в урболандшафтах з різним ступенем будівельного навантаження. Будівельне навантаження оцінено методом ландшафтометрії та за допомогою радіологічних, геохімічних методів. Виміряно вміст радіонуклідів та стабільних ізотопів у верхньому шарі ґрунту. Проведено гамма-радіометрію території спостережень. Виконаний кореляційний аналіз різних параметрів будівельного навантаження ландшафтів засвідчив кореляцію між щільністю та висотністю будівель, щільністю доріг у ландшафті, вмістом основних природних радіонуклідів та вмістом мікроелементів будівельної генези в ґрунті, з одного боку, та змінами гамма-поля території, з іншого. Зроблено висновок про можливість застосування гамма-радіометрії для оцінки будівельного навантаження ландшафтів.

Ключові слова: будівлі, гамма-радіометрія, геохімія, дороги, екологія, ландшафт, мікроелементи, радіонукліди.

Під час виконання прикладних екологічних досліджень є потреба оцінити рівень антропогенної трансформації ландшафту внаслідок будівельного навантаження. Під останнім, в межах цієї статті, ми розуміємо забудову ландшафту (щільність та висотність будівель, щільність доріг з твердим покриттям) та літолого-геохімічну зміненість верхнього шару ґрунту за рахунок будівельного сміття та забруднення мікроелементами, а також радіонуклідами внаслідок вивітрювання будівельних матеріалів. Оцінка будівельного навантаження ландшафтів є значною проблемою і може бути здійснена непрямим способом, за морфологічною та функціональною ознаками – щільністю та висотністю забудови, призначенням будівель тощо [5]. Літолого-геохімічні зміни можуть бути оцінені під час геохімічного вивчення верхнього шару ґрунту та порівняння мікроелементного складу ґрунтів урболандшафтів з місцевим геохімічним фоном, що є досить затратною та складною у виконанні роботою [3].

Відомий досвід інтерпретації результатів гамма-каротажу свердловин як сумарного показника, що відображає наявність в гірських породах трьох основних природних радіонуклідів – ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th . Вклад в сумарну активність кожного з радіонуклідів, за умови рівноважної присутності в гірських породах, є постійним та становить за вмістом в породі 1 г/т калію – близько 60%, а 1 г/т рівноважних урану і торію – 30% та 10%, відповідно [2]. З огляду на спільне походження мікроелементних та радіонуклідних аномалій, що виникають під час забудови та прокладення доріг, ми запропонували спосіб та виконано оцінку будівельного навантаження урболандшафтів методом гамма-радіометрії.

Дослідження виконане в Запорізькій області на узбережжі Азовського моря на косах Федотова, Пересип та в м. Мелітополі (населення 161 тис. чол.). Мережу пікетів на обстежуваних територіях було спроектовано за методом ключових ділянок. Польові радіометричні вимірювання виконано з використанням приладу геологорозвідувального сцинтиляційного СРП-88Н. Вимірювання виконано на висоті 1 м над поверхнею. У місцях виконання радіометричних вимірювань відібрано проби ґрунту (з глибини 0–5 см) для подальшого лабораторного дослідження. Вибірково було зібрано зразки будівельних матеріалів (бетон, шлак, глина, будівельний камінь з кристалічних гірських порід). У лабораторних умовах, у висушених до постійної ваги та просіяних через сито з діаметром отворів 1 мм препаратах ґрунту, гамма-спектрометричним методом вимірювали вміст радіонуклідів. Вміст стабільних ізотопів визначали методом атомної емісії в індуктивно зв'язаній плазмі в 1N HNO₃ витяжках зроблених з препаратів ґрунту.

За результатами вимірювань вмісту хімічних елементів, розраховували сумарний показник забруднення верхнього шару ґрунту (Z_c) та показник структури геохімічної асоціації елементів (M_c %).

Сумарний показник забруднення вираховували за формулою [3, с. 97]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1),$$

де n – кількість аномальних елементів; K_c – коефіцієнт концентрації, що обчислюють як C_i/C_f , де C_i – концентрація речовини на пікеті, C_f – фонові концентрація речовини (місцевий геохімічний фон);

Показник структури геохімічної асоціації елементів обчислювали за формулою [1, с. 100]:

$$M_c \% = \frac{K_c - 1}{Z_c} \cdot 100\%$$

Ландшафтометричну оцінку забудови виконано з використанням мапи території мірилом 1:10000 та результатів польових спостережень. Ландшафтометричний показник забудови обчислювали за формулою:

$$K_{б\gamma\delta} = \frac{S_{б\gamma\delta} \cdot H_{б\gamma\delta} + S_{дор\gamma} \cdot H_{дор\gamma}}{S_{тер}} \cdot 100,$$

де $K_{б\gamma\delta}$ – ландшафтометричний показник забудови, в %; $S_{б\gamma\delta}$ – площа під будинками на ключовій ділянці; $S_{дор\gamma}$ – площа під дорогами з твердим покриттям; $H_{б\gamma\delta}$ – усереднена на ділянці кількість поверхів умовної будівлі; $S_{тер}$ – площа ключової ділянки.

На Азовських косах виконано вимірювання з метою визначити параметри радіаційного порушення ландшафтів унаслідок первинного будівельного

втручання, виявити можливість застосування гамма-радіометрії з метою оцінення будівельного навантаження в умовах низьких значень гамма-фону.

Поверхню Азовських кіс складено біогенним піском з мінімальним вмістом радіонуклідів (табл. 1). Основу радіоактивності піску становить ^{40}K , коливання частки цього нукліду в сумарній активності відкладень не перевищує коефіцієнта варіації 16%. Середнє значення гамма-поля над територією становить 20 імп./сек., що відповідає 0,06 мкЗв/год. Частка знайденого у більшості зразків ^{137}Cs є незначною в сумарній активності відкладень та не перевищує 20%, у разі середнього значення 2%. На такому фоні радіаційний вплив будівельних матеріалів та продуктів їх вивітрювання легко виявити. Середнє значення сумарної радіоактивності будівельних матеріалів, взятих на Азовських косах, перевищує фоновий рівень радіоактивності поверхневих відкладень утричі (табл. 1). Материкові суглинки, відібрані в районі проведення досліджень майже вдвічі перевищують сумарну активність біогенного піску кіс. Встановлено закономірність співвідношення часток фоноутворювальних радіонуклідів в усіх трьох обстежених групах речовин. З даних табл. 1 робимо висновок, що співвідношення радіонуклідів в поверхневих відкладеннях та в будівельних матеріалах є подібним, внаслідок чого гамма-радіоактивність території в межах одного типу ландшафту змінюється не за рахунок зміни частки активності того або іншого радіонукліду, а за рахунок механічного та геохімічного насичення ландшафту будівельними матеріалами та продуктів їх вивітрювання.

Таблиця 1

Частка активності радіонуклідів в пробах пісково-ракушкових відкладень, материкових суглинків, будівельних матеріалів та потужність гамма-фону над поверхнею

Параметр	Пісково-ракушкові відкладення	Материкові суглинки	Будівельні матеріали
^{137}Cs	2 (91)	–	–
^{40}K	78 (16)	85 (10)	85 (6)
^{226}Ra	14 (73)	7 (104)	9 (165)
^{232}Th	6 (68)	8 (60)	6 (31)
Сумарна активність, Бк/кг	150	250	450
Гамма-фон, імп./сек	20	30	60

Примітка: в дужках надано значення коефіцієнту варіації, %.

Виконаний аналіз кореляційного зв'язку між питомою активністю радіонуклідів в поверхневих відкладеннях кіс, потужністю гамма-поля над поверхнею та значенням ландшафтометричного показника забудови свідчить, що між названими параметрами ландшафту існує надійний позитивний зв'язок (табл. 2). Керуючись значеннями коефіцієнтів кореляції, наведених в табл. 2, можна стверджувати, що найбільший вплив на формування гамма-поля над поверхнею має ^{40}K , після нього – ^{226}Ra та ^{232}Th , відповідно, частки їхньої активності в поверхневих відкладеннях.

Результати кореляційного аналізу між вмістом радіонуклідів, потужністю гамма-поля та показником забудови Азовських кіс (при $P = 0,95$)

Параметр	Гамма-поле, імп./сек.	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
^{40}K	1 (0,78)	0			
^{226}Ra	1 (0,53)	0	0		
^{232}Th	1 (0,37)	0	0	1	
$K_{\text{буд}}$	1 (0,71)	0	1	1	1

Примітка: відсутність кореляційного зв'язку показано "0", наявність – "1"; в дужках – значення коефіцієнта кореляції для деяких пар параметрів; $K_{\text{буд}}$ – ландшафтометричний показник забудови.

Під час проведення польових спостережень на косах ми виділили основні типи функціональних ландшафтів, до яких можна зачислити ландшафти: пляжів, берегів лиманів та забудови (у тому числі автодоріг). Особливістю структури функціональних ландшафтів кіс є їхнє простягнення вздовж напрямку кіс. З метою ілюстрації особливостей просторового розподілу радіонуклідів на рисунку показано результати вимірювань питомої активності радіонуклідів за поперечними профілями, що перетинають типові функціональні ландшафти кіс, а також у пробах біогенного піску з двох типових профілів, закладених на косі Федотова.

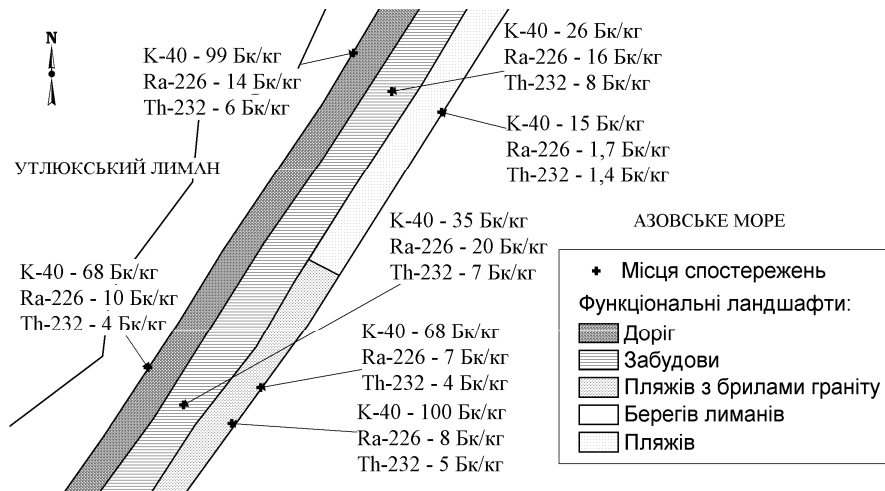


Рис. Питома активність радіонуклідів у зразках поверхневих відкладень, взятих за поперечними профілями через косу Федотова

В автотранспортному ландшафті проби відбирали з обох узбіч дороги із твердим покриттям, на відстані 2–3 м від проїжджої частини. В умовах забудови проби відбирали на середній відстані між будівлями та доріжками з твердим покриттям. В умовах пляжів проби відбирали в літоральній зоні, а в умовах забруднення пляжів купами гранітних брил – на середній відстані між сусідніми

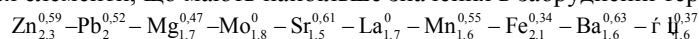
купами (за відстані між купами 50–100 м). На рис. показано, що узбіччям дороги та забудованій території властиві найбільші рівні радіоактивності з деяким переважанням ^{226}Ra та ^{232}Th на забудованій території, а ^{40}K у придорожному ландшафті. На пляжах, у місцях використання для укріплення берегів брил докембрійського граніту Українського кристалічного щита вміст радіонуклідів у пляжному піску в 4–5 разів збільшився, порівняно з фоновою територією, що на рис. розміщена на півночі.

Спостереження на Азовських косах свідчать про достовірну позитивну кореляцію між будівельним навантаженням ландшафтів, збільшенням питомої активності радіонуклідів та, відповідно, рівня гамма-фону над територією.

Спостереження у м. Мелітополі проведено в селітебних ландшафтах, що розвиваються протягом періоду від 50 до 100 років та розміщені за межами безпосереднього впливу промислових підприємств. Це території, де основними джерелами антропогенного навантаження є автодороги та забудова первинна котеджеві одноповерхова або вторинна багатоповерхова, що змінила одноповерхову котеджеву з різною щільністю будівель на ключових ділянках – від 1,5% до 48%. Спостереження також проведено на фонових, за ознакою впливу забудови та доріг, садово-паркових та приміських агроландшафтах з нульовою забудовою та дорожнім покриттям. У місцях спостережень на 30-ти пікетах, було відібрано проби верхнього шару ґрунту для подальшого аналізу щодо вмісту хімічних елементів, виміряно гамма-поле та методом ландшафтометрії обчислено показник забудови.

Унаслідок хімічного аналізу, в зразках верхнього шару ґрунту було виміряно вміст 25-ти хімічних елементів, знайдено більше ніж у половині підданих аналізу проб – 20 елементів. За результатами лабораторних та польових вимірювань було виконано розрахунки значення місцевого геохімічного фону та гамма-фону (середнє значення досліджуваних параметрів на фонових пікетах), обчислено коефіцієнти відношення середніх на території значень досліджуваних параметрів щодо місцевого фону. Для кожного з пікетів було обчислено сумарні показники забруднення (Z_c) та показники структури геохімічної асоціації елементів (M_c). Отримані результати спостережень було також піддано кореляційному аналізу.

За отриманими результатами складено геохімічну формулу асоціації елементів. Сюди включено хімічні елементи, що корелюють (при $R=0,95$) зі значенням потужності гамма-поля у місцях спостережень з коефіцієнтом більше 0,3, або перевищують місцевий фон в 1,5 та більше разів. У формулі верхнім індексом показано коефіцієнт кореляції зі значенням гамма-поля, нижнім – коефіцієнт концентрації хімічного елемента в верхньому шарі ґрунту щодо місцевого геохімічного фону. Жирним шрифтом у формулі виділено літофільні елементи (за Гольдшмідтом, [4]). Елементи розміщені у формулі з ліва на право, в порядку зменшення значення середнього значення показника структури геохімічної асоціації на обстеженій території. Тобто у лівому краї формули знаходяться елементи, що мають найбільше значення в забрудненні території.



З формули асоціації елементів видно, що в селітебних ландшафтах простежено концентрацію, передусім літофільних елементів (80% від числа включених до формули), з яких складаються будівельні матеріали, а також Zn, Pb та Mo, підвищені концентрації яких у верхньому шарі ґрунту разом з літофільними елементами пов'язують з будівельними матеріалами [3]. Останні три хімічних

елементи разом з Fe та Mn потрапляють до ландшафту також з транспортними викидами. Коефіцієнти варіації включених в геохімічну формулу елементів є на рівні менше 100%, з найбільшими значеннями, властивими для Pb та Zn, 97% та 82%, відповідно. Максимальне значення Z_c на обстеженій території сягає 26, при середньому значенні – 7. Наведені значення варіабельності, Z_c та значення перевищення мікроелементів в ґрунті щодо місцевого фону в 1,5–2,5 рази свідчать про те, що забруднення в обстежених урболандшафтах пов'язане з будівельними матеріалами, оскільки для забруднення від будівельної промисловості та енергетики властиві неконтрастні аномалії з коефіцієнтами концентрації, що у 2–3 рази перевищують місцевий геохімічний фон та значеннями $Z_c=10-20$ [3]. Таким способом, можна вважати встановленим, що основним чинником забруднення на обстежених ключових ділянках є розсіювання хімічних елементів від будівельних матеріалів під час будівництва та експлуатації будівель та доріг внаслідок вивітрювання механічної руйнації будівельних матеріалів. Позитивні значення коефіцієнтів кореляції між значенням гамма-поля та вмістом властивих будівельних забруднювачів у ґрунті свідчать про те, що основні фоноутворювальні радіонукліди розсіюються разом з іншими літофільними елементами, що входять до складу будівельних матеріалів. Відповідно, гамма-поле може бути використане в ролі маркера просторових літолого-геохімічних змін ландшафтів під впливом будівельного навантаження.

Порівняння методом кореляційного аналізу просторового розподілу гамма-поля та геохімічного стану ґрунту, з одного боку, з ландшафтометричним показником забудови, з протилежного боку, свідчать, що $K_{буд}$ позитивно корелює (при $P=0,95$) з сумарним показником забруднення (коефіцієнт кореляції – 0,3) за рахунок Ba, Pb, Sr, Zn та зі значеннями гамма-поля, – з коефіцієнтом 0,5. Звідси можна зробити висновок, що у разі збільшення щільності та висотності забудови та щільності доріг у ландшафті, спостерігається зростання вмісту літофільних елементів, в тому числі природних радіонуклідів урану та торію разом з продуктами їхнього розпаду, що є у стані радіаційної рівноваги. Результатом наведеної закономірності є зростання рівня гамма-поля над поверхнею ґрунту.

Запропоновано ландшафтометричний показник забудови території та розраховано забудованість низки урболандшафтів м. Мелітополя та санаторно-курортних зон азовських кіс.

Під час проведення ландшафтометричних, геохімічних та радіологічних досліджень знайдено достовірну позитивну кореляцію між забудовою ландшафтів, збільшенням вмісту низки хімічних елементів у верхньому шарі ґрунту та збільшенням гамма-фону.

Для непрямої експресної оцінки літолого-геохімічної трансформації ландшафтів, що відбувається внаслідок їх будівельного навантаження, запропоновано застосувати метод радіометрії.

Метод радіометрії при оцінці літолого-геохімічної трансформації ландшафтів ґрунтується на вимірюванні фізичної величини, що характеризує гамма-поле, яке складається під впливом природних радіонуклідів ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th та продуктів їх розпаду в стані радіоактивної рівноваги. Розташування передавача можна представити як точку в однорідному безкінечному середовищі з рівномірною розподіленою в об'ємі активністю.

1. *Авессаломова И. А.* Геохимические показатели при изучении ландшафтов: Учеб.-метод. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 108 с.
2. *Кожевников Д. А.* Петрофизическая интерпретация данных гамма-метода / Материалы Московской Международной конференции по каротажу скважин проводимой с участием SPWLA 08–11 сентября 1998 года. <http://www.petrogloss.narod.ru/PetroGam.htm>.
3. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения городов химическими элементами / Ревич Б. А., Сагет Ю. Е., Смирнова Р. С., Сорокина Е. П. М.: ИМГРЭ, 1982. 111 с.
4. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А. П. Соловов, А. Я. Архипов, В. А. Бугров и др. М.: Недра, 1990. 335с.
5. *Тютюнник Ю. Г.* Идентификация, структура и классификация ландшафтов урбанизированных территорий / География и природные ресурсы – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. № 1. С. 22–28.

APPLICATION OF GAMMA-RADIOMETRY FOR THE ESTIMATION OF LITHOLOGIC-GEOCHEMICAL TRANSFORMATION OF LANDSCAPES UNDER ACT OF BUILDING

D. Ganzha, R. Ganzha

*Prekarpathian national University named after V. Stefanyk, Institute of natural sciences
Galytska Str., 201, UA-76000 Ivano-Frankivsk, Ukraine
e-mail: dmagan@rambler.ru.
Higher vocational school No 21
Tysmenytska Str., 248, UA-76000 Ivano-Frankivsk, Ukraine*

The procedure and the estimation of a build loading of landscapes by gamma-ray radiometry is offered. A supervision is conducted on 55 representative areas, which located in not only backgrounds territories, but also in urban landscapes with the different degree of a build loading. The estimation of a build loading is conducted by landscapemetry and by radiological, geochemical methods. Maintenance of radionuclides and stable isotopes is measured in overhead soil layers. Gamma-ray radiometry of territory is conducted. The correlation analysis of different parameters of a build loading landscapes demonstrates correlation between a closeness and mass of buildings and roads in a landscape, maintenance of basic natural radionuclides, maintenance of microelements of a build genesis in soil, from one side and by the changes of gamma-ray field of territory, from other. A conclusion is done about possibility of application of gamma-ray radiometry for the estimation of a build loading of landscapes.

Key words: buildings, gamma-radiometry, geochemistry, roads, ecology, landscape, microelements, radionuclides

Стаття надійшла до редколегії 15.02.2008

Прийнята до друку 08.07.2008