

---

---

УДК 622.271:504.3.054

**Бучавий Ю.В.**

**Павличенко А.В.**, канд. біол. наук, доцент

**Семеріч К.В.**

(ДВНЗ “НГУ”)

**АЛГОРИТМ БАГАТОФАКТОРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ  
ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА  
ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТАХ**

**Бучавий Ю.В.**

**Павличенко А.В.**, канд. биол. наук, доцент

**Семерич К.В.**

(ГВУЗ “НГУ”)

**АЛГОРИТМ МНОГОФАКТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА  
ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТАХ**

**Buchavy Yu.V.**

**Pavlychenko A.V.**, Ph.D. (Biol.), Senior Lecturer

**Semerich K.V.**, M.S. (Tech.)

(SHEI “NMU”)

**ALGORITHM FOR MULTIFACTOR MODELING OF AIR POLLUTION AT  
THE ORE-DRESSING ENTERPRISES**

**Анотація.** Видобуток корисних копалин відкритим способом супроводжується утворенням значної кількості забруднюючих атмосферу речовин. Тому актуальною задачею є контроль та нормування шкідливих речовин, що утворюються на гірничо-збагачувальних комбінатах від різних джерел забруднення (буропідривні роботи, відвалоутворення, пиління шламосховищ тощо).

Проведено аналіз методик, що застосовується для визначення кількісних показників виділення шкідливих речовин в атмосферу від технологічних процесів відкритої розробки родовищ. Запропонована класифікація технологічних процесів на кар'єрах, яка враховує інтенсивність, періодичність та стаціонарність джерел викидів, а також їх просторові характеристики. Удосконалено методику розрахунку осереднених приземних концентрацій забруднюючих речовин, які виділяються від основних технологічних процесів відкритих гірничих робіт. Розроблено алгоритм багатофакторного моделювання та прогнозування стану атмосферного повітря в районах розташування гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи, забруднення атмосфери, розсіювання, моделювання.

**Вступ.** На території України відкритим способом розробляються родовища залізних і марганцевих руд, каолінів, бурого вугілля, рідкісних металів, будівельних матеріалів тощо. Видобуток корисних копалин відкритим способом

пов'язаний з руйнуванням та переміщенням значних об'ємів гірничої маси, що стає джерелом утворення великої кількості твердих та газоподібних забруднюючих речовин, які потрапляючи у навколишнє середовище погіршують умови проживання населення в гірничопромислових регіонах України.

До основних технологічних процесів, які є джерелами забруднення атмосферного повітря можна віднести: бурові, вибухові, виїмково-навантажувальні роботи, процеси транспортування і складування порід, відвалоутворення тощо. Кожен з цих процесів має свій характер і специфіку утворення та виділення забруднюючих речовин в атмосферне повітря [1-3].

**Теоретична частина.** Джерела забруднення атмосферного повітря на гірничо-збагачувальних комбінатах відповідно до ГОСТу 17.2.1.04-77 – «Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения», бувають стаціонарними і пересувними. Стаціонарні джерела забруднення відповідно до геометричних характеристик можуть бути точковими, лінійними та площинними. Крім того, джерела забруднення можуть бути організованими і неорганізованими.

Нормування рівнів забруднення атмосферного повітря в районах функціонування промислових підприємств проводять відповідно до нормативних методик шляхом розрахунку величин валових викидів забруднюючих речовин [4-6] та приземних концентрацій шкідливих речовин [7, 8]. Слід відмітити, що ці методики дозволяють визначати максимально ймовірні концентрації забруднюючих речовин при несприятливих метеорологічних умовах, переважно від стаціонарних та організованих джерел забруднення. Тому виникає потреба в розробці методики, яка б дозволяла визначати фактичні концентрації забруднюючих речовин, які утворюються від різних технологічних процесів та відрізняються тривалістю, інтенсивністю і періодичністю впливу.

Мета роботи полягає в розробці алгоритму багатофакторного моделювання рівнів забруднення атмосферного повітря основними технологічними процесами на гірничо-збагачувальних комбінатах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Визначити спектр, обсяги та параметри забруднюючих речовин, які утворюються від основних технологічних процесів відкритої розробки родовищ;
- Проаналізувати методики, що застосовуються для визначення кількісних та якісних характеристик джерел забруднення атмосферного повітря на гірничодобувних підприємствах;
- Розробити алгоритм багатофакторного моделювання процесів забруднення атмосферного повітря на гірничо-збагачувальних комбінатах;
- Адаптувати існуючі нормативні методики для ефективного контролю та прогнозування обсягів шкідливих речовин, що утворюються на гірничо-збагачувальних комбінатах.

**Експериментальна частина.** Результати аналізу особливостей впливу технологічних процесів видобутку корисних копалин на специфіку утворення забруднюючих речовин та параметрів, які є визначальними для їх нормування приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика забруднюючих речовин та параметрів їх утворення залежно від технологічних процесів

Технологічний процес	Забруднюючі речовини	Вхідні дані та параметри, які впливають на обсяги утворення забруднюючих речовин
Бурові роботи	Зважені речовини	Діаметр свердловини, марка станка, міцність породи, вологість породи, швидкість буріння, характеристика системи пиловловлювання
Вибухові роботи	Зважені речовини, окис азоту, двоокис азоту окис вуглецю	Характеристика вибухової речовини, міцність породи, вологість породи, кількість вибухової речовини, об'єм гірської маси що підлягає руйнуванню
Завантаження гірської маси в транспортні засоби	Зважені речовини	Склад, вологість та міцність породи, марка техніки, ємність ковша
Транспортування гірської маси автотранспортом	Зважені речовини, окис вуглецю, окис азоту, сажа	Марка та технічний стан автотранспорту, тип дорожнього покриття, швидкість руху автотранспорту, швидкість обдування, вологість та площа поверхні гірської маси що транспортується
Транспортування гірської маси конвеєром	Зважені речовини	Вологість та швидкість обдування гірської маси що транспортується, ширина та довжина стрічки конвеєра
Розвантаження та перевантаження гірської маси	Зважені речовини	Характеристика обладнання, об'єм, склад і вологість гірничої маси, показники пиловловлювання
Формування відвалів та переміщення гірської маси бульдозерами або навантажувачами	Зважені речовини, окис вуглецю, окис азоту, керовані газ, сажа	Міцність та вологість гірської маси, марка та характеристики техніки, швидкість вітру
Відвалоутворення	Зважені речовини	Марка та характеристика техніки, міцність й вологість гірської маси, об'єм переміщеної маси, швидкість вітру
Пиління породних відвалів	Зважені речовини	Висота й площа відвалу, термін розміщення відходів, швидкість вітру
Пиління сухих пляжів шламосховищ	Зважені речовини	Площа сухих пляжів, вологість та дисперсний склад шламів, швидкість вітру
Збагачувальні та агломераційні фабрики, дробарки, бойлерні, майстерні тощо	Зважені речовини, окис азоту, двоокис сірки, окис вуглецю та ін.	Залежно від існуючих технологій

В результаті аналізу табл. 1 можна зробити висновки, що різні технологічні процеси є джерелами утворення зважених речовин, окису азоту, двоокису сірки, окису вуглецю та інших забруднюючих речовин. При цьому, кожен технологічний процес відрізняється параметрами, які впливають на обсяги та інтенсивність утворення забруднюючих речовин.

Класифікація джерел забруднення атмосферного повітря від основних тех-

нологічних процесів відкритих гірничих робіт приведена в табл. 2.

Таблиця 2 - Класифікація джерел забруднення атмосферного повітря від основних технологічних процесів відкритих гірничих робіт

Технологічний процес	Характеристики джерел забруднення							
	Точкові	Лінійні	Площинні	Організовані	Неорганізовані	Нестационарні	Стационарні	Квазістационарні
Бурові роботи	+	-	-	-	+	-	-	+
Вибухові роботи	+	+	+	-	+	+	-	-
Завантаження гірської маси в транспортні засоби	+	-	-	-	+	-	-	+
Транспортування гірської маси автотранспортом	-	+	-	-	+	-	-	+
Транспортування гірської маси конвеєром	-	+	-	-	+	-	+	
Розвантаження та перевантаження гірської маси	+	-	-	-	+	-	-	+
Формування відвалів та переміщення гірської маси бульдозерами або навантажувачами	+	-	-	-	+	-	-	+
Відвалоутворення	+	-	-	-	+	-	-	+
Пиління породних відвалів	-	-	+	-	+	-	-	+
Пиління сухих пляжів шламосховищ	-	-	+	-	+	-	-	+
Збагачувальні та агломераційні фабрики, дробарки, бойлерні, майстерні тощо	+	-	-	+	-	-	+	-

Узагальнена інформація про методики контролю рівнів забруднення атмосферного повітря на різних технологічних процесах приведена в табл. 3.

В результаті аналізу інформації табл. 2 та 3 можна зробити висновки, що більшість технологічних процесів є неорганізованими та квазістационарними джерелами забруднення атмосфери. При цьому більшість методик призначенні для нормування викидів від стационарних та організованих джерел забруднення атмосфери. Тому необхідно розробити методику, яка б максимально враховувала особливості впливу на рівень забруднення атмосфери неорганізованих та квазістационарних джерел забруднення.

Одним з важливих аспектів визначення впливу різних технологічних процесів на рівень забруднення атмосферного повітря є розрахунок осереднених приземних концентрацій забруднюючих речовин.

Таблиця 3 – Перелік нормативних методик, які використовуються для контролювання стану атмосферного повітря на гірничо-збагачувальних комбінатах

Технологічний процес	Нормативна методика
1. Бурові роботи; 2. Завантаження гірської маси в транспортні засоби;	«Методика розрахунку шкідливих викидів для комплексу обладнання

3. Транспортування гірської маси автотранспортом; 4. Транспортування гірської маси конвеєром; 5. Розвантаження та перевантаження гірської маси; 6. Формування відвалів та переміщення гірської маси бульдозерами або навантажувачами; 7. Відвалоутворення; 8. Пиління породних відвалів; 9. Пиління сухих пляжів шламосховищ	відкритих гірських робіт», Люберці, 1999.
Вибухові роботи	Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при взрывных работах на карьерах, Санкт-Петербург, 2004.
Збагачувальні та агломераційні фабрики, дробарки, бойлерні, майстерні тощо	Залежно від типу підприємства та технічного обладнання

Для джерел з постійними впродовж досліджуваного періоду осереднення параметрами викиду (точкові, стаціонарні, організовані джерела), осереднені приземні концентрації  $C$  визначаються за формулою

$$C(r, \varphi) = \frac{p_1(\varphi)M}{r} \cdot C'(r, \varphi), \quad (1)$$

де  $r$  і  $\varphi$  – полярні координати розрахункової точки джерела,  $p_1(\varphi)$  – функція, що характеризує кутовий розподіл концентрації, й виражається через розу вітрів для досліджуваного періоду осереднення.  $C'(r, \varphi)$  обчислюється за формулою

$$C'(r, \varphi) = \int_0^{\infty} du \int_0^{\infty} d\lambda p_2(u) p_3(\lambda) q(r, u, \varphi, \lambda, H_e) \quad (2)$$

де  $u$  – швидкість вітру на рівні флюгера, м/с;  $\lambda$  – безрозмірний параметр, що характеризує умови турбулентного перемішування  $\lambda = K_z / (zu_1)$ , де  $z=1$  м,  $K_z$  – коефіцієнт вертикального турбулентного обміну;  $u_1$  – швидкість вітру на рівні 1 м;  $p_2(u)$  і  $p_3(\lambda)$  – щільність відповідних періодів осереднення ймовірностей  $u$  і  $\lambda$ ,  $H_e$  – ефективна висота джерела.

Для джерел, параметри викиду яких змінюються впродовж періоду осереднення, розрахунок середніх концентрацій виконується наступним чином:

- для джерел, викиди яких визначаються метеорологічними параметрами  $u$  і  $\lambda$  (наприклад, для відвалів, бортів кар'єрів, сухих пляжів шламосховищ, що пиллять), значення  $C'_i(r, \varphi)$  обчислюються за формулою

$$C'_i(r, \varphi) = \int_0^{\infty} du \int_0^{\infty} d\lambda F(u, \lambda) p_2(u) p_3(\lambda) q_i(r, u, \varphi, \lambda, H_t) \quad (3)$$

де  $F(u, \lambda)$  – функція, що характеризує мінливість потужності викидів залежно від метеорологічних параметрів стосовно її характерного значення  $M$ .

- для джерел, викиди яких змінюються незалежно від зміни параметрів  $u$  і  $\lambda$  (тобто усі організовані джерела за винятком аераційних ліхтарів), розрахунок проводиться по формулами (1-3). При цьому  $M$ ,  $V_1$ ,  $w_0$  і  $\Delta T$  задаються середніми за період осереднення значеннями.

- у загальному випадку, для джерел зі змінними параметрами викиду, період осереднення розбивається на інтервали, що не перетинаються, кожний з яких відповідає «постійним» значенням цих параметрів. Для кожного із зазначених інтервалів тривалістю  $\tau_j$  з використанням відповідних цьому інтервалу функцій  $p_1(\varphi)$ ,  $p_2(u)$  і  $p_3(\lambda)$  за наведеними вище формулами визначається середня концентрація  $C_j(r, \varphi)$ .

Середня за певний період концентрація забруднюючих речовин визначається за формулою

$$C(r, \varphi) = \sum_{(j)} \frac{\tau_j}{\tau_{\Sigma}} C^j(r, \varphi) \quad (4)$$

де  $\tau_{\Sigma}$  – загальна тривалість періоду осереднення.

При розрахунку осереднених за тривалий період концентрацій режим метеорологічних елементів характеризується функціями  $p_1(\varphi)$ ,  $p_2(u)$  і  $p_3(\lambda)$ . При обчисленні середніх концентрацій для конкретного інтервалу часу використовуються вибіркові оцінки зазначених функцій за даними вимірів протягом цього інтервалу часу. При обчисленні «кліматичної норми» (математичного очікування) для наближених оцінок функцій  $p_1(\varphi)$ ,  $p_2(u)$  і  $p_3(\lambda)$  допускається використання рядів спостережень тривалістю не менш 3 років. Функція  $p_1(\varphi)$  визначається за розою вітрів  $P_j$ , що відповідає досліджуваному інтервалу часу. При цьому повторюваність штилів  $P_0$  виключається з розгляду, а повторюваності румбів  $P_j$  ( $j = 1, 2, 3 \dots$ ) нормуються за формулою

$$P_j^{\cdot} = \frac{P_j}{\sum_{(j)} P_j} \quad (5)$$

Значення  $p_1(\varphi)$  визначаються таким чином, щоб виконувалися умови рівняння

$$\int_{\varphi_j - \delta}^{\varphi_j + \delta} p_1(\varphi) d\varphi = P_j \quad (6)$$

де  $\delta$  – половина ширина румба. При цьому середині румба  $j$  відповідає напрямок факела  $\varphi$ , що відрізняється на  $180^\circ$ . Усереднена для кожного румба функція  $p_1(\varphi)$  апроксимується поліномами другого порядку, коефіцієнти яких визначаються за наведеними вище рівняннями та умов безперервності  $p_1(\varphi)$  при переході через межу румбів.

При апроксимації функції  $p_1(\varphi)$  повинна бути виконана умова  $p_1(\varphi) > 0$ . Рози вітрів, що приводяться в більшості кліматологічних довідників, необхідно перенормувати за формулою (5).

Вибіркова оцінка щільностей імовірності  $p_1(\varphi)$  і  $p_2(u)$  проводиться за даними регулярних спостережень за швидкістю й напрямком вітру на рівні флюгера. Метеостанція, на якій проводилися спостереження, повинна розташовуватися на відстані не більше 50 км від досліджуваного джерела викиду. Характер рельєфу місцевості в районі розміщення метеостанції не повинен відрізнятися від характеру рельєфу досліджуваної місцевості.

Осереднена за тривалий період концентрація шкідливих речовин  $C$  при наявності  $N$  джерел визначається як сума осереднених за цей період концентрацій речовин від окремих джерел за формулою

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N \quad (7)$$

де  $C_1, C_2, \dots, C_N$  - концентрації шкідливої речовини відповідно від першого, другого,  $N$ -го джерел у розглянутій розрахунковій точці.

Концентрації  $C_1, C_2, \dots$  можуть відповідати як точковим, лінійним так і площинним джерелам забруднення атмосфери.

Осереднена за тривалий період концентрація  $C_l$  від лінійного джерела, розміщеного уздовж відрізка  $l$  довжиною  $L$ , розраховуються за формулою

$$C_l(x, y) = \frac{l}{L} \int_l C(x - \xi, y - \eta) dl \quad (8)$$

де  $C(x, y)$  – концентрація, створювана в розрахунковій крапці  $(x, y)$  точковим джерелом, що перебуває в точці  $(\xi, \eta)$  відрізка  $l$ , а інтеграл у формулі обчислюється уздовж цього відрізка.

Точки лінійного джерела, що належать відріжку  $l$ , визначаються за умови, що в декартовій системі координат з початком у розрахунковій точці й віссю  $x$ , спрямованої за напрямком вітру, їх  $x$ -координати негативні.

Осереднена за тривалий період концентрація  $C_S$  від площинного джерела, що займає область  $S$  площею  $S_{II}$ , розраховуються за формулою

$$C_S(x, y) = \frac{l}{S_{II}} \iint_S C(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta \quad (9)$$

де  $C(x, y)$  – осереднена за цей період концентрація, створювана в розрахунковій точці  $(x, y)$  точковим джерелом, що перебуває в точці  $(\xi, \eta)$  області  $S$ , і інтеграл обчислюється для цієї області. Підінтегральна функція обчислюється за формулами з використанням значень сумарного викиду від усього площинного джерела.

Слід зазначити, що площинними джерелами окрім вищезгаданих відвалів, кар'єрів, й сухих пляжів шламосховищ можна також вважати викиди від резервуарних парків підприємств, сукупності пічних труб у містах, а також груп низьких вентиляційних джерел підприємств (при розрахунках забруднення атмосфери для ділянок, розташованих за межами санітарно-захисної зони цього підприємства). Крім того, площинними джерелами можна вважати викиди від автостоянок, місця відкритого складування матеріалів, що пилять, автомагістралі, або водойми з поверхні яких випаровуються шкідливі речовини тощо.

Передбачається також розрахунок осереднених концентрацій двоокису азоту ( $\text{NO}_2$ ) і оксиду азоту ( $\text{NO}$ ) що проводиться з урахуванням часткової трансформації  $\text{NO}$  у більш токсичний  $\text{NO}_2$  при середньому за розглянутий період часу значенні безрозмірного коефіцієнта трансформації  $a_N$ . Коефіцієнт  $a_N$  залежить від місцевих особливостей режиму інтенсивності короткохвильової, у т.ч. ультрафіолетової радіації, фоновому вмісту в атмосферному повітрі озону ( $\text{O}_3$ ), оксидів азоту, неметанових вуглеводнів тощо. Значення  $a_N$  можуть визначатися як за розрахунковими, так і за експериментальними даними з використанням погоджених у встановленому порядку методик. При цьому потужності викиду двоокису й оксиду азоту ( $M_{\text{NO}_2}$  і  $M_{\text{NO}}$  відповідно) обчислюються за формулою

$$M_{\text{NO}_2} = a_N M_{\text{NO}_x}; M_{\text{NO}} = 0.65(1 - a_N) M_{\text{NO}_x}, \quad (10)$$

де  $M_{\text{NO}_x}$  – осереднена за досліджуваний період часу потужність викиду оксидів азоту «доокислених до  $\text{NO}_2$ ».

При відсутності інших даних при розрахунках допускається використовувати значення  $a_N=0,6$ . У такому випадку  $M_{\text{NO}_x}$  визначається за формулою

$$M_{\text{NO}_x} = M_{\text{NO}_2} + 1,53 M_{\text{NO}}, \quad (11)$$



де  $M_{NO}$  (г/с) і  $M_{NO_2}$  (г/с) «вихідні» викиди оксиду й двоокису азоту.

Усі підінтегральні функції взяті з методики [8].

В результаті проведених досліджень розроблено наступний алгоритм багатофакторного моделювання рівнів забруднення атмосферного повітря основними технологічними процесами:

- Перший етап полягає в визначенні характеристик джерел забруднення для кожного технологічного процесу або об'єкту та подальшого вибору методики визначення кількісних характеристик виділення забруднюючих речовин;

- Другий етап базується на аналізі технологічних паспортів та визначенні вхідних даних та параметрів за якими розраховуються величини валових викидів шкідливих речовин. На цьому етапі необхідно сформулювати перелік забруднюючих речовин, які утворюються від стаціонарних та організованих джерел. Для квазістаціонарних та неорганізованих джерел забруднення визначається графік роботи техніки та обладнання. Крім того, формується база метеорологічних спостережень за якою визначаються ймовірності розподілу швидкості та напрямку вітру й класів стійкості атмосфери.

- Третій етап спрямований на визначення осереднених приземних концентрацій забруднюючих речовин від певного джерела забруднення.

- Четвертий, завершальний етап полягає в визначенні сумарних величин осереднених приземних концентрацій від усіх технологічних процесів та об'єктів підприємства. Отримані результати використовуються для формування розрахункової сітки приземних концентрацій забруднюючих речовин та картографування території за цим показником.

Застосування розробленого алгоритму дозволить вирішити наступні задачі:

- оцінити та спрогнозувати рівні забруднення атмосферного повітря в районах функціонування гірничозбагачувальних комбінатів;

- прогнозувати ризики для здоров'я населення в гірничодобувних регіонах;

- удосконалити систему екологічного моніторингу атмосферного повітря;

- коригувати розмір санітарно-захисних зон гірничодобувних підприємств;

**Висновки.** В результаті виконаних досліджень розроблено алгоритм багатофакторного моделювання стану атмосферного повітря на територіях розміщення гірничодобувних підприємств. Запропонований алгоритм дозволяє врахувати вплив різних технологічних процесів відкритої розробки родовищ корисних копалин на ступінь забруднення атмосферного повітря і відповідно розробити комплекс ефективних природоохоронних заходів.

---

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Крупская, Л.Т. Влияние техногенных систем на окружающую среду в Приамурье и Приморье / Л.Т. Крупская, В.П. Зверева, А.В. Леоненко // Сибирский экологический журнал. 2013. – № 2. – С. 283–289.

2. Gorova, A. Ecological problems of post-industrial mining areas / A. Gorova, A. Pavlychenko, S. Kulyna // *Geomechanical processes during underground mining*. Leiden, The Netherlands : CRC Press / Balkema: 2012, pp. 35-40.

3. Бересневич, П.В. Екологія гірничого виробництва: Навчальний посібник / П.В.Бересневич, Ю.Г.Вілкул, О.М.Голишев [и др.].– Кривий Ріг: Мінерал, 1998.– 152 с.

4. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей) / Люберцы, 1999.

5. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при взрывных работах на карьерах ОАО «Михайловский ГОК». Санкт-Петербург, 2004.

6. Разработка методики определения концентрации пыли на участках рабочих зон карьеров при перезагрузке горной массы: дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Серебренников Эдуард Вадимович; Криворож. техн. ун-т. – Кривой Рог, 2010. – 225 л. : рис., табл. –Бібліогр.: арк. 155–165.

7. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86 /Госкомгидромет.– Офиц. изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.–94 с.

8. Методические указания по расчету осредненных за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ (Дополнение к ОНД-86) / Санкт-Петербург. ГГО им. А.И. Воейкова, 2005.

#### REFERENCES

1. Krupskaya, L.T., Zvereva, V.P. and Leonenko A.V., (2013), "Impact of technogenic systems on the environment and human health in the priamurye and primorye territories", *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal*, no. 2, pp. 283–289.

2. Gorova, A., Pavlychenko, A. and Kulyna, S., (2012), Ecological problems of post-industrial mining areas. *Geomechanical processes during underground mining*. Leiden, The Netherlands, CRC Press, Balkema, pp. 35-40.

3. Beresnevych, P.V., Vilkul Ju.G., Golyshev, O.M., Jermak, L.D. and Movchan O.G. (1998), *Ecologia girnychogo vyrobnystva* [Ecology mining], Mineral, Kryvyj Rig, Ukraine.

4. Method of calculating emissions (discharges) for the complex surface mining equipment (based on specific indicators) (1999), Lubertsy.

5. Method of calculating the emissions of air pollutants from blasting in quarries JSC «Mikhailovsky Mining and Processing Plant." (2004), St. Petersburg, Russia.

6. Development of methods for determining the concentration of dust in the areas of working areas quarries at reboot rock thesis candidate. tehn. science: 05.26.01 / Serebrennikov Jeduard Vadimovich; Krivorozh. tehn. un-t, Krivoj Rog, 2010.

7. Method of calculating the concentration in the air of harmful substances contained in the emissions of companies: OND-86 (\*1987), Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.

8. Guidelines for the calculation of averaged over a long period of concentrations emitted into the atmosphere of harmful substances (Supplement to the OND-86) (2005), GGO im. A.I. Voejkova, Sankt-Peterburg, Russia.

---

#### Об авторах

**Бучавий Юрій Володимирович**, асистент кафедри екології, Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет" (ДВНЗ "НГУ"), Дніпропетровськ, Україна, yurique@3g.ua

**Павличенко Артем Володимирович**, кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет" (ДВНЗ "НГУ"), Дніпропетровськ, Україна, kafedra\_ecology@ukr.net

**Семеріч Карина Володимирівна**, магістрант кафедри екології, Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет" (ДВНЗ "НГУ"), Дніпропетровськ, Україна, kira\_sem@mail.ru

#### About the authors

**Buchavy Yuriy Volodymyrovych**, Assistant Lecturer of Ecology Department, State Higher Educational Institution "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnepropetrovsk, Ukraine, yurique@3g.ua

**Pavlychenko Artem Volodymyrovych**, Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Associate Professor of Ecology Department State Higher Educational Institution "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnepropetrovsk, Ukraine, kafedra\_ecology@ukr.net

**Semerich Karyna Volodymyrivna**, Master of Science, Department of Ecology, State Higher Educational

**Аннотация.** Добыча полезных ископаемых открытым способом сопровождается образованием значительного количества загрязняющих атмосферу веществ. Поэтому актуальной задачей является контроль и нормирование вредных веществ, образующихся на горно-обогатительных комбинатах от различных источников загрязнения (буровзрывные работы, отвалообразование, пыления шламохранилищ и др.).

Проведен анализ методик, применяемых для определения количественных показателей выделения вредных веществ в атмосферу от технологических процессов при открытой разработке месторождений. Предложена классификация технологических процессов на карьерах, учитывающая интенсивность, периодичность и стационарность источников выбросов, а также их пространственные характеристики. Усовершенствована методика расчета осредненных приземных концентраций загрязняющих веществ, которые выделяются от основных технологических процессов открытых горных работ. Разработан алгоритм многофакторного моделирования и прогнозирования состояния атмосферного воздуха в районах расположения горно-обогатительных комбинатов.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, загрязнение атмосферы, рассеивание, моделирование.

**Abstract.** Open pit mining operations cause formation of air pollutants in large amount. Therefore, pollution control and rate norms set for pollutants from various sources (drilling and blasting operations, dumping, dusting of slime storage, etc.) is an urgent task of all mining enterprises.

Methods used for determining quantity of harmful substances escaped into atmosphere in the process of open mining are analyzed. A classification of processes in quarries is proposed with taking into account intensity, regularity and stationarity of emission sources and their spatial characteristics. A method for computing averaged ground-level concentrations of pollutants which are released during the key processes of open pit mining was improved. An algorithm for multifactor modeling and prediction of air state on the territory of mining and processing plants was designed.

**Keywords:** open pit mining, pollution, dispersion modeling.

*Статья поступила в редакцию 19.09.2013  
Рекомендовано к публикации д.т.н. В.Е. Колесником*