

- [2] Закон України (2012, Жовт. 16). «Про державну геологічну службу» [Електрон. ресурс]. Доступно: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1216-14>.
- [3] Податковий кодекс України (2014, січень) *Вісник Міністерства доходів і зборів України*, № 2-3, с. 430.
- [4] Б. І. Малюк, *Надрокористування у країнах Європи і Америки.*: Київ, Україна: Географіка, 2003.
- [5] М. М. Коржнев, В. А. Михайлов, та В. С. Міщенко, *Основи економічної геології.* Київ, Україна: Логос, 2006.
- [6] Г. І. Рудько, О. В. Плотніков, М. М. Курило, та С. В. Радованов, *Економічна геологія родовищ залістих кварцитів.* Київ, Україна: «Академпрес», 2010.
- [7] О. Вітенко, та Г. Коваленко, «Плата за користування надрами», *Вісник податкової служби*, № 14, с.18-19, 2012.
- [8] О. Толкач, «Багатофакторна геометризація Курянівського родовища пірофілітових сланців» *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».* Серія «Гірництво», вип. 27, с. 76- 81, 2015.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2017р.

УДК 504.55.054:622+504.064.45

DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.101742

О.Я. Тверда, к.т.н, **І.В. Косяк**, студ. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РОСЛИННИХ ТЕСТ-СИСТЕМ ДЛЯ ОЦІНКИ ТОКСИЧНОСТІ ҐРУНТІВ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ ГРАНІТНИХ КАР'ЄРІВ

O.Ya. Tverda, I.V. Kosiak (National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»)

RATIONALE PLANT TEST SYSTEMS FOR ASSESS THE TOXICITY OF SOIL IN NEARBY TERRITORY OF GRANITE DUMPS

*Проведено аналіз існуючих критеріїв відбору рослинних тест-систем з метою оцінки впливу відвалів гранітних кар'єрів на стан ґрунтів прилеглих територій. Визначено переваги та недоліки рослин-біоіндикаторів найбільш поширених на територіях концентрації гранітних кар'єрів в Україні. Застосовано метод аналізу ієрархій для обґрунтування застосування цибулі ріпчастої (*Allium sera* L.) та крес-салату (*Lepidium sativum* L.) для оцінки екологічного стану ґрунтів прилеглих територій гранітних кар'єрів, що дасть змогу отримати повну та достатню інформацію не лише про об'єми забруднення, а й оцінити результати впливу такого забруднення.*

Ключові слова: біоіндикація; ґрунт; граніт; відвал; екологічна оцінка; фітотоксичність; рослинні тест-системи; метод аналізу ієрархії.

*Проведен анализ существующих критериев отбора растительных тест-систем для оценки влияния отвалов гранитных карьеров на состояние почв прилегающих территорий. Определены преимущества и недостатки растений-биоиндикаторов наиболее распространенных на территориях концентрации гранитных карьеров в Украине. Применен метод анализа иерархий для обоснования применения лука репчатого (*Allium cepa* L.) и кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) для оценки экологического состояния почв прилегающих территорий гранитных карьеров, что позволит получить полную и достаточную информацию не только об объемах загрязнения, но и оценить результаты воздействия такого загрязнения.*

Ключевые слова: биоиндикация; почва; гранит; отвал; экологическая оценка; фитотоксичность; растительные тест-системы; метод анализа иерархий.

*The analysis of existing selection criteria plant test systems to assess the impact of dumps granite quarries on the state of soil surrounding areas. Advantages and disadvantages of bioindicator plants most common in areas of concentration granite quarries in Ukraine. The method of hierarchy analysis to justify the use of onion (*Allium cepa* L.) and thale cress (*Lepidium sativum* L.) to assess the environmental condition of the soil surrounding areas granite quarries, which will allow to obtain complete and sufficient information not only about ' connectors pollution, but also to assess the effects of such pollution.*

Keywords: bioindication; soil; granite; heap; ecological assessment; phytotoxicity; plant test systems; hierarchy analysis method.

Актуальність роботи. Навколо гранітних кар'єрів утворюються зони негативного впливу на навколишнє середовище. Діяльність гірничого підприємства впливає як на стан навколишнього середовища регіону загалом, так і на рівень родючості ґрунтів, вміст шкідливих речовин в сільськогосподарських культурах, що вирощуються на них [1], [2].

Спостереження і контроль за станом ґрунтів проводиться, як правило, лише за допомогою фізико-хімічних аналізів, які визначають вміст окремих забруднювачів. Однак ці аналізи не дають змогу оцінити вплив забруднювачів на живі організми, в тому числі людину. Сьогодні альтернативними при дослідженні стану ґрунтів прилеглих до територій кар'єрів є біологічні методи, зокрема біоіндикація. Біоіндикація дає змогу визначити сумісну біологічну активність впливу фізико-хімічних факторів на природне середовище [3]. Питанням оцінки забруднення ґрунтів за допомогою методів біоіндикації займалось багато провідних вчених, серед них Горова А.І., Губачов О.І., Маячкіна Н.В., Чугунова М.В., Бешлей З.М., Бешлей С.В., Баранов В.І., Терек О.І., Миленька М.М. та інші.

Основний принцип біоіндикації – це пошук індикатора відповідного фактора чи системи яку індукують. Наявність певних зв'язків між подіями, логічність тверджень і достовірність фактів ще не означають можливість і доцільність використання цих даних для індикації. Кожен біоіндикатор має критичний рівень інформації, поза межами якого він не лише не працює, а може

суттєво заплутати інформацію і навіть спотворити її [4]. Тому, для достовірності результатів дослідження, важливим є етап вибору тест-культури і параметрів зміни її життєдіяльності. На сьогоднішній день даних про обґрунтування вибору рослинних тест-систем для фітотоксичної оцінки ґрунтів прилеглих саме до гранітних кар'єрів існує недостатньо.

Мета роботи – обґрунтування вибору рослинних тест-систем для оцінки впливу відвалів гранітних кар'єрів на стан ґрунтів прилеглих територій, за допомогою методу аналізу ієрархій.

Матеріали і результати досліджень. Важливою характеристикою будь-якого біоіндикатора є його достовірність. Існує багато рекомендацій щодо використання того чи іншого виду рослин для біоіндикації ґрунтів, проте єдиних загальноприйнятих способів оцінки достовірності не розроблено. Тому здійснюючи біоіндикацію, слід враховувати шість основних принципів вибору тест-культури.

1. Простота. Індикатори повинні бути доволі прості й представлені у зрозумілий спосіб, інакше біоіндикація втрачає сенс.

2. Наукова ймовірність. Дані, отримані під час використання індикаторів, мають бути доступними для детального розгляду і забезпечувати можливість подальшої інтеграції та екстраполяції. Результати повинні бути можливими для їх наукового доведення.

3. Технічна досяжність. Індикатор має бути отриманий на основі показників, ознак, які б відповідали вимогам моніторингу, адже вимоги часу і вартості не дають можливості накопичувати необмежену базу даних.

4. Попереджувальна здатність. Індикатор має забезпечити картину не лише наявних умов в екосистемі і тенденції зміни таких умов, а й вказати на можливість деградації до того, як виникне загроза.

5. Просторове висвітлення. Інтерпретаційні обмеження індикаторів мають бути зрозумілими. Індикатори, які виконують функцію забезпечення інформацією на глобальному рівні, не можна безпосередньо використовувати на регіональному чи локальному рівні.

6. Гнучкість. Це торкається таких аспектів, як можливе розширення меж дії індикатора, інтерпретації часових змін, оцінки інших опосередкованих факторів, отримання певної додаткової інформації тощо [5], [6].

При виборі тест-організмів суттєвим є використання біотестів, найчутливіших до дії забруднюючих компонентів. Друга важлива вимога щодо тест-організму полягає в тому, що дія токсиканта на нього має обов'язково викликати зворотну реакцію організму. Окрім того, тест-організми в межах одного дослідження мають бути візуально однаковими. Це означає, що для рослин-біоіндикаторів необхідне обов'язкове колибрування насіння за масою та розмірами. Для біоіндикаторів не придатні організми, пошкоджені хворобами, шкідниками та паразитами [7].

Отже, виходячи з вищенаведеного, виділено наступні критерії, які повинен задовольняти оптимальний рослинний тест-організм :

- бути типовим видом для природної зони, де розташовується об'єкт дослідження;
- бути поширеним на усій досліджуваній території, що дає можливість простежити динаміку забруднення;
- мати високу чисельність у досліджуваному екотопі;
- мати чітко виражену кількісну і якісну реакцію на порушення характеристик місця існування від екологічної норми;
- мати добре вивчену біологію виду тест-організму;
- мати короткий період онтогенезу, щоб була можливість відстеження впливу фактора на наступні покоління.

У науковій літературі наведено приклади застосування різних рослинних тест-об'єктів для фітотоксичної оцінки стану ґрунтів [8]. Проведено аналіз даних джерел та визначено найбільш поширені на територіях концентрації гранітних кар'єрів в Україні (Житомирська та Київська обл.) види рослин-індикаторів ґрунту, а саме: редис посівний (*Raphanus sativus* var. *Radicula* Pers.), крес-салат (*Lepidium sativum* L.), цибуля ріпчаста (*Allium cepa* L.), пшениця (*Triticum sativum*) та горох (*Pisum sativum*).

При виборі тест-організмів для дослідження впливу гранітних кар'єрів на ґрунти прилеглих територій враховувались наявність чутливої тест-реакції до зміни концентрації забруднювачів наявних у досліджуваних ґрунтах (Cr, U, Th, Zn [9]), структурні та функціональні ознаки біоіндикаторів (табл.1).

Таблиця 1

Параметри досліджуваних тест-організмів [10] - [14]

Тест-рослина	Параметр				
	Період онтогенезу, днів	Біологічна продуктивність, ц/га	Чутлива тест- реакція на хімічний елемент		
			Cr	U/ Th	Zn
Редис посівний	25-45	110±10,5	—	+	—
Крес-салат	15-20	10±1,2	+	+	+
Цибуля ріпчаста	12-16*	13,6±0,9	+	+	+
Пшениця	20-24*	32,6±10,2	+	—	+
Горох посівний	65-85	35,83±1,07	+	—	+

*- взято 1 та 2 періоди онтогенезу, яких достатньо для проведення біоіндикації

Для досягнення поставленої задачі застосовано метод аналізу ієрархій, який дозволив обрати найбільш оптимальний тест-організм [15], [16]. Кожному тест-організму (Р) призначено значення параметрів (Н). За бальною системою

оцінювалась відносна важливість кожного параметру для кожної з тест-рослин (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця логічного порівняння параметрів тест-рослин

Тест-рослина	Параметр				
	Період онтогенезу, днів (Н1)	Біологічна продуктивність, ц/га (Н2)	Чутлива тест-реакція на хімічний елемент		
			Cr (Н3)	U/Th (Н4)	Zn (Н5)
	$\alpha_0^1=2$	$\alpha_0^2=1$	$\alpha_0^3=3$	$\alpha_0^4=5$	$\alpha_0^5=4$
Редис посівний (P1)	$\alpha_1^1=2$	$\alpha_1^2=5$	$\alpha_1^3=1$	$\alpha_1^4=3$	$\alpha_1^5=1$
Крес-салат (P2)	$\alpha_2^1=4$	$\alpha_2^2=1$	$\alpha_2^3=4$	$\alpha_2^4=5$	$\alpha_2^5=3$
Цибуля ріпчаста (P3)	$\alpha_3^1=5$	$\alpha_3^2=2$	$\alpha_3^3=5$	$\alpha_3^4=4$	$\alpha_3^5=5$
Пшениця (P4)	$\alpha_4^1=3$	$\alpha_4^2=3$	$\alpha_4^3=3$	$\alpha_4^4=1$	$\alpha_4^5=4$
Горох посівний (P5)	$\alpha_5^1=1$	$\alpha_5^2=4$	$\alpha_5^3=2$	$\alpha_5^4=2$	$\alpha_5^5=2$

Виконано розрахунок відносного ступеня важливості параметрів тест-рослин при проведенні біоіндикації ґрунтів. Для порівняння параметрів тест-рослин та визначення найбільш відповідної рослинної тест-системи для оцінки стану ґрунтів прилеглих до гранітних відвалів за аналогією з табл.2 складено матриці аналізу (табл. 3-7).

Таблиця 3

Заповнення матриці та розрахунок коефіцієнтів значущості

Параметри тест- рослин	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
Н1	1	$A_0^{12} = \frac{\alpha_0^1}{\alpha_0^2}$	$A_0^{13} = \frac{\alpha_0^1}{\alpha_0^3}$	$A_0^{14} = \frac{\alpha_0^1}{\alpha_0^4}$	$A_0^{15} = \frac{\alpha_0^1}{\alpha_0^5}$	$B_0^1 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n A_0^{1j}}$	$M_0^1 = \frac{B_0^1}{B_0}$
Н2	$A_0^{21} = \frac{\alpha_0^2}{\alpha_0^1}$	1	$A_0^{23} = \frac{\alpha_0^2}{\alpha_0^3}$	$A_0^{24} = \frac{\alpha_0^2}{\alpha_0^4}$	$A_0^{25} = \frac{\alpha_0^2}{\alpha_0^5}$	$B_0^2 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n A_0^{2j}}$	$M_0^2 = \frac{B_0^2}{B_0}$
Н3	$A_0^{31} = \frac{\alpha_0^3}{\alpha_0^1}$	$A_0^{32} = \frac{\alpha_0^3}{\alpha_0^2}$	1	$A_0^{34} = \frac{\alpha_0^3}{\alpha_0^4}$	$A_0^{35} = \frac{\alpha_0^3}{\alpha_0^5}$	$B_0^3 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n A_0^{3j}}$	$M_0^3 = \frac{B_0^3}{B_0}$
Н4	$A_0^{41} = \frac{\alpha_0^4}{\alpha_0^1}$	$A_0^{42} = \frac{\alpha_0^4}{\alpha_0^2}$	$A_0^{43} = \frac{\alpha_0^4}{\alpha_0^3}$	1	$A_0^{45} = \frac{\alpha_0^4}{\alpha_0^5}$	$B_0^4 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n A_0^{4j}}$	$M_0^4 = \frac{B_0^4}{B_0}$
Н5	$A_0^{51} = \frac{\alpha_0^5}{\alpha_0^1}$	$A_0^{52} = \frac{\alpha_0^5}{\alpha_0^2}$	$A_0^{53} = \frac{\alpha_0^5}{\alpha_0^3}$	$A_0^{54} = \frac{\alpha_0^5}{\alpha_0^4}$	1	$B_0^5 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n A_0^{5j}}$	$M_0^5 = \frac{B_0^5}{B_0}$

Продовження табл. 3

Параметри тест-рослин	H1	H2	H3	H4	H5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
Сума	–	–	–	–	–	$B_0 = \sum_{j=1}^n A_0^j$	1

Таблиця 4

Аналіз параметрів тест-рослин та визначення їх ступеня важливості

Параметри тест-рослин	H1	H2	H3	H4	H5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
P1	1	2	0,66	0,4	0,5	0,77	0,13
P2	0,5	1	0,33	0,2	0,25	0,38	0,07
P3	1,5	3	1	0,6	0,75	1,15	0,2
P4	2,5	5	1,66	1	1,25	1,92	0,33
P5	2	4	1,33	0,8	1	1,53	0,27
Сума	–	–	–	–	–	5,75	1

Таблиця 5

Визначення ступеня важливості параметрів рослини-індикатора – редису посівного при дослідженні впливу гранітних кар'єрів на ґрунти

Параметри тест-рослин	H1	H2	H3	H4	H5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
P1	1	0,4	2	0,66	2	1,01	0,17
P2	2,5	1	5	1,66	5	2,53	0,42
P3	0,5	0,2	1	0,33	1	0,51	0,08
P4	1,5	0,6	3	1	3	1,52	0,25
P5	0,5	0,2	1	0,33	1	0,51	0,08
Сума	–	–	–	–	–	6,08	1

Таблиця 6

Визначення ступеня важливості параметрів рослини-індикатора – кресс-салату при дослідженні впливу гранітних кар'єрів на ґрунти

Параметри тест-рослин	H1	H2	H3	H4	H5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
P1	1	4	1	0,8	1,33	2,12	0,34
P2	0,25	1	0,25	0,2	0,33	0,51	0,08
P3	1	4	1	0,8	1,33	1,34	0,22

Продовження табл. 6

Параметри тест-рослин	H1	H2	H3	H4	H5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
P4	1,25	5	1,25	1	1,66	1,21	0,2
P5	0,75	3	0,75	0,6	1	1,00	0,16
Сума	–	–	–	–	–	6,18	1

Таблиця 7

Визначення ступеня важливості параметрів рослини-індикатора – цибулі ріпчастої при дослідженні впливу гранітних кар'єрів на ґрунти

Параметри тест-рослин	H1	H2	H3	H4	H5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
P1	1	2,5	1	1,25	1	1,26	0,21
P2	0,4	1	0,4	0,5	0,4	0,90	0,14
P3	1	2,5	1	1,25	1	1,26	0,21
P4	0,8	2	0,8	1	0,8	1,37	0,23
P5	1	2,5	1	1,25	1	1,26	0,21
Сума	–	–	–	–	–	6,05	1

Таблиця 8

Визначення ступеня важливості параметрів рослини-індикатора – пшениці при дослідженні впливу гранітних кар'єрів на ґрунти

Параметри тест-рослин	H1	H2	H3	H4	H5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
P1	1	1	1	3	0,75	1,18	0,21
P2	1	1	1	3	0,75	1,18	0,21
P3	1	1	1	3	0,75	1,18	0,21
P4	0,33	0,33	0,33	1	0,25	0,39	0,06
P5	1,33	1,33	1,33	4	1	1,74	0,31
Сума	–	–	–	–	–	5,67	1

Таблиця 9

Визначення ступеня важливості параметрів рослини-індикатора – гороху посівного при дослідженні впливу гранітних кар'єрів на ґрунти

Параметри тест-рослин	H1	H2	H3	H4	H5	Середнє геометричне або вага параметра	Ступінь важливості параметра
P1	1	0,25	0,5	0,5	0,5	0,82	0,14
P2	4	1	2	2	2	1,89	0,32

P3	2	0,5	1	1	1	1	0,18
P4	2	0,5	1	1	1	1	0,18
P5	2	0,5	1	1	1	1	0,18
Сума	—	—	—	—	—	5,71	1

Загальний ступінь важливості тест-організмів для дослідження впливу гранітних кар'єрів на ґрунти розраховується наступним чином і складає:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= M_1^1 \times M_0^1 + M_1^2 \times M_0^2 + M_1^3 \times M_0^3 + M_1^4 \times M_0^4 + M_1^5 \times M_0^5 = 0,1716 ; \\
 N_2 &= M_2^1 \times M_0^1 + M_2^2 \times M_0^2 + M_2^3 \times M_0^3 + M_2^4 \times M_0^4 + M_2^5 \times M_0^5 = 0,203 ; \\
 N_3 &= M_3^1 \times M_0^1 + M_3^2 \times M_0^2 + M_3^3 \times M_0^3 + M_3^4 \times M_0^4 + M_3^5 \times M_0^5 = 0,2117 ; \\
 N_4 &= M_4^1 \times M_0^1 + M_4^2 \times M_0^2 + M_4^3 \times M_0^3 + M_4^4 \times M_0^4 + M_4^5 \times M_0^5 = 0,1875 ; \\
 N_5 &= M_5^1 \times M_0^1 + M_5^2 \times M_0^2 + M_5^3 \times M_0^3 + M_5^4 \times M_0^4 + M_5^5 \times M_0^5 = 0,1846 .
 \end{aligned}$$

Результати розрахунку ступеня важливості тест-організмів за допомогою метода аналізу ієрархій свідчить про те, що найбільш оптимальною рослинною тест-системою для дослідження впливу гранітних кар'єрів на екологічний стан ґрунтів прилеглих територій є цибуля ріпчаста (*Allium sera* L.). Проте для отримання більш точної і об'єктивної оцінки, варто застосовувати декілька різних тест-об'єктів. Враховуючи розраховані ступені важливості тест-організмів, запропоновано додатково використовувати крес-салат (*Lepidium sativum* L.).

Висновки

Визначено та обґрунтовано, що для отримання найбільш повної та об'єктивної інформації про екологічний стан ґрунтів прилеглих до гранітних відвалів територій доцільно застосовувати комплекс біоіндикаційних рослинних тест-організмів, а саме цибулі ріпчастої та крес-салату. Рекомендований комплекс біоіндикаторів дасть змогу визначення цитогенетичного впливу гранітних відвалів на рослинні організми, що ростуть на прилеглих ґрунтах.

Посилання

- [1] В. С. Хохряков, *Открытая разработка месторождений полезных ископаемых*. Москва, СССР: Недра, 1991.
- [2] Н. М. Качурин, Л. А. Белая, та Т. В. Корчагина, «Геоэкологический мониторинг и оценка воздействия на окружающую среду горнопромышленного региона», *Экология горного производства*, с. 33-37, 2009.
- [3] А. Г. Бубнов, С. А. Буймова, А. А. Гуцин, и Т. В. Извекова, *Биотестовый анализ - интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды*. Иваново, Россия: ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2007.

- [4] З. М. Бешлей, С. В. Бешлей, В. І. Баранов, та О. І. Терек, «Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності техногенно забруднених субстратів», *Вісник Харківського національного аграрного університету*, №1, с. 97-102, 2014.
- [5] Я. П. Дідух, *Основи біоіндикації*. Київ, Україна: Наукова думка, 2012.
- [6] О. І. Губачов, «Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій», *Науковий вісник КУЕІТУ*, с. 164-171, 2010.
- [7] О. П. Мелехова и др., *Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование*. Москва, Россия: Академия, 2007.
- [8] В. Н. Меженский, *Растения-индикаторы*. Москва, Россия: Сталкер, 2004.
- [9] Р. А. Валерко, «Особливості біотестування антропогенно забруднених ґрунтів з метою їх екотоксичної оцінки», *Вісник ХНАУ*, №2, с. 262-265, 2013.
- [10] В. В. Попович, «Біоіндикація техногенних едафотопів Львівського міського сміттєзвалища з допомогою тесту на крес-салат», *Вісник ЛДУ БЖД*, №13, с. 107-111, 2016.
- [11] В. А. Семенов, и А. В. Любченко, «Хозяйственно-биологические признаки лука репчатого сорта Догадка», *Новые технологии*, №4, с. 1-7, 2009.
- [12] Н. Н. Чернышева, Л. П. Хлебова, и Р. Д. Пронина, «Использование тест-системы Allium Cera L. для оценки генотоксичности воды р. Чумыш», *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, №3, с. 90-95, 2016.
- [13] Г. А. Давиденко, та Н. К. Сенченко, «Порівняльна продуктивність сортів озимої пшениці в умовах Великописарівського району Сумської області», *Вісник Сумського національного аграрного університету*, №3, с. 198–199, 2015.
- [14] М. О. Колесніков, «Вплив токоферолу на адаптивний стан та формування біологічної продуктивності гороху посівного (*Pisum sativum* L.)», *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна*, №1129, с. 129-135, 2014.
- [15] А. Г. Алексанян, та О. Я. Тверда, «Оцінка стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації», *Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво"*, №24, с. 122-126, 2014.
- [16] Т. Л. Саати, *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва, СССР: Радио и связь, 1989.

Стаття надійшла до редакції 16.05.2017 р.