

**ДИНАМІКА ЗМІНИ РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНІЧНОГО ФОНУ З
РОЗВИТКОМ ГІРНИЧИХ РОБІТ У ГРАНІТНОМУ КАР'ЄРІ**

О. Я. Тверда, А. О. Меркулова, К. К. Ткачук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна.

E-mail: tverdaya@ukr.net, nastymmail08@gmail.com, kkttkk297@gmail.com

Розглянуто закономірність формування радіаційно-гігієнічного фону гранітних кар'єрів та його вплив на безпеку праці персоналу та стан навколишнього середовища на основі даних гранітного кар'єра Малинського камнедробильного заводу. Встановлено залежність показників гамма-фону кар'єра від висоти уступу, що слугує головною передумовою розробки ефективних заходів щодо зменшення радіаційного навантаження на здоров'я працюючих і оточуюче середовище в локальних осередках підприємств будіндустрії.

Ключові слова: радіаційно-гігієнічний фон, радіаційне навантаження, будівельні матеріали, кар'єр, граніт, висота уступу.

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО
ФОНА С РАЗВИТИЕМ ГОРНЫХ РАБОТ В ГРАНИТНОМ КАРЬЕРЕ**

О. Я. Тверда, А. А. Меркулова, К. К. Ткачук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина.

E-mail: tverdaya@ukr.net, nastymmail08@gmail.com, kkttkk297@gmail.com

Рассмотрена закономерность формирования радиационно-гигиенического фона гранитных карьеров и его влияние на безопасность труда персонала и состояние окружающей среды на основе данных гранитного карьера Малинского камнедробильного завода. Установлена зависимость показателей гамма-фона карьера от высоты уступа, что служит главной предпосылкой разработки эффективных мер по уменьшению радиационной нагрузки на здоровье работающих и окружающую среду в локальных очагах предприятий стройиндустрии.

Ключевые слова: радиационно-гигиенический фон, радиационная нагрузка, строительные материалы, карьер, гранит, высота уступа.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У зв'язку зі зростаючими масштабами радіоактивного забруднення планети, особливу увагу слід звернути на будівельні матеріали. Так як значна територія України розташована на Українському кристалічному щиті, запаси будівельного каменю в нашій державі досить великі, а обсяги виробництва щебеню та будівельної продукції з декоративного каменю зростають з кожним роком [1]. Всі кристалічні гірські породи вміщують такі природні радіонукліди як радій-226, торій-232, калій-40, уран-238 і уран-234, тому національними нормами радіаційної безпеки встановлено жорсткий контроль за вико-

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

ристанням продукції з природного каменю. Разом з тим всі кар'єри будіндустрії характеризуються підвищеним радіаційним фоном, а території радіаційного забруднення зростають за рахунок розширення кар'єрів, відвалів та розсіювання сировини [2].

У зв'язку з цим вивчення закономірностей формування радіаційних полів в гранітних кар'єрах будіндустрії та оцінка їх впливу на умови і безпеку праці є досить актуальною науково-практичною задачею, якій присвячена дана стаття. Однією з важливих проблем у видобуванні було-щебеневої сировини і блоків природного декоративного каменю є комплексне використання як самої мінеральної сировини, так і розкритих та вмісних порід. Це в значній мірі дозволяє зменшити негативний вплив каменедобувних і каменепереробних комплексів на оточуюче геологічне середовище, а також в більшій мірі задовольнити потреби будіндустрії з однієї сторони і зменшити радіаційне навантаження на самих підприємствах з іншої. На жаль, техногенні утворення на цих підприємствах часто слугують джерелами забруднення суміжних з підприємством територій токсичними речовинами і, в першу чергу, радіонуклідами. В зв'язку з неоднорідністю будови нерудної і декоративної мінеральної сировини і розподілу в них мінералів-домішок отримана з неї щебенева, облицювальна та архітектурно-будівельна продукція може стати джерелом опромінення людини за рахунок довгоживучих природних радіонуклідів і продуктів їх розпаду, які містяться в гірських породах і мінералах [3–5]. А тому доцільним і актуальним є вивчення радіоактивності мінеральної сировини, її відходів і самої продукції, а також іонізаційних полів на радіаційно-забруднених осередках підприємства. Пізнання закономірностей формування на гранітних кар'єрах радіаційно-гігієнічного фону і радіоактивного забруднення слугує головною передумовою розробки ефективних заходів щодо зменшення радіаційного навантаження на людей і оточуюче середовище в локальних осередках підприємств будіндустрії.

Огляд стану проблеми комплексного використання мінеральної і техногенної сировини у виробництві будівельних матеріалів свідчать, що продукти, вміщують радіонукліди, забезпечують додатковий внесок в техногенний радіаційний фон, а природна радіоактивність будівельних матеріалів є одним із основних джерел еквівалентної поглиненої дози для населення. А тому сировина для виробництва будівельних матеріалів потребує радіаційно-гігієнічної оцінки і розробки спеціальних методик дослідження [6–7].

Розвитку цих теорій, а також дослідженню фізико-хімічних властивостей, в тому числі радіоактивності гірських порід, мінералів і руд та розробці методів визначення наявності радіонуклідів присвячено багато робіт вітчизняних і зарубіжних вчених: Козлова В. Ф., Дортмана М. Б., Хохрякова О. В., Куликова М. В., Нивина В. А., Ярошинської А. А., Кузіна А. М., Гуськова В. Н., Когана Р. М., Назарова І. М., Неручєва С. Г., Перцова Л. А., Шведова В. П., Петіна С. А. Вивчення впливу радіації на людину та навколишнє середовище здійснювали Кирилов В. Ф., Черкасов Є. Ф., Антонов В. В., Куликов М. В., Чеботина М. Я., Молчанова І. В., Лисиченко Г. В., Тищенко Ю. Є., Шматков Г. Г., Аніщенко О. Л., Бухарєв В. П., Шабалін Б. Г., Семенюк М. П., Пушкарьов О. В., Руденко Л. І.,

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Хан В. Є., Барабаш О. М. [8–9]. Вивченням радіаційної безпеки життєдіяльності людини, умов праці в радіаційно забруднених зонах займалися Коротков П. А., Новоселець М. К., Сигаловський Д.Ю., Ляшенко В.І., Зонов С.П., Каменев Є.Н. [10].

Метою роботи є встановлення закономірностей формування та розвитку радіаційного поля в кар'єрах по видобуванню гранітів на основі динаміки зміни радіаційно-гігієнічного фону з розвитком гірничих робіт.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для аналізу радіаційного фону були взяті значення гамма-фону на п'яти уступах гранітного кар'єру Малинського каменедробильного заводу. В табл. 1 наведені середні значення гамма-фону по кожному уступу.

Таблиця 1 – Середні значення гамма-фону на уступах гранітного кар'єру Малинського каменедробильного заводу за вибраними перерізами

Висотна позначка, х м	58	72	99	124	143
Гамма-фон, у мкР/год	19,98	18,17	17,03	16,49	9,9

Дослідження впливу висоти уступу гранітного кар'єру на його радіаційний фон проводилося з використанням методу однофакторного дисперсійного аналізу. Обчислена дисперсія, зумовлена коливаннями значень в середині варіантів – 0,57; дисперсія, що виражає коливання середніх в варіантах відносно загальної середньої – 307,24. Емпіричне значення критерія Фішера ($F_{\text{емп}}$) – 539,02.

$$F_{\text{емп}} = \frac{S_{\phi}}{S_{\text{ост}}} = \frac{307,24}{0,57} = 539,02, \quad (1)$$

де S_{ϕ} – факторна дисперсія, що виражає коливання середніх в варіантах відносно загальної середньої; $S_{\text{ост}}$ – остаточна дисперсія, зумовлена коливаннями значень в середині варіантів.

При перевірці гіпотези про рівність дисперсій, критичне ($F_{\text{кр}}$) значення для певного рівня значимості і відповідних чисел ступеней свободи (2.45) менше за обчислене за даними дослідження (539,02), отже вважається, що дослідні дані суперечать гіпотезі про рівність дисперсій. Оскільки нульова гіпотеза була відкинута, підтверджується залежність показників γ -фону кар'єра від висоти уступу.

Для оцінки тісноти зв'язку між висотними позначками і величиною гамма-фону використано коефіцієнт кореляції по Пірsonу:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

де \bar{x} – середнє значення величини x ; \bar{y} – середнє значення величини y .

**ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ
РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

У табл. 2 наведено необхідні для розрахунку коефіцієнта кореляції проміжні дані і їх суми.

Таблиця 2 – Проміжні розрахунки

№	x	y	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$
1	58	19,98	-41,2	3,2	-131,84	1697,44	10,24
2	72	18,17	-27,2	2,2	-59,84	739,84	4,84
3	99	17,03	-0,2	1,2	-0,24	0,04	1,44
4	124	16,49	24,8	0,2	4,96	615,04	0,04
5	143	9,9	43,8	-6,8	-297,84	1918,44	46,24
Σ	-	-	-	-	-484,8	4970,8	62,8

Коефіцієнт кореляції Пірсона:

$$r_{xy} = \frac{-484,8}{70,504 \cdot 7,925} = -0,868.$$

Так як абсолютне значення розрахованого коефіцієнта кореляції більше критичного значення при ймовірності помилки $p = 0,05$, взятого з таблиці ($0,868 > 0,81$), відхиляється нульова гіпотеза про відсутність кореляційної залежності між вибірками і приймається альтернативна гіпотеза про статистичну значущість на 5 % рівні (ймовірність помилки 0,05) відмінності коефіцієнта кореляції від нуля, і наявності зв'язку між вибірками.

Значення коефіцієнту кореляції, яке близьке до 1, свідчить про досить тісний зв'язок між висотою уступу кар'єра та показником γ -фону.

Припустимо, що зміна величини гамма-фону від висоти уступу кар'єра має лінійну залежність.

$$y = a x + b, \quad (3)$$

де y – значення гамма-фону, мкР/год; x – висота уступу кар'єра, м. a , b – коефіцієнти регресії.

З метою побудови емпіричної формули методом найменших квадратів знаходимо коефіцієнти a і b . Для цього складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} nb + a \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} 54174 \cdot a + 496 \cdot b = 7613,51 \\ 496 \cdot a + 5 \cdot b = 81,57 \end{cases}$$

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

За результатами розрахунку встановлено лінійну залежність величини гамма-фону від висоти уступу кар'єра з коефіцієнтами регресії $a = - 0,096209$; $b = 25,8579$. Рівняння лінійної залежності має вигляд $y = 25,8579 - 0,096209 \cdot x$. Графічно це рівняння зображено на рис. 1. При зменшенні висоти уступу кар'єра (збільшенні глибини) гамма-фон зростає.

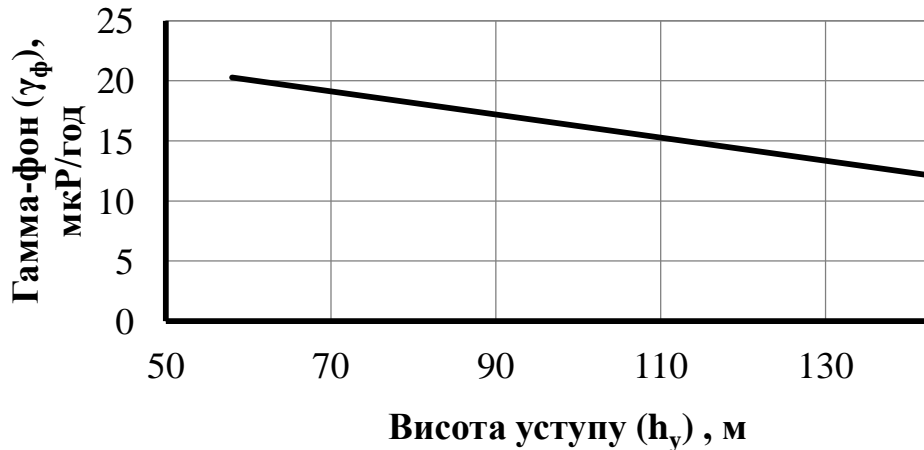


Рисунок 1 – Лінійна залежність величини гамма-фону $\gamma_{\text{ф}}$ від висоти уступу кар'єра $h_{\text{у}}$.

Для більш точного визначення залежності радіаційного фону на гранітному кар'єрі виконуємо інтерполяцію за допомогою полінома Лагранжа. Поліном Лагранжа 4-го ступеня:

$$L(x) = 19,98 \cdot l_0 + 18,17 \cdot l_1 + 17,03 \cdot l_2 + 16,49 \cdot l_3 + 9,9 \cdot l_4, \quad (5)$$

де l_0, l_1, l_2, l_3, l_4 – базисні функції.

$$L(x) = -9,8271 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 + 3,2073 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 - 0,0365 \cdot x^2 + 1,6321 \cdot x - 3,2149.$$

Графік залежності висоти уступу кар'єра від гамма-фону для полінома Лагранжа 4-го ступеня представлено на рис. 2.

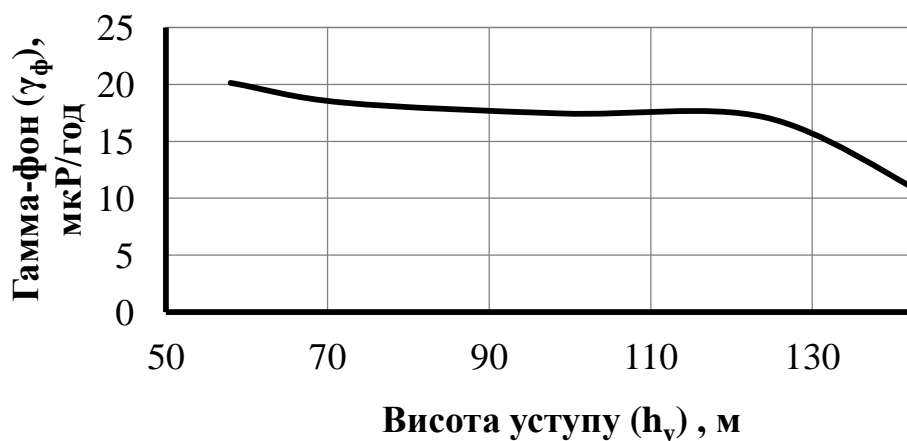


Рисунок 2 – Залежність величини гамма-фону від висоти уступу кар'єра для полінома Лагранжа 4-го ступеня

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Визначено, що гамма-фон поступово спадає при збільшенні висотної позначки (зменшенні глибини кар'єра) від 60 до 120 м. Після висотної позначки 120 м радіаційний фон кар'єра більш різко зменшується (приблизно у 1,5 рази).

ВИСНОВКИ.

1. У статті досліджено залежність зміни радіаційного фону від висоти уступу кар'єра. Залежність показників підтверджена однофакторним дисперсійним аналізом за критерієм Фішера-Снедекора ($F_{\text{емп}} = 539,02 > F_{\text{кр}} = 2,45$).

2. Щільність зв'язку визначено за коефіцієнтом кореляції по Пірsonу. Значення коефіцієнту кореляції (0,868) близьке до 1, що свідчить про досить тісний зв'язок між параметрами, що розглядаються.

3. Залежність встановлено методом найменших квадратів та за допомогою полінома Лагранжа. Зміна гамма-фону з глибиною кар'єру по локальним площинам розподілу кар'єру описується лінійною залежністю. Гамма-фон відпрацьованого кар'єрного простору збільшується з заглибленням кар'єру, погіршуючи умови праці робітників. Збільшення радіаційного фону з заглибленням кар'єру зумовлено екрануванням радіаційного поля бортами і відкосами кар'єру та більшим вмістом стійких радіоактивних акцесорних мінералів в глибинних горизонтах свіжих гранітів.

4. Встановлення закономірностей зміни іонізуючих полів і радіоактивного забруднення в кар'єрах по видобуванню каменю на щебінь, облицювальну та архітектурно-будівельну продукцію з розвитком гірничих робіт є актуальною науковою проблемою. Результати досліджень необхідні для розробки заходів щодо зменшення радіаційного навантаження на персонал та оточуюче середовище.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тверда О. Я., Меркулова А. О. Визначення впливу висоти уступу гранітного кар'єра на його радіаційний фон // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Ресурсозбереження і екологічна безпека». – Київ. – 2016. – № 9. – С. 76–78.

2. Пилипенко М. І. Радіаційні вимірювання: принципи, поняття, одиниці // Український Радіологічний Журнал. – Харків. – 2000. – С. 81–88.

3. Коваленко Г. Д., Рудя К. Г. Радиоэкология Украины. – К.: Укр. науч. иссл. ин-т. экол. пр., 2001. – 242 с.

4. Бакка Н. Т., Барабаш О. Н. Радиоэкология (Монография). – Ж: РИО ЖІТІ, 2001. – 314 с.

5. Шматков Г. Г., Анищенко О. Л. Исследование миграции радионуклидов и тяжелых металлов от объектов-накопителей радиоактивных отходов // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы природопользования, сталого развития и техногенной безопасности». — Днепропетровск, 2001. – С. 173–174.

6. Мельничук П. П., Барабаш О. М. Радіаційно-безпечне використання декоративних гранітів Житомирщини у виробництві облицювальної та архітектурно-будівельної продукції. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки». – Дніпропетровськ. – 2001. – С. 175–178.

7. Бакка М. Т., Барабаш О. М. Методика визначення рівнів радіації в гранітних кар'єрах // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – Житомир. – 2003. – № 24. – С. 199–201.

8. Лисиченко Г. В., Тищенко Ю. Є. Динаміка радіоекологічної ситуації в елементарному ландшафті вологого бору Київського Полісся // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки». – Дніпропетровськ. – 2001. – С. 171–173.

9. Барабаш О. М., Мельничук П. П. Механізми дії на людину кар'єрної радіації малих доз і низької інтенсивності // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – Житомир. – 2001. – № 19. – С. 170–171.

10. Радіаційна безпека життєдіяльності / П. А. Коротков, М. К. Новоселець, Д. Ю. Сигаловський – Ж.: РВВ ЖІТІ, 2002. – 310 с.

DYNAMICS OF RADIATION HYGIENIC BACKGROUND CHANGES DURING MINING DEVELOPMENT IN THE GRANITE QUARRIES

O. Tverda, A. Merkulova, K. Tkachuk

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky KPI»
prosp. Peremogu, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: tverdaya@ukr.net, nastymmail08@gmail.com, kkttkk297@gmail.com

Purpose. Installation the patterns of formation and development of the radiation field in granite quarries based on dynamics of the radiation-hygienic background changes during mining development. **Methodology.** The pattern formation of the radiation background of granite quarries and their influence on staff safety and state of environment according with data by the Malin stone-crushing plant based on single-factor analysis of variance are considered. **Results.** The dependence of the gamma background on the height of the quarry ledge is established. The gamma background of the granite quarry increases with the depth worsening the working conditions. **Originality.** The dependence of the parameters is verified by one-dispersion-analysis using Fisher-Snedecor criterion. The density connection is determined by Pearson's correlation coefficient. By using the Lagrange polynomial authors determined that the gamma background gradually decreases with an increasing the height of the quarry ledge (decreasing the depth of granite quarry) from 60 to 120 m. After 120 m the radiation of the quarry decreases more sharply. **Practical value.** The research results are necessary for development measures to reduce the radiation exposure on staff and the environment. References 10, tables 2, figures 2.

Key words: the radiation background, radiation exposure, building materials, quarry, granite, the height of the ledge.

REFERENCES

1. Tverda, O. Ya. and Merkulova, A. O. (2016) "Vyznachennia vplyvu vysoty ustupu hranitnoho kar'iera na yoho radiatsiyni fon" [Determining the impact of ledge height of the granite pit to the radiation background] Proceedings of the International Scientific Conference "Resource and Environmental Security". Kyiv, vol. 9, pp. 76–78.

2. Pylypenko, M. I. (2000) "*Radiatsiini vymiriuvannia: pryntsypy, poniattia, odynytsi*" [Radiation measuring: principles, concepts, unity] Ukrainian Journal of Radiology. Kharkiv, pp. 81–88.
3. Kovalenko, G. D. and Rudyk, K. G. (2001) "*Radioekologiya Ukrainyi*" [Ukraine Radioecology] K.: Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems. – 242 p.
4. Bakka, N. T. and Barabash, O. N. (2001) "*Radioekologiya (Monografiya)*" [Radioecology (Monography)] Zh: RIO ZhITI. – 314 p.
5. Shmatkov, G. G. and Anischenko, O. L. (2001) "*Issledovanie migratsii radionuklidov i tyazhelyih me-tallov ot ob'ektov-nakopiteley radioaktivnyih othodov*" [The investigation of the migration of radionuclides and heavy metals from the storage of radioactive waste] Proceedings of the international scientific-practical conference "Environmental problems, sustainable development and technogenic safety". Dnepropetrovsk, pp. 173–174.
6. Melnychuk, P. P. and Barabash, O. M. (2001) "*Radiatsiino-bezpechne vykorystannia dekoratyvnykh hranitiv Zhytomyrshchyny u vyrobnytstvi oblytsiuvalnoi ta arkhitekturno-budivelnoi produktsii*" [Radiation safe use of the decorative granite of Zhytomyr in manufacturing, architectural and construction products] Proceedings of the international scientific-practical conference "Environmental problems, sustainable development and technogenic safety". Dnepropetrovsk, pp. 173–174.
7. Bakka, N. T. and Barabash, O. N. (2003) "*Metodyka vyznachennia rivniv radiatsii v hranitnykh kar'ierakh*" [The method of determining the levels of radiation in the granite pits] Visnyk ZhITI. Tekhnichni nauky. Zhytomyr, vol. 24, pp. 199–201.
8. Lysychenko, H. V. and Tyshchenko, Iu. Ie. (2001) "*Dynamika radioekologichnoi sytuatsii v elementarnomu landshafti volohoho boru Kyivskoho Polissia*" [The dynamics of radioecological situation in the elementary landscape of the moist forest of Kyiv Polissya] Proceedings of the international scientific-practical conference "Environmental problems, sustainable development and technogenic safety". Dnepropetrovsk, pp. 171–173.
9. Barabash, O. N. and Melnychuk, P. P. (2001) "*Mekhanizmy dii na liudynu kar'iernoї radiatsii malykh doz i nyzkoi intensyvnosti*" [The mechanisms of the action of low doses and low intensity radiation on humans] Visnyk ZhITI. Tekhnichni nauky. Zhytomyr, vol. 19, pp. 170–171.
10. Korotkov, P. A., Syhalovskyi, D. Iu. and Novoselets, M. K. (2002) "*Radiatsiina bezpeka zhyttiediialnosti*" [Radiation Safety]. Zh.: RVV ZhITI. – 310 p.

Стаття надійшла 21.12.2016.