



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ

Актуальні Проблеми Економіки

НАУКОВИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№8(170)
2015

Заснований у 2000 році. Виходить щомісяця.
Індекс журналу в каталозі передплатних видань України — 21842
Свідцтво про реєстрацію KB № 20694-10494ПР від 28.04.2014

УДК 330 Журнал входить у перелік фахових видань з економічних наук
(перереєстрація: Наказ МОН України № 261 від 6.03.2015)

ISSN 1993-6788 Журнал 1 березня 2007 року зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань
(ISSN International Centre, м. Париж).

Журнал зареєстровано та проіндексовано у таких міжнародних наукометричних каталогах та базах даних:

SciVerse Scopus — з жовтня 2009 року (SJR 2014 = 0,180; індекс Хірша = 3);

Index Copernicus — з січня 2010 року (ICV 2013 = 6,51);

EBSCOhost та Ulrich's Periodicals Directory — з 2011 року;

EconLit — з жовтня 2013 року;

Cabell's Directories — з грудня 2013 року;

ABI/Inform by ProQuest — з січня 2014 року.

Засновник і видавець: ВНЗ «Національна академія управління»
Україна, 01011, Київ, вул. Панаса Мирного, 26
Голова редакційно-видавничої ради **С.А. Єрохін**
Свідцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4714 від 23.04.2014

Редакційна колегія:

Єрмошенко Микола Миколайович

- **головний редактор**

доктор економічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України

Бурлака Григорій Григорович

- **заступник головного редактора**

- доктор економічних наук, професор

Базиліук Антоніна Василівна

- доктор економічних наук, професор

Білан Юрій

- кандидат економічних наук, доцент, PhD (Польща)

Ваза Лашло

- PhD, професор (Угорщина)

Герасименко Сергій Сергійович

- доктор економічних наук, професор

Гончаров Юрій Вікторович

- доктор економічних наук, професор

Гуткевич Світлана Олександрівна

- доктор економічних наук, професор

Дорофійенко В'ячеслав Володимирович

- доктор економічних наук, професор,
заслужений працівник освіти України

Єрохін Сергій Аркадійович

- доктор економічних наук, професор

Зубицький Ярослав

- PhD (Польща)

Кім Рене

- PhD, професор (Південна Корея)

Краця Мірjana

- PhD, професор (Сербія)

Лопатін Олексій Костянтинович

- доктор фізико-математичних наук, професор

Максимович Ліляна

- PhD, професор (Сербія)

Мищенко Володимир Іванович

- доктор економічних наук, професор

Молина Морено Валентин

- PhD, професор (Іспанія)

Панченко Євген Григорович

- доктор економічних наук, професор

Подвезько Валентин Степанович

- кандидат економічних наук, доктор
математичних наук, професор (Литва)

Сахаров Вадим Євгенович

- кандидат економічних наук, професор

Турскіс Зенонас Адонович

- доктор технічних наук, професор (Литва)

Шелудько Наталія Михайлівна

- доктор економічних наук, провідний науковий
співробітник

де Ягер Йохан

- PhD, професор (ПАР)

Адреса редакції: Україна, 01011, Київ, вул. Панаса Мирного, 26, к.к. 401, 406
Тел., факс (044) 280-80-56; (044) 288-94-98; (044) 254-31-96
E-mail: eco@nam.kiev.ua (головний редактор); http://eco-science.net
lena@nam.kiev.ua (укр.-рос. блок); prokhorova@nam.kiev.ua (англ. блок)
Секретар редакції **О.О. Кривонос**
Випусковий редактор, коректор **Д.М. Прохорова**
Комп'ютерний набір та верстка **О.О. Кривонос, С.Ф. Єфіменко**
Літературна редакція **О.В. Кононович**

Рекомендовано до друку вченою радою ВНЗ «Національна академія управління» (протокол №3 від 25.06.2015)

**Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв,
назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей.
Висловлені у цих статтях думки можуть не збігатися з точкою зору редакційної
колегії і не покладають на неї ніяких зобов'язань.**

**Передруки і переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції.
Відповідальність за зміст рекламних оголошень несе рекламодавець.**

Підписано до друку 10.08.2015. Обл.-вид. арк. 31,20. Ум. друк. арк. 39,98. Замовлення №129.
Папір офсетний. Друк офсетний. Наклад 1000 прим. Формат 70х100 1/16.

Віддруковано у ТОВ «Наш формат», 02105, м. Київ, пр-т Миру, 7.

© «Актуальні проблеми економіки», 2015



АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОНОМІКИ

НАУКОВИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№8(170) 2015

З М І С Т

ЕКОНОМІЧНА ТЕОРІЯ ТА ІСТОРІЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДУМКИ

Гриценко Л.Л. Систематизація наукових поглядів на взаємодію держави та бізнесу в інвестиційній сфері	8
Князь С.В., Косовська В.В. Обґрунтування необхідності створення трансферної системи промислових підприємств	16
Медяник Н.В., Штапова И.С. Национально-глобальные императивы устойчивого развития общества	24
Момот Т.В., Філатова І.О., Конопліна О.О. Стейкхолдер-орієнтований підхід до забезпечення фінансово-економічної безпеки підприємств: теоретико-методичні засади впровадження	36
Никифоров А.Є. Ризики інноваційно-інвестиційної діяльності та їх роль у розвитку економіки	45
Сафонова В.Є. Інноватика та інноваційна здатність системи освіти: економіко-теоретичний аспект	53
Якубів В.М., Горогоцька Н.І., Якубів Р.Д. Управлінська модель забезпечення розвитку сільськогосподарських підприємств шляхом впровадження диверсифікаційних процесів	58

СВІТОВЕ ГОСПОДАРСТВО І МІЖНАРОДНІ ЕКОНОМІЧНІ ВІДНОСИНИ

Галушка О.М. Еволюція використання інструменту конкурентної девальвації лідерами світового господарства ..	66
Крамар І.Ю., Панухник О.В., Мариненко Н.Ю. Тенденції прямого іноземного інвестування в економіку України	76
Пономарьов Д.Е. Вплив зовнішньоекономічних факторів на фінансову стійкість підприємств: українські реалії сьогодення	83

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ НАЦІОНАЛЬНИМ ГОСПОДАРСТВОМ

Бабеш І.Г. Внутрішні чинники зовнішньоекономічної безпеки України в умовах євроінтеграції	91
Браний А., Йожа Л., Мачова Р. Роль елементів соціального капіталу: за даними угорських виноробних мереж	100
Забування Л.В., Попрозман Н.В. Фактори впливу на процес формування стратегії економічного розвитку АПК	111
Загурський О.М. Вплив неформальних інститутів на ефективність державної аграрної політики	119
Палюх О.М. Економічне оцінювання впливу державного фінансування на ефективність виробництва в аграрному секторі економіки України	124

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Братковська К.О. Мінімізація витрат на енергоресурси підприємств водопостачання та водовідведення на мікроекономічному рівні	133
Бреус С.В. Проблеми та перспективи забезпечення економічної безпеки вітчизняних вищих навчальних закладів	144
Гончар В.Г. Фінансово-економічна безпека підприємств України — запорука фінансової безпеки держави	150
Євчук Л.А. Роль управління грошовими потоками в забезпеченні конкурентоспроможності підприємства	159
Кучер А.В., Кучер Л.Ю. Експертне оцінювання економічних збитків від деградації ґрунтів на аграрних підприємствах	165



АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОНОМІКИ

НАУКОВИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№8(170) 2015

З М І С Т

Лісун Я.В., Хлістунова Н.В. Формування системи управління стратегічною гнучкістю підприємств	170
Льовушкіна С.В., Єлфімова Ю.М., Лабенко О.М. Забезпечення сталого розвитку малого та середнього підприємництва	177
Мартинюк О.А. Актуальні форми організації агробізнесу в сучасних умовах	188
Мостенська Т.Л., Білан Ю.В., Мостенська Т.Г. Ризик-менеджмент як чинник забезпечення економічної безпеки підприємств	193
Ушеренко С.В., Шевчук Н.В. Ефективність управління капіталом національних металургійних підприємств	204
Харенко А.О., Бурляй О.Л., Бортник Т.І. Збут продукції рослинництва сільськогосподарськими підприємствами	213

РОЗВИТОК ПРОДУКТИВНИХ СИЛ І РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

Грищенко В.Ф., Древаль О.Ю., Грищенко І.В. Управління використанням експортно-імпортного потенціалу регіону в системі забезпечення еколого-економічної безпеки	226
Забедюк М.С. Ендогенний розвиток регіонів України: вивчення можливості застосування зарубіжного досвіду	239
Скалічкова Й. Дивергенція регіонів у Чеській Республіці на основі економічних показників	245
Слава С.С. Двокритеріальне просторове кластерування пріоритетних видів економічної діяльності в регіоні	257

ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Модзелєвська Д., Калініченко А.В. Економічна ефективність біологічного очищення забруднених ґрунтів	264
Хадрабова А., Білопільська О.О., Шауер П. Історія управління твердими побутовими відходами в Україні і Чеській Республіці до 1989 року	272
Чернота М., Дзюра Б. Адаптація природних ресурсів та управління ризиками стихійних лих: два підходи до однієї проблеми	281
Янас К., Кухарчик Р. Фінансування при надзвичайних ситуаціях: на прикладі Словачії	288

ДЕМОГРАФІЯ, ЕКОНОМІКА ПРАЦІ, СОЦІАЛЬНА ЕКОНОМІКА І ПОЛІТИКА

Гренчикова А., Шпанкова Я., Карбач Р. Сучасні тренди кадрових політик підприємств Словачької Республіки	293
Криворучко М.Ю. Дослідження міжрегіональної конвергенції в рівні життя населення України	302
Ушаков Д., Жмихова Н. Міжнародна міграція та національна міграційна політика: якісна кореляція та сценарії взаємодії (на прикладі Європейського Союзу)	308
Харакальова Л., Ліпкова Л., Греш М. Освітня політика Європейського Союзу та її відображення в стратегії «Європа 2020»	318



АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОНОМІКИ

НАУКОВИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№8(170) 2015

З М І С Т

ГРОШІ, ФІНАНСИ І КРЕДИТ

Аймурзина Б.Т., Берстембаева Р.К., Бейсенова Л.З. Направления активизации фондового рынка в финансовом обеспечении экономики Казахстана	327
Вахновська Н.А., Ішук Л.І., Поліщук В.Г. Сучасні податкові інновації як пріоритетна складова фінансового інжинірингу бізнес-процесів в Україні	337
Істоміна Н.О. Перехід до програмного бюджету: актуальні проблеми та рішення	343

БУХГАЛТЕРСЬКИЙ ОБЛІК, АНАЛІЗ ТА АУДИТ

Жолаева М.А. Концептуальные подходы к организации системы управленческого контроля в страховых компаниях	349
Камінська Т.Г. Методологія бухгалтерського обліку та контролю як їх гносеологічний базис	360
Михайловина С.О., Шайко О.Г., Оляднічук Н.В. Бухгалтерський облік витрат на машино-тракторний парк сільгоспідприємств та удосконалення його документального забезпечення	372
Самчинська Я.Б., Вінник М.О. Аудиторські послуги в оцінюванні ефективності інформаційних систем і технологій компаній	380
Шатілова О.В. Сучасний стан та тенденції розвитку українського ринку корпоративного контролю	389

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

Батаєв О.В. Оцінювання економічної ефективності впровадження смарт-карт у фінансових установах	395
Безугла Ю.Є. Сценарії розвитку економічної діяльності підприємств	402
Жимовські В., Суровець А. Практичні аспекти застосування теорії Марковіца в портфельному аналізі	409
Захаркін О.О., Костель М.В., Захаркіна Л.С. Оцінювання впливу рівня інноваційної активності підприємств на їх фінансово-економічні результати	427
Калюжна Н.Г. Модель оцінювання потенціалу системи управління підприємством на основі апарату нечіткого логічного висновку	442
Полозова Т.В. Формування ознакового простору діагностики інноваційно-інвестиційної спроможності підприємства	450
Роскладка А.А. Формування номінальних значень показників процесу в умовах нечітко-стохастичної невизначеності	461

Відомості про авторів	467
-----------------------------	-----



NATIONAL ACADEMY OF MANAGEMENT

ACTUAL PROBLEMS OF ECONOMICS

SCIENTIFIC ECONOMIC JOURNAL

Founded in 2000. Academic monthly journal.

Subscription index in Ukraine – 21842

Registration license: KB № 20694-10494TIP, issued 28.04.2014

№8(170)
2015

УДК 330 The journal is licensed as academic, professional journal in all economic sciences
(Revalidation: Decree of the Ministry of Education and Science # 261 as of 6.03.2015)

ISSN 1993-6788 (Since March 2007).

The journal is registered and indexed in the following international catalogues and databases:

SciVerse Scopus – since October 2009 (SJR 2014 = 0,180; H-index = 3);

Index Copernicus – since January 2010 (ICV 2013 = 6,51);

EBSCOhost and Ulrich's Periodicals Directory – since 2011;

EconLit – since October 2013;

Cabell's Directories – since December 2013;

ABI/Inform by ProQuest – since January 2014.

Founder and published:

National Academy of Management

Vul. Panasa Myrnogo, 26, 4th floor, Kyiv, 01011

Head of the Editorial-Publisher Council – Serhiy Yerokhin

Publishing license: ДК № 4714, reissued 23.04.2014

Editorial Board:

Mykola Yermoshenko

- Editor-in-Chief

Dr. Sc. (Economics), Prof., Emeritus of Sciences and Technology of Ukraine

Grygoriy Burlaka

- Deputy Editor-in-Chief

Dr. Sc. (Economics), Prof.

Antonina Bazylyuk

Dr. Sc. (Economics), Prof.

Bilan Yuriy

Ph.D, Asst. Prof. (Poland)

Laszlo Vasa

PhD, Dr. habil. (Hungary)

Serhiy Gerasymenko

Dr. Sc. (Economics), Prof.

Yuriy Goncharov

Dr. Sc. (Economics), Prof.

Svitlana Gutkevych

Dr. Sc. (Economics), Prof.

Vyacheslav Dorofienko

Dr. Sc. (Economics), Prof., Honorary Fellow in Education of Ukraine

Serhiy Yerokhin

Dr. Sc. (Economics), Prof.

Jaroslaw Zubrzycki

PhD (Poland)

Renee Kim

PhD, Professor (South Korea)

Mirjana Kranjac

PhD, Professor (Serbia)

Oleksiy Lopatin

Dr. Sc. (Physics&Mathematics), Prof.

Ljiljana Maksimovic

PhD, Professor (Republic of Serbia)

Volodymyr Mishchenko

Dr. Sc. (Economics), Prof.

Valentin Molina Moreno

PhD, Professor (Spain)

Yevgen Panchenko

Dr. Sc. (Economics), Prof.

Valentyn Podvezko

PhD (Economics), Dr.Sc. (Mathematics), Prof. (Lithuania)

Vadym Sakharov

Can. Sc. (Economics), Prof.

Zenonas Turskis

Dr. Sc. (Technology), Prof. (Lithuania)

Natalia Sheludko

Dr. Sc. (Economics), Leading Research Fellow

Johan de Jager

PhD, Professor (South Africa)

Editorial Office:

Ukraine, 01011, Kyiv, vul. Panasa Myrnogo, 26, 401-406

Tel./fax.: +(38044) 280-80-56; 288-94-98; 254-31-96; http: //eco-science.net

E-mails: eco@nam.kiev.ua - chief editor; prokhorova@nam.kiev.ua (submissions in English); lena@nam.kiev.ua (submissions in Russian and Ukrainian)

Administrative secretary – **Olena Kryvonos**

Managing editor, proof reading: **Darina Prokhorova**

Computer page positioning and layout: **Olena Kryvonos, Serhiy Yefimenko**

Text editing, abstracts translation: **Oleksandr Kononovych**

Responsibility for facts, quotations, private names, enterprises and organizations titles, geographical locations etc. to be bared by the authors.

The editorial office and board do not always share the views and thoughts expressed in the articles published.

Reprints and translations are allowed on the written consent with the editorial office and the author.

Responsibility for the advertisement contents to be bared by the advertiser.

Printing facilities:

"Nash Format", prospekt Myru, 7, Kyiv-02105, Ukraine.



ACTUAL PROBLEMS OF ECONOMICS

SCIENTIFIC ECONOMIC JOURNAL

№8(170) 2015

CONTENTS

ECONOMIC THEORY AND HISTORY OF ECONOMIC THOUGHT

Hrytsenko L.L. Systematization of scientific approaches to public-private partnership in the field of investment	8
Kniaz S.V., Kosovska V.V. Grounding the need for transfer system development between industrial enterprises	16
Medyanik N.V., Shtapova I.S. National and global imperatives of sustainable development	24
Momot T.V., Filatova I.O., Konoplina O.O. Stakeholder-oriented approach to enterprises financial & economic security provision: theoretical and methodical fundamentals of implementation	36
Nykyforov A.E. Risks in innovative investment activity and their role in economic development	45
Safonova V.Y. Innovation studies and innovative capacity of education system: economic and theoretical implications	53
Yakubiv V.M., Horohotska N.I., Yakubiv R.D. Administrative model of ensuring the development of agricultural enterprises through diversification processes implementation	58

WORLD ECONOMY AND INTERNATIONAL ECONOMIC RELATIONS

Halushka O.M. Evolution of competitive devaluation instrument use by the world economy's leaders	66
Kramar I.Y., Panukhnyk O.V., Marynenko N.Y. Trends of foreign direct investment in Ukrainian economy	76
Ponomarov D.E. Enterprise financial stability under the influence of external economic factors: Ukrainian realia today	83

NATIONAL ECONOMY AND ITS MANAGEMENT

Babets I.G. Internal factors of foreign economic security of Ukraine under European integration	91
Branyi A., Jozsa L., Machova R. The role of social capital elements: Hungarian winery networks case study	100
Zaburanna L.V., Poprozman N.V. Factors of impact on the process of economic development strategies formation for agribusiness	111
Zagurskiy O.N. The influence of informal institutions on efficiency of the state agrarian policy	119
Paliukh O.M. Economic assessment of public finance impact on production efficiency in agricultural sector of Ukraine	124

ENTERPRISES ECONOMY AND MANAGEMENT

Bratkovska K.O. Minimizing energy costs of water utilities and wastewater enterprises at the microeconomic level	133
Breus S.V. Problems and prospects in ensuring economic security of higher education institutions in Ukraine	144
Gonchar V.G. Financial and economic security of Ukrainian enterprises as a guarantee of state financial security	150
Ievchuk L.A. Cash management role in ensuring enterprise competitiveness	159
Kucher A.V., Kucher L.Y. Expert assessment of economic losses caused by soil degradation at agricultural enterprises	165



ACTUAL PROBLEMS OF ECONOMICS

SCIENTIFIC ECONOMIC JOURNAL

№8(170) 2015

CONTENTS

Lisun Y.V., Khlistunova N.V. Formation of enterprises' strategic flexibility management system	170
Levushkina S.V., Elfimova J.M., Labenko O.M. Ensuring the sustainable development of small and medium entrepreneurship	177
Martyniuk O.A. Actual forms of agrarian business organization under contemporary conditions	188
Mostenska T.L., Bilan Y.V., Mostenska T.G. Risk management as a factor ensuring enterprises' economic security	193
Usherenko S.V., Shevchuk N.V. Capital management efficiency at metallurgical enterprises	204
Kharenko A.O., Burlaiy O.L., Bortnyk T.I. Crop production sales by agricultural enterprises	213

PRODUCTIVE FORCES AND REGIONAL ECONOMY

Gryshchenko V.F., Dreval O.Y., Gryshchenko I.V. Regional export-import potential use management within the system of ecological and economic security	226
Zabedyuk M.S. Endogenous development of Ukrainian regions: study on international experience applicability	239
Skalickova J. Differentiation of regions in Czech Republic based on economic indicators	245
Slava S.S. Two-criteria spatial clustering of the priority types of economic activities in a region	257

NATURE MANAGEMENT AND ENVIRONMENT PROTECTION

Modzelewska D., Kalinichenko A.V. Economic efficiency of biological remediation for contaminated soil	264
Hadrabova A., Bilopilka O., Sauer P. History of household waste management: comparison of Ukraine and Czech Republic before 1989	272
Cernota M., Dziura B. Adaptation of natural resources and disaster risk management: two approaches to one problem	281
Janas K., Kucharchik R. Financing under emergency cases in Slovak Republic	288

DEMOGRAPHY, LABOUR ECONOMY, SOCIAL ECONOMY AND POLICY

Grencikova A., Spankova J., Karbach R. Current trends in enterprise employment policies in Slovak Republic	293
Kryvoruchko M.Y. A study on interregional convergence in living standards of Ukraine's population	302
Ushakov D., Zhmykhova N. International migrant flows and national migration policy: quality correlation and scenarios of interdependence (the case of European Union)	308
Harakal'ova L., Lipkova L', Gress M. Education policy of the European Union and its reflection in the strategy "Europe 2020"	318



ACTUAL PROBLEMS OF ECONOMICS

SCIENTIFIC ECONOMIC JOURNAL

№8(170) 2015

CONTENTS

MONEY, FINANCE AND CREDIT

Aimurzina B.T., Berstembayeva R.K., Beisenova L.Z. Directions of stock market activation for financial support of Kazakhstan's economy	327
Vahnovska N.A., Ishchuk L.I., Polishchuk V.G. Current tax innovations as a priority component of financial engineering of business processes in Ukraine	337
Istomina N.O. Transition to programme budgeting: current problems and their solving	343

ACCOUNTING, ANALYSIS AND AUDIT

Zholayeva M.A. Conceptual approaches to organization of internal control in insurance companies	349
Kaminska T.G. Methodology of accounting and control as their epistemological basis	360
Mykhailovyna S.O., Shaiko O.G., Olyadnichuk N.V. Business accounting of expenses on machine and tractor fleet and improvement of its documentary support	372
Samchynska Y.B., Vinnyk M.O. Auditing services in evaluation of companies' information systems and technologies efficiency	380
Shatilova O.V. Current state and development trends of Ukrainian corporate control market	389

MATHEMATICAL METHODS, MODELING AND INFORMATION TECHNOLOGIES IN ECONOMICS

Bataev A.V. Cost-effectiveness evaluation of smart cards introduction in financial institutions	395
Bezuha J.E. Scenarios of enterprises economic activity development	402
Rzymowski W., Surowiec A. Practical aspects of Markowitz theory application for portfolio analysis	409
Zakharkin O.O., Koste M.V., Zakharkina L.S. Estimation of the influence of enterprises' innovation activity level on their financial and economic performance	427
Kalyuzhna N.G. Model for estimation of enterprise management system potential based on fuzzy logic inference	442
Polozova T.V. Formation of feature space for diagnostics of innovative investment capability of an enterprise	450
Roskladka A.A. Formation of nominal values of the process indicators under fuzzy-stochastic uncertainty	461

Information about the authors	467
-------------------------------------	-----

Dorota Modzelewska¹, Antonina V. Kalinichenko²
**ECONOMIC EFFICIENCY OF BIOLOGICAL
 REMEDIATION FOR CONTAMINATED SOIL**

The paper offers an overview of the most common contemporary biological methods for remediation of contaminated soils, which are characterized by low costs and practical usability on the industrial level. The described methods allow getting economic benefits several times greater than the effect of standard physicochemical methods with relatively low investment, while being environmentally safe. The focus is on the possibility to double economic effects – by reducing purification technology costs, as well as due to additional environmental effects and the possibility to stimulate soil self-recovery.

Keywords: bioremediation; phytoremediation; contaminated soil.

Дорота Модзельська, Антоніна В. Калініченко
**ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОЛОГІЧНОГО
 ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ**

У статті представлено огляд найбільш поширених сьогодні у світі біологічних методів ремедіації забруднених ґрунтів, що характеризуються низькою вартістю, високою економічною ефективністю та практичною доступністю для використання в промисловості. Представлені методи дозволяють за відносно низьких капіталовкладень отримати суттєвий економічний ефект, що у кілька разів перевищує ефект від стандартних фізико-хімічних методів й при цьому є екологічно безпечним. Зроблено акцент на можливості отримання подвійного економічного ефекту – від зменшення витрат на технології очищення, а також від отримання додаткового екологічного ефекту та можливості стимулювання здатності ґрунтів до самовідновлення.

Ключові слова: біоремедіація; фіторемедіація; забруднені ґрунти.

Табл. 4. Літ. 40.

Дорота Модзельська, Антонина В. Калиниченко
**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ
 ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ**

В статье представлен обзор наиболее распространенных сегодня в мире биологических методов ремедиации загрязненных почв, характеризующихся низкой стоимостью, высокой экономической эффективностью и практической доступностью для использования в промышленности. Представленные методы позволяют при относительно низких капиталовложениях получить значительный экономический эффект, который в несколько раз превышает эффект от стандартных физико-химических методов и при этом является экологически безопасным. Сделан акцент на возможности получения двойного экономического эффекта – от уменьшения затрат на технологии очистки, а также получения дополнительного экологического эффекта, в том числе путем стимулирования способности почв к самовосстановлению.

Ключевые слова: биоремедиация; фиторемедиация; загрязненные почвы.

Introduction. Intensive economic development of many countries manifesting as a progress in industry, communications, transportation, urbanization, mechanization and use of chemicals in agriculture results in numerous negative environmental impacts. This problem applies not only to air and water, but also to soil. Because of

¹ Opole University, Poland.

² Opole University, Poland; Poltava State Agrarian Academy, Ukraine.

human activities and natural disasters, soil is chemically contaminated, mostly with aliphatic hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons, solvents, heavy metals, pesticides, fertilizers, herbicides and radionuclides.

Conventional soil remediation methods involve chemical extraction of contaminants from soil, contaminants dehalogenation, reduction or oxidation, soil incineration or pyrolysis, soil vapor extraction (Hamby, 1996; FRTR, 2003). These methods only partially solve the problem, because pollutants do not disappear. Moreover, it is associated with some costs resulting from reagents, machinery, energy, maintenance and residue disposal. The cost of chemical treatments of contaminated soil range from 500 USD (dehalogenation) to 1,300 USD (extraction) per cubic yard of soil. The expenditure on thermal treatments like incineration is about 800 USD per cubic yard and 300–1,000 USD per cubic yard for soil vapor extraction (FRTR, 2003).

A better solution is to get rid of any pollutant completely or at least transform it into less hazardous substance. It is possible by use of biological remediation techniques, which are based on the ability of living organisms like bacteria, fungi or even plants to clean the environment in which they exist (US EPA, 2012). Advantages of soil clean up using biological methods are: relatively low costs, low-technology, safety for environment and most importantly – high public acceptance (Vidali, 2001; US EPA, 2012; Patyka et al., 2014). Biological remediation methods for contaminated soil are usually divided into bioremediation and phytoremediation. Bioremediation is the use of microorganisms to degrade or transform contaminants to carbon dioxide, water, inorganic salts and microbial biomass. The main aim of bioremediation is to create optimal conditions for the growth of microbes, which use pollutants as a source of energy and nutrients (US EPA, 2012). *In situ* bioremediation methods involve: bioattenuation, biostimulation and bioaugmentation. Conditions necessary for bioremediation are usually achieved on site, but sometimes it is not possible, so contaminated soil is removed to a treatment area. The examples of *ex situ* methods include landfarming, composting, biopiles and bioreactors (ICSS, 2006; US EPA, 2006). Phytoremediation uses plants to extract, degrade, contain or immobilize pollutants in contaminated media (US EPA, 2006). This technology remediate contaminants using several different mechanisms, depending on the application, such as phytostabilisation, phytoextraction, phytodegradation and phytovolatilization (US EPA, 2010).

The aim of this article is to give a general overview of the most frequently applying biological methods of contaminated soil remediation. The paper focuses on easy performed and effective techniques, which are environmentally friendly. The costs associated with the use of these methods are also analyzed.

Key research findings. *Biostimulation* is an *in situ* method, which aims to stimulate indigenous microorganisms to degrade pollutants. It consists of applying both scant nutrients and air, or only air, to remediated soil. The main purpose of biostimulation is to increase the amount of indigenous microbes to the quantity of minimum 10^5 cells per gram, in which they are able to degrade contaminants (Podsiadlo and Krzysko-Lupicka, 2013). It is usually gained by increasing the oxygen content. The extra option of biostimulation is to supply essential elements like: nitrogen and phosphorus, which are usually added in the form of hydrophobic liquid fertilizers, solid fertilizers and aqueous solutions of fertilizers (Mizera, 2010). Furthermore, some-

times it is needed to provide optimal environmental conditions like temperature, soil pH and soil humidity to keep high microbial growth and contaminants degradation activity. Aerobically degradable pollutants like fuels are treated by oxygen, which is pushed into the subsurface by air injection wells or draw through the subsurface by vacuum extraction wells. Some pollutants can be removed using a mixture of oxygen and volatile organic substrate. When contaminant is degradable in anaerobic conditions, nitrogen and electron donor gas are injected into the soil (US EPA, 2006). Biostimulation is in general used to remove hydrocarbons and chlorinated contaminants such as trichloroethene, tetrachloroethene and pesticides such as dichlorodiphenyltrichloroethane (US EPA, 2006; ESTCP, 2011; Mori et al., 2013; Betancur-Corredor et al., 2015). It takes a few years to clean up a site.

The costs of biostimulation of soil contaminated with hydrocarbons, by the injection of oxygen into the subsurface are various. They are influenced mainly by the surface area, because it determines the number of injection wells which must be installed. The second factor is the soil type. The costs of remediation of soil containing sand and gravel are lower than for soil containing clay. The average costs range from 10–60 USD to 700 USD per cubic yard and 45–140 USD per ton (US EPA, 1994; Hinchey and Leeson, 1996; FRTR, 2003). Lower costs are associated with bigger sites remediated by biostimulation. The biggest part of expenses are operating expenses, mostly on electricity.

Table 1. The share of different activities in the total costs of biostimulation of soil contaminated with hydrocarbons, based on (Lehr, 2004)

Activity	Percentage, %
Startup	5
Design	6
Pilot testing	12
System installation	19
1 year operation	58

This technique allows treating both aerobically and anaerobically biodegradable contaminants. Biostimulation is easy to perform and inexpensive for big sites. One of its limitations is the difficulty to deliver oxygen to contaminated soil, when it is low-permeable or highly humid.

Bioaugmentation is based on addition of specially selected microorganisms to contaminated soil in order to accelerate the removal of pollutants. This *in situ* method is usually applied, when the amount or degradation activity of naturally occurring microorganisms is not sufficient and biostimulation has failed (Mizera, 2010; Mrozik and Piotrowska-Seget, 2010). Microbes may be of different origins: taken from the polluted sites, isolated and genetically modified or bought from the Collection of Microorganisms (ICSS, 2006; Mrozik and Piotrowska-Seget, 2010). Before applying to soil, they are reproduced in a laboratory to create a suspension containing 10^9 cells per gram and immobilized with carriers (Podsiadlo and Krzysko-Lupicka, 2013). Bioaugmentation efficiency is varies, mainly due to decrease in a number of exogenous microorganisms after soil inoculation due to both biotic and abiotic factors like temperature, humidity, pH and organic matter content. Moreover, the same negative effect is caused by competition between indigenous and exogenous microorganisms

(Gentry et al., 2004; Podsiadlo and Krzysko-Lupicka, 2013). Bioaugmentation is mainly intended to clean up soils polluted with chlorinated organic compounds (ESTCP, 2005; ICSS, 2006), but it can be also required to degrade undesired aromatic compounds, heavy metals and radionuclides (Kondzielski et al., 2003; Mrozik and Piotrowska-Seget, 2010; Winquist et al., 2014; Wang et al., 2015).

Expenditures on bioaugmentation depend on the soil type and chemistry, type and quantity of used amendments and type and extent of contamination. Typical costs for bioaugmentation of soil contaminated with hydrocarbons range from 20 USD to 80 USD per cubic yard of soil (FRTR, 2003). Such low costs result from the fact that this process is very simple and machines are not needed. Most of the costs are caused by cells immobilization on carriers.

This bioremediation method is usually successful and unlike biostimulation, takes effect immediately after microbes injection. It requires low costs and low-technology. In order to improve effects, bioaugmentation is often combined with other method, predominatingly with biostimulation.

Phytoextraction is an *in situ* method, which aims to remove pollutants from soil by accumulating them in plant tissues such as stems and leaves. The role of the plant in this process is to retrieve contaminants, transport to aboveground shoots and accumulate in these organs. Unlike phytostabilization, this process produces a large amount of contaminated biomass, which requires harvesting and disposal or recycling (US EPA, 2006; US EPA, 2010). Phytoextraction can be repeated many times until obtaining the desired effects providing permanent contaminants removal. There are two methods of phytoextraction, depending on used plants species. Sometimes plants are genetically modified, in order to have the ability to accumulate contaminants in stems, be capable of rapid increase in biomass and extensive root system, which is hard to redeem simultaneously (US EPA, 2006; Siwek, 2008). It does not require extra interventions. The second option is to use intensive growing plants, which produce a large root system and artificially increase the bioavailability of pollutants by adding chemicals that cause the release of complex or solubilizing precipitated forms from soil (Siwek, 2008; Grobelak et al., 2010). This technique allows accumulating low levels of contaminants from a widespread area. Phytoextraction is typically used to treat inorganic contaminants such as metals, metalloids and radionuclides, but some plants are capable of extracting chemicals like chlordane and storing them in their roots, leaves and fruits (Mattina et al., 2000; Kondzielski et al., 2003; Wong, 2003).

The costs of phytoextraction are formed by the size of contaminated area. It is estimated to be about 20–80 USD per ton or 80 USD per cubic yard of contaminated soil (Miller, 1996). Other estimates place the total cost between 60,000 USD to 100,000 USD per acre. This includes maintenance, monitoring, verification testing and planting (Miller, 1996; Raskin and Ensley, 2000). There are low total costs, because little or no mechanical equipment is required to operate the phytoremediation process. The majority of costs are associated with processing including plants seeding, watering and nutrient or fertilizer addition and plants harvesting (US EPA, 2001).

This method is inexpensive, but requires a lot of labor because of compulsion of optimal plant selection and culturing. Phytoextraction is an appropriate method to clean up large areas with low concentration of pollutants. Its advantages include high

efficiency of contaminants storage and possibility for multiple repetitions. The biggest problem is associated with appropriate treatment of produced biomass full of pollutants.

Table 2. The share of different tasks in the total costs of phytoremediation of soil contaminated with heavy metals, based on (US EPA, 2001)

Activity	Percentage, %
Project closeout	3
Waste disposal	5
Site preparation	9.5
EH&S	23
Processing	59.5

Landfarming is an *ex situ* method of contaminants biodegradation, in which soil is excavated and arranged in thin layers and regularly cultivated to promote aerobic degradation by microorganisms. The aim is to stimulate indigenous microorganisms to start degrading contaminants by soil moisturizing and tilling, the nutrients supplying as well as pH moderating (ICSS, 2006; US EPA, 2006). The pneumatic permeability of the cleaned up soil is usually improved by adding structural substances like mineral granulate, compost or bark mulch (ICSS, 2006). Typical land treatment takes place in a special construction – open shallow reactor in which soil is arranged in a layer with the thickness of about 0.3 m (Vidali, 2001; US EPA, 1994). Impervious surface equipped with drainage system and leachate treatment system are located under the soil. The construction has also a shredder and a blender, that enables nutrients mixing into the soil and crushing soil aggregates (US EPA, 1994; ICSS, 2006; US EPA, 2006). The treatment takes from about half a year to two years depending on prevailing conditions. Landfarming is an appropriate method of remediating soil contaminated with petroleum (US EPA, 1994; Paudyn et al., 2008). On the other hand, polycyclic aromatic hydrocarbons, pesticides or chlorinated organic compounds as remediated soil contaminants are still topics for further research (US EPA, 2006).

The costs of landfarming depends on the type and concentration of contaminants, treated volume, area available for treatment, time scales and remediation criteria to be achieved. Landfarming expenses concern both prior-to-treatment costs and appropriate treatment costs. Laboratory studies cost from 25,000 USD to 50,000 USD and pilot tests or field demonstrations cost less than 100,000 USD, regardless the treated volume (FRTR, 2003). The average total cost for landfarming of sites contaminated with petroleum is 30–60 USD per ton of soil (about 75 USD per cubic yard) (US EPA, 1994). For pesticide-contaminated soil it ranges from 17 to 35 USD per ton (Roberts, 1995). The majority of costs are related to materials handling, which make up about two-thirds of the overall cost. Another big expense is engineering. The rest of costs are labor, land rental, immunoassay testing, farm field soil samples and on-site samples (Roberts, 1995).

This technique is rather inexpensive and effective for easily biodegradable contaminants. It has low demands on the technology and process control, but requires a lot of space and the period of treatment is relatively long. Due to the lack of cover, degradation may pause during winter, after heavy rains or during drought and it cannot be applied for volatile contaminants.

Table 3. The share of different tasks in the total costs of landfarming of the soil contaminated with pesticides, based on (Roberts, 1995)

Tasks	Percentage, %	Total percentage, %
Field loading	7	67
Excavation	8	
Hauling	12	
Soil backfill	19	
Soil spreading	21	
Engineering	21	21
Land rental	2	12
Labor	2	
Immunoassay testing	3	
Samples	5	

Composting involves mixing of contaminated soil with nonhazardous organic amendments to develop microflora, which degrades contaminants in thermophilic conditions. The main issue is to add about 40% of organic compounds like manure, agricultural wastes or wood chips to the excavated soil, which are a source of nutrients and degrading microorganisms (Vidali, 2001; ICSS, 2006). This *ex situ* method starts from soil conditioning, which includes: soil excavating, extraneous coarse parts sorting out, coarse soil grains separating, crushing and returning, organic amendments and bulking agents adding, soil mixture homogenizing and pile creating (ICSS, 2006; US EPA, 2006). To optimize degradation process temperature, moisture and oxygen contents are manipulated. Usually piles are housed or covered by water-repellent, air-permeable foils, that help maintaining optimal conditions (FRTR, 2003; ICSS, 2006). Like in landfarming, there are also leachate collecting and treatment systems. In general, there are three different compost arrangements: typical aerated static piles with blowers or vacuum pumps, mechanically agitated in-vessel composting and windrow composting, in which compost is placed in long, low, narrow piles (FRTR, 2003; US EPA, 2006). Depending on the type of contaminants, the treatment can take several months. Originally composting is designed for the clean-up of soil contaminated by mineral oil hydrocarbons (Namkoong et al., 2002; Wang et al., 2011). It can be also applied for the purification of soil contaminated by solvents, chlorophenols, pesticides, herbicides, polycyclic aromatic hydrocarbons and explosive-typical compounds (Laine et al., 1997; Jarvis et al., 1998; Antizar-Ladislao et al., 2006; US EPA, 2006; Kupper et al., 2008).

The costs of composting vary due to the amount of soil to be treated, the soil fraction in the compost, availability of amendments, the type of contaminant, and the type of process design employed. The process configuration type is the primary cost driver for composting. In-vessel composting is generally the most expensive, aerated static piles are in an intermediate cost range and windrow composting is the least expensive among all of them (FRTR, 2003). The average cost of soil contaminated with petroleum composting is 30–90 USD per ton of soil (about 100 USD per cubic yard) (US EPA, 1994; Freeman and Harris, 1995). Amendment costs in this method usually range from 5 to 10 USD (Freeman and Harris, 1995). Composting of sites contaminated by explosives is much more expensive. The costs are about 350 USD per ton and 500 USD per cubic yard (US EPA, 1997; FRTR, 2003). The largest part

of costs covers the composting process itself, but transportation and disposal cost also have a significant share.

Table 4. The share of different tasks in the total costs of composting of soil contaminated with petroleum, adapted from (FRTR, 2003)

Tasks	Percentage. %
Design	2.5
Excavation	3.5
Transportation and disposal	41
Composting	53

This method provides good control over microbiological degradation and rapid soil pollutant removal. It requires large amounts of energy to excavate and condition the soil and remove the remediated compost. Composting can be rather expensive, mainly depending on the type of contaminant.

Conclusions. All presented biological methods of contaminated soil remediation have their advantages and disadvantages. The largest differences occur between on site and off site techniques. *In situ* methods are relatively noninvasive, selective and use natural attenuation process, but have extended treatment time. *Ex situ* techniques are more invasive, require special equipment and a lot of space, but give better results in a shorter time. The costs for all the methods are in a similar range. Finally, selection of the appropriate biological method of soil remediation depends on a type of contaminant, expected duration of a process and its impact on the environment.

References:

- Antizar-Ladislao, B., Lopez-Real, J., Beck, A.J. (2006). Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an aged coal tar contaminated soil under in-vessel composting conditions. *Environmental Pollution*, 141: 459–468.
- Betancur-Corredor, B., Pino, N.J., Cardona, S., Penue, G.A. (2015). Evaluation of biostimulation and Tween 80 addition for the bioremediation of long-term DDT-contaminated soil. *Journal Of Environmental Science*, 28: 101–109.
- ESTCP (2005). Bioaugmentation for remediation of chlorinated solvents: technology development, status, and research needs. Environmental Security Technology Certification Program, 2005 // clu-in.org.
- ESTCP (2011). Guidance Protocol: Environmental Restoration Project ER-0518, Application of Nucleic Acid-Based Tools for Monitoring Monitored Natural Attenuation, Biostimulation, and Bioaugmentation at Chlorinated Solvent Sites, 2011 // www.dtic.mil.
- Freeman, H.M., Harris, E.F. (1995). Hazardous Waste Remediation: Innovative Treatment Technologies. Lancaster: Technomic Pub. 361 p.
- FRTR (2003). Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide. Federal Remediation Technologies Roundtable, 2003 // www.frtr.gov.
- Gentry, T.J., Rensing, C., Pepper, I.L. (2004). New approaches for bioaugmentation as a remediation technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34: 447–494.
- Grobelak, A., Kacprzak, M., Fijałkowski, K. (2010). Fitoremediacja – niedoceniony potencjał roślin w oczyszczaniu środowiska. *Journal of Ecology and Health*, 14(6): 276–280.
- Hamby, D.M. (1996). Site remediation techniques supporting environmental restoration activities – a review. *The Science of the Total Environment*, 191: 203–224.
- Hinchee, R.E., Leeson, A. (1996). Soil Bioventing: Principles and Practice. Boca Roca: CRC Press. 272 p.
- ICSS (2006). Manual for biological remediation techniques. International Centre for Soil and Contaminated Sites, 2006 // www.umweltbundesamt.de.
- Jarvis, A.S., McFarland, V.A., Honeycutt, M.E. (1998). Assessment of the Effectiveness of Composting for the Reduction of Toxicity and Mutagenicity of Explosive-Contaminated Soil. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 39: 131–135.

- Kondzielski, I., Gworek, B., Buczkowski, R. (2003). Biologiczne metody remediacji srodowiska zanieczyszczonego radionuklidami. Warszawa: Instytut Ochrony Srodowiska. 54 p.
- Kupper, T., Bucheli, T.D., Brandli, R.C., Ortellic, D., Edder, P. (2008). Dissipation of pesticides during composting and anaerobic digestion of source-separated organic waste at full-scale plants. *Bioresource Technology*, 99: 7988–7994.
- Laine, M.M., Haario, H., Jorgensen, K.S. (1997). Microbial functional activity during composting of chlorophenol-contaminated sawmill soil. *Journal of Microbiological Methods*, 30: 21–32.
- Lehr, J.H. (2004). *Wiley's Remediation Technologies Handbook: Major Contaminant Chemicals and Chemical Groups*. New Jersey: Wiley-Interscience. 1288 p.
- Mattina, M., Iannucci-Berger, W., Dykas, L. (200). Chlordane uptake and its translocation in food crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5): 1909–1915.
- Miller, R.R. (1996). *Phytoremediation: Technology Overview Report*. Pittsburgh: Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center. Series O, Vol. 3, 22 p.
- Mizera, A. (2010). Gleba – metody rekultywacji. *Aura*, 11: 26–28.
- Mori, Y., Suetsugu, A., Matsumoto, Y, Fujihara, A., Suyama, K. (2013). Enhancing bioremediation of oil-contaminated soils by controlling nutrient dispersion using dual characteristics of soil pore structure. *Ecological Engineering*, 51: 237–243.
- Mrozik, A., Piotrowska-Seget, Z. (2010). Bioaugmentation as a strategy for cleaning up of soils contaminated with aromatic compounds. *Microbiological Research*, 165(5): 363–375.
- Namkoong, W., Hwang, E., Park, J., Choi, J. (2002). Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting. *Environmental Pollution*, 119: 23–31.
- Patyka, V.P., Taranenko, S.V., Taranenko, A.O., Kalinichenko, A.V. (2014). Microbial biom different soils and climatic zones Poltava region. *J. Mikrobiologiczny Zhurnal*, 76(5): 20–25.
- Paudyn, K., Rutter, A., Rowe, R.K., Poland, J.S. (2008). Remediation of hydrocarbon contaminated soils in the Canadian Arctic by landfarming. *Cold Regions Science and Technology*, 53: 102–114.
- Podsiadlo, L., Krzysko-Lupicka, T. (2013). Techniki bioremediacji substancji ropopochodnych i metody oceny ich efektywnosci. *Inzynieria i Ochrona Srodowiska*, 16(4): 459–476.
- Raskin, I., Ensley, B.D. (2000). *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*. New York: John Wiley & Sons.
- Roberts, D.J. (1995). *Use of Landfarming to Remediate Soil Contaminated by Pesticides*. Illinois: DIANE Publishing. 55 p.
- Siwek, M. (2008). Biologiczne sposoby oczyszczania srodowiska – fitoremediacja. *Wiadomosci Botaniczne*, 52(1/2): 23–28.
- US EPA (1994). *How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: a Guide for Corrective Action Plan Reviewers* // www.epa.gov.
- US EPA (1997). *Innovative Uses of Compost: Composting of Soils Contaminated by Explosives* // www.epa.gov.
- US EPA (2001). *Brownfields Technology Primer: Selecting and Using Phytoremediation for Site Cleanup* // nepis.epa.gov.
- US EPA (2006). *In Situ and Ex Situ Biodegradation Technologies for Remediation of Contaminated Sites* // clu-in.org.
- US EPA (2006). *In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil* // clu-in.org.
- US EPA (2010). *Phytotechnologies for Site Cleanup* // www.epa.gov.
- US EPA (2012). *A Citizen's Guide to Bioremediation*. United States Environmental Agency // clu-in.org.
- Vidali, M. (2001). Bioremediation: an overview. *Pure and Applied Chemistry*, 73: 1163–1172.
- Wang, Y., Peng, B., Yang, Z., Chai, L., Liao, Q., Zhang, Z., Li, C. (2015). Bacterial community dynamics during bioremediation of Cr(VI)-contaminated soil. *Applied Soil Ecology*, 85: 50–55.
- Wang, Z., Xu, Y., Zhao, J., Li, F., Gao, D., Xing, B. (2011). Remediation of petroleum contaminated soils through composting and rhizosphere degradation. *Journal of Hazardous Materials*, 190: 677–685.
- Winquist, E., Bjorklof, K., Schultz, E. et al. (2014). Bioremediation of PAH-contaminated soil with fungi – from laboratory to field scale. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 86: 238–247.
- Wong, M.H. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50: 775–780.

Стаття надійшла до редакції 25.03.2015.