

А.І. Горова, В.Є. Колесник, І.Г. Миронова

## ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД ПІДЗЕМНИМ СПОСОБОМ

*Встановлено закономірності зміни приземної концентрації екологічно небезпечних речовин навколо вентиляційних стволів шахти від річної питомої витрати вибухових речовин. Отримано регресійні залежності зміни стану біоіндикаторів від концентрації забруднювачів атмосфери та відстані до джерел викиду. Запропоновано використання емульсійної вибухової речовини україніт-ПП-2Б для відбою руди.*

---

### ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

*Установлены закономерности изменения приземной концентрации экологически опасных веществ вокруг вентиляционных стволов от годового удельного расхода взрывчатых веществ. Получены регрессионные зависимости изменения состояния биоиндикаторов от концентрации загрязнителей атмосферы и расстояния до источников выброса. Предложено использование эмульсионного взрывчатого вещества украинит-ПМ-2Б для отбойки руды.*

---

### INCREASING OF ENVIRONMENTAL SAFETY LEVEL DURING UNDERGROUND MINING OF IRON ORES

*The regularities of surface air concentration change of ecologically hazardous substances around the ventilation shafts from the annual specific consumption of explosives are established. Regression dependences between changes of bio-indicators state and the concentration of atmospheric pollutants as well as the distance to the emission source are obtained. The usage of emulsion explosive Ukrainit-PM-2B for ore breaking is proposed.*

---

#### ВСТУП

Підземний видобуток залізних руд здійснюється з використанням буропідривного способу із застосуванням тротиловмісних вибухових речовин (ВР), при якому рудникове повітря, забруднюючись продуктами вибуху і залізородним пилом, викидається без будь-якого очищення в атмосферне повітря і становить небезпеку компонентам навколишнього середовища в районах розміщення підприємств. Тривалій і широкомасштабний видобуток заліз-

них руд призвів до підвищення рівнів забрудненості атмосферного повітря, водних об'єктів, земельних угідь, накопичення значної кількості промислових відходів, що значно знижує рівень екологічної безпеки в залізородних регіонах України, який залишається досить низьким через недостатнє вивчення механізму забруднення рудникового й атмосферного повітря шкідливими викидами вибухових робіт і відсутність ефективних засобів впливу на ці викиди.

На сьогоднішній день на залізородних шахтах України як основні ВР використовують тротиловмісні аналоги. Аналіз тех-

нічних показників виробничої діяльності залізорудних шахт Криворізького басейну і Білозерського залізорудного району, дозволив встановити, що шахтами ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат» для видобутку залізної руди використовується в середньому 2,9 млн кг тритиловмісних ВР на рік, що у 5 – 7 разів більше ніж на кожній залізорудній шахті окремо [1].

Виконаний аналіз джерел забруднення атмосферного повітря, розташованих на промисловому майданчику ЗАТ «ЗЗРК», поданого в роботі [2], показав, що основними джерелом екологічно небезпечних речовин є буропідривні роботи в шахті. Тому територія, прилегла до шахти, є характерним полігоном для проведення досліджень щодо підвищення екологічної безпеки району.

Метою роботи є обґрунтування ефективних методів підвищення рівня екологічної безпеки при видобутку залізної руди підземним способом за рахунок зниження кількості екологічно небезпечних речовин, що викидаються зі стволів шахт ЗАТ «ЗЗРК» в атмосферу при буропідривних роботах на підземних горизонтах. Для досягнення цієї мети ставилися наступні завдання: визначити концентрації екологічно небезпечних речовин, які надходять у атмосферу з вентиляційних стволів шахти; розрахувати розсіювання екологічно небезпечних речовин навколо шахтних джерел викиду; оцінити токсико-мутагенний стан атмосферного повітря та зміни біологічних показників озимої пшениці у першому поколінні на прилеглих до шахти територіях; розробити методіку розрахунку параметрів екологічного стану атмосферного повітря на цій території; дати пропозиції щодо підвищення рівня екологічної безпеки при видобутку залізних руд підземним способом.

## МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відповідно до поставлених завдань, в умовах полігону ЗАТ «ЗЗРК» проведено вимірювання концентрації токсичних газів у

вихідних струменях повітря каналів вентиляторів головного провітрювання [3]. За отриманими результатами побудовані регресійні залежності концентрації екологічно небезпечних речовин від річної питомої витрати ВР для кожного вентиляційного ствола шахти.

Так, для північного вентиляційного ствола (ПнВС) ці залежності мають вигляд:

– для окису вуглецю

$$C = 115,1 \cdot q - 38,71, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,998, \quad (1)$$

де  $R$  – достовірність апроксимації;  $q$  – річна питома витрата ВР, що дорівнює  $\geq 0,4$  кг/т.

– для оксиду азоту

$$C = 4,31 \cdot q - 0,54, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,934; \quad (2)$$

– для діоксиду сірки

$$C = 4,61 \cdot q + 0,187, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,942. \quad (3)$$

Відповідно для дренажного вентиляційного ствола (ДВС):

– для окису вуглецю

$$C = 121,4 \cdot q - 39,65, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,991; \quad (4)$$

– для оксиду азоту

$$C = 4,64 \cdot q - 1,75, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,956; \quad (5)$$

– для діоксиду сірки

$$C = 3,18 \cdot q + 1,146, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,955. \quad (6)$$

Для південного вентиляційного ствола (ПдВС) відповідні залежності мають вигляд:

– для окису вуглецю

$$C = 100,8 \cdot q - 31, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,995; \quad (7)$$

– для оксиду азоту

$$C = 4 \cdot q - 0,46, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,934; \quad (8)$$

– для діоксиду сірки

$$C = 4,94 \cdot q + 0,05, \text{ мг/м}^3, \text{ при } R^2 = 0,921. \quad (9)$$

Отже, маючи поточні значення параметра  $q$ , нескладно визначити очікувані концен-

трації перелічених забруднювачів у викидах вентиляційних стволів шахти.

Далі проводилася оцінка екологічної небезпеки розсіювання зазначених оксидів

за їх сумарним впливом навколо кожного з перелічених вище вентиляційних стволів (рис. 1) [4].

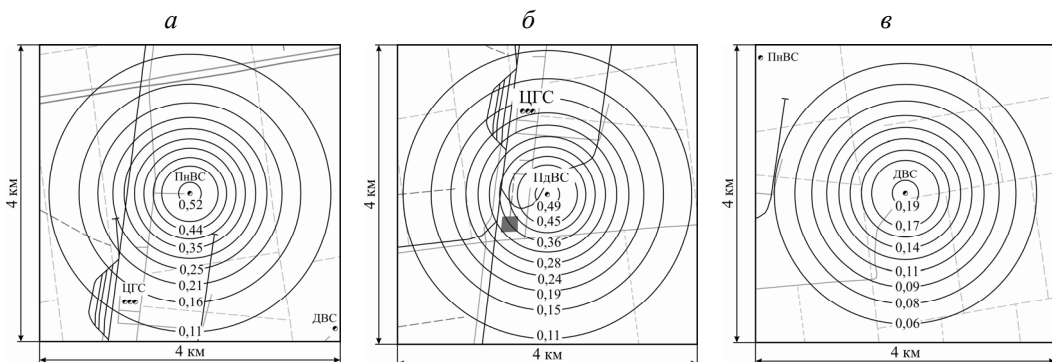


Рис. 1. Характер розподілу приземних концентрацій небезпечних речовин за сумарним впливом: а – навколо ПнВС; б – ПдВС і в – ДВС шахти

На основі розподілу наведених приземних концентрацій отримано емпіричні формули, що визначають приземну концентрацію сумарного впливу небезпечних речовин, представлену в частках від сумарного ГДК, з урахуванням питомої річної витрати ВР і відстані від джерела викиду:

– для ПнВС

$$C_{\text{сум.в}} = 1,39 \cdot q^{1,65} \cdot e^{-0,001 \cdot L}, \quad (10)$$

де  $L$  – відстань від джерела викиду (вентиляційного ствола шахти), м;

– для ПдВС

$$C_{\text{сум.в}} = 1,07 \cdot q^{1,24} \cdot e^{-0,0009 \cdot L}; \quad (11)$$

– для ДВС

$$C_{\text{сум.в}} = 0,72 \cdot q^{2,34} \cdot e^{-0,0008 \cdot L}. \quad (12)$$

Отримані залежності використані для подальшого зіставлення з показниками зміни стану біоіндикаторів. Розрахунок умовного показника ушкодження (УПУ) стану навколишнього середовища [5], що визначається у частках одиниці (ч.од.), дозволив

візуалізувати токсико-мутагенну активність атмосферного повітря навколо джерел викиду (рис. 2).

Далі, аналогічно моделям (10) – (12), отримано регресійну залежність УПУ від питомої витрати ВР і відстані від джерела викиду:

$$УПУ = 0,41 \cdot q^{-0,53} \cdot e^{-0,0003 \cdot L}, \text{ ч.од.} \quad (13)$$

Зіставлення розрахункових значень, отриманих за моделями (10) – (13), дозволило встановити регресійну залежність зміни УПУ від приземної концентрації сумарного впливу  $C_{\text{сум.в}}$  (рис. 3).

Тренд цієї точкової залежності має вигляд лінійного рівняння:

$$УПУ = 0,53 \cdot C_{\text{сум.в}} + 0,25, \text{ ч.од.},$$

$$\text{при } R^2 = 0,967, \quad (14)$$

де  $C_{\text{сум.в}}$  – величина приземної концентрації сумарного впливу, в частках від сумарного ГДК.

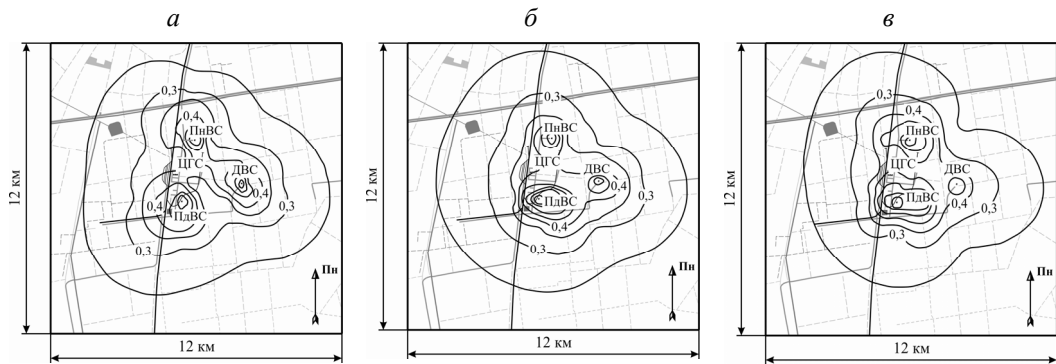


Рис. 2. Просторові зміни умовних показників ушкодження індикаторів на прилеглих територіях до ЗАТ «ЗЗРК»: а – за 2009 р.; б – 2010 р.; в – 2011 р.

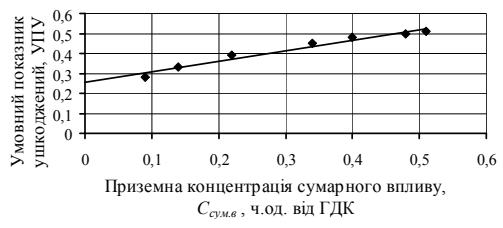


Рис. 3. Графік залежності зміни умовного показника ушкодження від величини приземної концентрації сумарного впливу діючих речовин

На наступному етапі проводилися дослідження комплексних параметрів стану фітоценозів, зокрема озимої пшениці. Зіставлення біологічної врожайності озимої пшениці та приземної концентрації сумарного впливу дозволили встановити кореляційну залежність між цими показниками (аналогічно УПУ). Цю залежність подано на рис. 4.

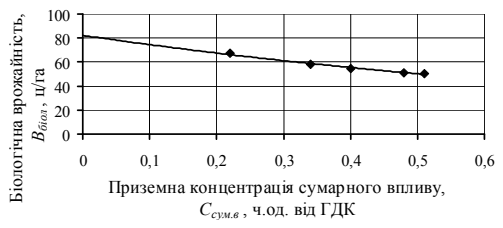


Рис. 4. Залежність біологічної врожайності озимої пшениці від величини приземної концентрації сумарного впливу діючих небезпечних речовин

Її тренд представлено у вигляді експоненти:

$$V_{біол} = 82,21 \cdot e^{-0,986 \cdot C_{сум.в}}, \text{ ц/га,}$$

при  $R^2 = 0,981$ . (15)

Далі встановлювалася залежність фітотоксичної ефекту для озимої пшениці, пророщеної в умовах забрудненої атмосфери. Аналогічно попереднім моделям отримана сім'я залежностей для різних показників проростання зерен у зазначених умовах (рис. 5).

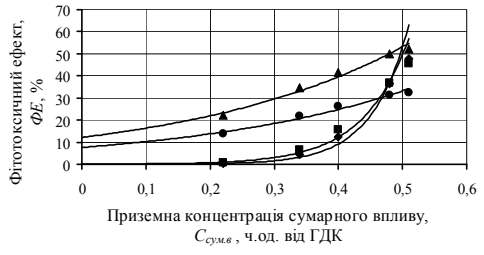


Рис. 5. Графік залежності зміни фітотоксичного ефекту від величини приземної концентрації сумарного впливу діючих небезпечних речовин

Для відповідних показників проростання отримані регресійні рівняння залежності фітотоксичної ефекту від величини при-

земної концентрації сумарного впливу:  
– за довжиною вершків

$$\Phi E_g = 0,008 \cdot e^{17,53 \cdot C_{\text{сум.в}}}, \%,$$

при  $R^2 = 0,982$ ; (16)

– за довжиною корінців

$$\Phi E_k = 0,046 \cdot e^{13,96 \cdot C_{\text{сум.в}}}, \%,$$

при  $R^2 = 0,981$ ; (17)

– за сирію масою

$$\Phi E_{\text{сир.м}} = 12,16 \cdot e^{2,95 \cdot C_{\text{сум.в}}}, \%,$$

при  $R^2 = 0,982$ ; (18)

– за сухою масою

$$\Phi E_{\text{сух.м}} = 7,64 \cdot e^{2,94 \cdot C_{\text{сум.в}}}, \%,$$

при  $R^2 = 0,979$ . (19)

Наведений вище аналіз результатів дослідження екологічного стану атмосферного повітря дозволив запропонувати методику розрахунків його параметрів на територіях, прилеглих до шахти, за усередненими для трьох вентиляційних стволів залежностями у такій послідовності:

1) визначають концентрацію екологічно небезпечних речовин, що надходять з вентиляційного ствола шахти:

– окису вуглецю

$$C_{CO} = 112,43 \cdot q - 36,45, \text{ мг/м}^3; \quad (20)$$

– оксиди азоту

$$C_{NO_x} = 4,32 \cdot q - 0,92, \text{ мг/м}^3; \quad (21)$$

– діоксид сірки:

$$C_{SO_2} = 4,24 \cdot q + 0,46, \text{ мг/м}^3; \quad (22)$$

2) визначають приземну концентрацію сумарного впливу екологічно небезпечних речовин

$$C_{\text{сум.в}} = 1,06 \cdot q^{1,74} \cdot e^{-0,0009 \cdot L}, \text{ в ч.од.}$$

від ГДК; (23)

3) обчислюють УПУ індикаторів

$$\begin{aligned} \text{УПУ} &= \frac{0,205}{q^{0,53} \cdot e^{0,0003 \cdot L}} + 0,265 \times \\ &\times C_{\text{сум.в}} + 0,125, \text{ ч.од.}; \quad (24) \end{aligned}$$

4) розраховують врожайність озимої пшениці

$$B_{\text{біол}} = 24,9 \cdot e^{0,0003 \cdot L} + \frac{41,105}{e^{0,986 \cdot C_{\text{сум.в}}}}, \text{ ц/га}; \quad (25)$$

5) визначають фітотоксичний ефект:

– за довжиною вершків

$$\Phi E_g = 0,004 \cdot e^{17,53 \cdot C_{\text{сум.в}}} + \frac{31,38}{e^{0,0054 \cdot L}}, \%; \quad (26)$$

– за довжиною кореневої системи

$$\Phi E_k = 0,023 \cdot e^{13,96 \cdot C_{\text{сум.в}}} + \frac{28,26}{e^{0,0043 \cdot L}}, \%; \quad (27)$$

– за сирію масою

$$\Phi E_{\text{сир.м}} = 6,08 \cdot e^{2,95 \cdot C_{\text{сум.в}}} + \frac{27,32}{e^{0,0009 \cdot L}}, \%; \quad (28)$$

– за сухою масою

$$\Phi E_{\text{сух.м}} = 3,82 \cdot e^{2,94 \cdot C_{\text{сум.в}}} + \frac{17,08}{e^{0,0009 \cdot L}}, \%. \quad (29)$$

Результати багаторічних досліджень екологічного стану атмосферного повітря промислового майданчика і територій, прилеглих до шахти, дозволили скласти таблицю, за якою визначається екологічна оцінка стану атмосферного повітря навколо джерела викиду. Необхідні дані з визначення екологічної оцінки стану атмосферного повітря навколо вентиляційного ствола шахти подано у табл. 1.

| Приземна концентрація сумарного впливу, $C_{\text{сум.в}}$ , в ч.од. від ГДК | Умовний показник ушкодження індикаторів, УПУ, ч.од. | Біологічна врожайність озимої пшениці, $V_{\text{біол}}$ , ц/га | Рівень ушкодження індикаторів | Стан атмосферного повітря |
|--|---|---|-------------------------------|---------------------------|
| $\leq 0,095$   | 0 – 0,150   | $\geq 74,9$   | низький                       | сприятливий               |
|  | 0,151 – 0,300                                       |   | нижче середнього              | застережливий             |
| 0,096 – 0,378  | 0,301 – 0,450                                       | 74,8 – 56,7   | середній                      | конфліктний               |
| 0,379 – 0,661  | 0,451 – 0,600                                       | 56,6 – 42,9   | вище середнього               | загрозливий               |
| 0,662 – 0,944  | 0,601 – 0,750                                       | 42,8 – 32,4   | високий                       | критичний                 |
| 0,945 – 1,415  | 0,751 – 1,000                                       | $\leq 32,3$   | максимальний                  | небезпечний               |

Як видно з табл. 1, за діапазонами змін величин приземної концентрації сумарного впливу, УПУ індикаторів і біологічної врожайності озимої пшениці, отриманих за формулами (23) – (29), запропоновано визначати рівень ушкодження індикаторів і екологічний стан атмосферного повітря в межах території, прилеглої до джерел викиду (вентиляційних стволів) шахти, за 6-рівневою градацією.

Для підвищення рівня екологічної безпеки необхідне впровадження екологічно-орієнтованих технологій ведення підземних буропідричних робіт. Враховуючи високу вартість промислових тротиловмісних ВР, їх небезпеку, доцільним є застосування таких аналогів, що виготовляються безпосередньо на місцях ведення вибухових робіт і є більш безпечними з погляду екологічної безпеки. Тому для підвищення рівня останньої, пропонується застосувати емульсійну ВР вітчизняного виробництва – україніт-ПП-2Б.

Оцінку зниження екологічної небезпеки впливу шкідливих речовин, які утворюються при веденні вибухових робіт у шахті, здійснювали шляхом розрахунку індекса безпеки  $HI$ , що визначається як сума відношень концентрацій екологічно небезпечних речовин до їх гранично допустимої концентрації (рис. 6).

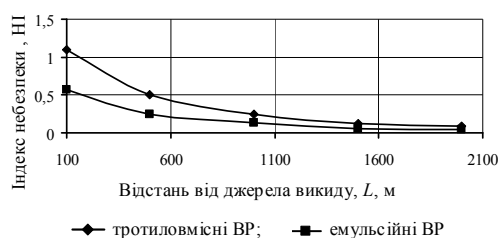


Рис. 6. Характер зміни індекса безпеки від відстані до джерела викиду

З рис. 6 видно, що при використанні емульсійних ВР, порівняно з тротиловмісними ВР, індекс безпеки знижується на 50%. А це означає, що при використанні емульсійних ВР під час видобутку залізних руд підземним способом рівень екологічної небезпеки знизиться в 2 рази. Подальші дослідження дозволили отримати регресійну залежність УПУ від індекса безпеки

$$УПУ = 0,5 \cdot HI^{0,2}, \text{ при } R^2 = 0,994. \quad (30)$$

Визначення УПУ за допомогою формули (30) дозволило встановити, що при використанні емульсійних ВР інгібуючий вплив на стан індикаторів знижується на 13% порівняно з використанням тротиловмісних ВР.

## ВИСНОВКИ

1. Побудовано регресійні залежності концентрації екологічно небезпечних речовин від річної питомої витрати вибухових речовин для кожного вентиляційного ствола шахти, що дозволили за поточними значеннями витрати ВР визначити очікувані концентрації забруднювачів у викидах в атмосферу.

2. Отримано емпіричні формули, що визначають приземну концентрацію сумарного впливу небезпечних речовин, з урахуванням питомої річної витрати ВР і відстані від джерела викиду, котрі використані для подальшого зіставлення з показниками зміни стану біоіндикаторів. Розраховано умовний показник ушкодження останніх, що дозволив візуалізувати токсикомутагенну активність атмосферного повітря навколо джерел викиду шахти, а зіставлення отриманих розрахункових значень дозволило встановити регресійну залежність зміни УПУ від приземної концентрації сумарного впливу.

3. Визначено комплексні параметри стану фітоценозів, зокрема озимой пшениці, а зіставлення її врожайності з приземною концентрацією сумарного впливу забруднювачів атмосфери дозволили встановити кореляційну залежність між цими показниками (аналогічно УПУ).

4. Встановлено залежність фітотоксичного ефекту для озимой пшениці, пророщеної в умовах забрудненої атмосфери й отримано його регресійні залежності від величини приземної концентрації сумарного впливу, що разом з попередніми показниками ушкодження індикаторів дозволило запропонувати методику оцінки екологічного стану атмосферного повітря в межах території шахти, прилеглої до джерел її викиду за б-рівневою градацією.

5. Впровадження екологічно-орієнтованої технології відбою руди, пов'язаної із застосуванням емульсійних ВР в умовах шахт ЗАТ «ЗЗРК», дозволить до двох разів підвищити рівень екологічної безпеки при видобутку залізної руди підземним способом за рахунок зниження забруднення рудникової атмосфери продуктами вибуху.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горнорудное дело Украины в сети Интернет: справочник / [Хоменко О.Е., Кононенко М.Н, Владыко А.Б., Мальцев Д.В.] – Д.: НГУ, 2011. – 288 с.

2. Горвая А.И. Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха в условиях ЗАО «Запорожский ЖРК» / А.И. Горвая, И.Г. Миронова // Форум гірників: матеріали міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2011. – С. 112 – 116.

3. Горва А.І. Определение концентрации вредных веществ в исходящей струе рудничного воздуха / А.І. Горва, І.Г. Миронова // Зб. наук. праць НГУ. – Д.: НГУ, 2011. – № 36, Т.2. – С. 192 – 200.

4. Миронова И.Г. Анализ уровней загрязнения атмосферного воздуха при подземной добыче железных руд / И.Г. Миронова, А.В. Павличенко // Розробка родовищ:

щорічн. наук.-техн. зб. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – С. 261 – 266.

5. Миронова И.Г. Оценка экологического состояния атмосферного воздуха в районах размещения предприятий подземной добычи железных руд / И.Г. Миронова // Зб. наук. праць НГУ. – Д.: НГУ, 2013. – № 40. – С. 204 – 209.

## ПРО АВТОРІВ

Горова Алла Іванівна – д.б.н., професор, завідувача кафедрою екології Національного гірничого університету.

Колесник Валерій Євгенович – д.т.н., професор кафедри екології Національного гірничого університету.

Миронова Інна Геннадіївна – асистент кафедри екології Національного гірничого університету.

