

УДК: 622.03:628.511:614.838.12:622:349.5

А.О. ГУРІН, д-р техн. наук, проф., В.А. ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ФЕНОМЕНУ ПРИРОДНОГО БІШОФІТУ В ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЇ ТА ГІРНИЧОРУДНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Мета.** Оцінка технологій та технічних засобів для використання феномену водного розчину природного бішофіту (РПБ) в галузі екології та гірничорудній промисловості з урахуванням застосування РПБ при вибухових роботах, для попередження змерзання гірської маси у вагонах і ожеледиці на автошляхах у кар'єрах, для боротьби з виділенням пилу при транспортуванні гірської маси залізничним транспортом, при масових вибухах у кар'єрах, на кар'єрних автошляхах і на хвостосховищах.

**Методи дослідження.** Під час вивчення, систематизації та узагальнення технологій і технічних засобів використання РПБ використано аналіз досліджень і публікацій, результати промислових та експериментальних досліджень на полігонах за стандартними та новими методиками за участю авторів та провідних фахівців у цій галузі.

**Наукова новизна.** Наведено основні наукові, практичні та соціальні результати оцінки технологій та технічних засобів для використання феномену водного розчину природного бішофіту (РПБ) в галузі екології та гірничорудній промисловості.

**Практична значимість.** Розроблено та впроваджено технологію запобігання зимової слизькості на кар'єрних автомобільних шляхах з використанням РПБ. Наведено рекомендації щодо боротьби з виділенням пилу при транспортуванні гірської маси залізничним транспортом, при масових вибухах у кар'єрах, на кар'єрних автошляхах і на хвостосховищах ГЗК, із застосуванням РПБ та бітумної емульсії, що дозволяють ефективно закріплювати пилові поверхні від здування пилу.

**Результати.** При використанні РПБ замість води при вибухових роботах у кар'єрах зменшуються витрати ВР у 1,4-1,5 рази та знижуються викиди шкідливих газів під час вибухів на 20-30%. На підземних гірничих роботах при заміні води на РПБ для зволоження гранул ВР знижуються виділення газів при масовому вибуху у шахті в 1,3-1,4 рази. Для запобігання змерзання або примерзання гірської маси до внутрішньої поверхні відкритих вагонів при транспортуванні на морозі, здійснюється профілактична обробка внутрішньої поверхні залізничних вагонів РПБ. Для попередження ожеледиці на автошляхах у кар'єрах здійснюється попередня їх обробка РПБ.

**Ключові слова:** розчин природного бішофіту, вибухові роботи, змерзання гірської маси, слизькість кар'єрних автошляхів, транспортування гірської маси, виділення пилу, хвостосховище, екологія.

doi: 10.31721/2306-5451-2022-1-55-76-82

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Мінерал бішофіт ( $MgCl_2$ ) широко використовується у народному господарстві, медицині, косметології, екології тощо. До складу бішофіту входять солі натрію, кальцію, калію, бромю та ін. Найбільш чисті поклади бішофіту (93-96%) в Україні знаходяться в Полтавській та Чернігівській областях, а в Російській Федерації у Волгоградській області, де вони знаходяться на великій глибині у вигляді твердих пластів завтовшки до 30 м [1]. В Україні використовується переважно водний розчин природного бішофіту (РПБ) ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) Полтавського родовища (табл. 1) [2].

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості розчину природного бішофіту

| Найменування показників                                                                                                                                                                | Норма                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Зовнішній вигляд                                                                                                                                                                       | Водна безбарвна рідина, масляниста на дотик, без запаху (допускається кольоровість до світло-коричневого кольору з каламуттю) |
| Густина при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>                                                                                                                                                   | Не менше 1250                                                                                                                 |
| Загальна мінералізація, кг/м <sup>3</sup>                                                                                                                                              | Не менше 320                                                                                                                  |
| Клас небезпеки                                                                                                                                                                         | Четвертий                                                                                                                     |
| Розчинність у воді                                                                                                                                                                     | Добре розчиняється у воді. Розчин має велику гігроскопічність.                                                                |
| Токсичність                                                                                                                                                                            | Не токсичний                                                                                                                  |
| Агресивність                                                                                                                                                                           | Не агресивний                                                                                                                 |
| Горючість                                                                                                                                                                              | Не горючий                                                                                                                    |
| Вибухонебезпечність                                                                                                                                                                    | Вибухобезпечний                                                                                                               |
| Масова частка, %:<br>іонів магнію $Mg^{+2}$<br>хлористого магнію $MgCl_2$<br>хлористого натрію $NaCl$<br>сульфат іонів $SO_4^{2-}$<br>хлористого кальцію<br>нерозчинність у воді осаду | не менше 7<br>не менше 24<br>не більше 5<br>не більше 1<br>не більше 0,5<br>не більше 0,2                                     |
| Температура замерзання                                                                                                                                                                 | мінус 35 °С                                                                                                                   |

Бішофіт використовується для лікування артритів, артрозів, ревматизму, радикуліту, аритмії, гіпертонії, атеросклерозу, ішемічної хвороби, неврозів, стресів, жовчно-кам'яної хвороби тощо. Бішофіт як бальнеологічний засіб застосовується у вигляді компресів, втирання, місцевих та загальних ванн [3]. Широке застосування бішофіт знайшов у косметології, де він використовується у різних формах: гелі для масажу; назальні спреї; зубні пасти та ополіскувачі для ротової порожнини; олія для волосся - бішофіт магній; інші косметичні засоби.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Бішофіт унікальний природний засіб, який широко використовується в різних галузях народного господарства.

**Використання РПБ у будівництві.** Бішофіт використовується при виробництві ксилаліту для наливної підлоги, плиток. Також бішофіт застосовується для виробництва скломагнісвих листів. РПБ також використовується як засіб боротьби з ожеледицею. Він швидко розплавляє крижаний шар на поверхнях автошляхів, дахах будівель та інших спорудах.

**Використання РПБ у сільському господарстві.** Бішофіт застосовується для підживлення, в першу чергу, культур, що мають велику зелену біомасу: кукурудза, цукровий буряк, соя, сарго, картопля тощо. Для підвищення родючості насіння, їх стійкості до хвороб і шкідників, а також врожайності, застосовується передпосівна обробка зернових культур бішофітом. Обприскування розчином бішофіту садових дерев і чагарників проводиться навесні до розкриття бруньок.

**Використання РПБ у тваринництві,** ефективність добавок до корму бішофіту, забезпечує приріст живої маси для телят на 15 – 17% та молодняку свиней на 16,5%.

**Використання РПБ у боротьбі з бур'янами.** Амброзія - це алерген, який здатний призвести до летальних наслідків, тому вона внесена до списку карантинних об'єктів. Амброзія дуже плодита. Один кущ амброзії дає за сезон від 30 до 150 тис. насіння, родючість якого зберігається протягом 40 років. Короткий аналіз відомих способів боротьби з амброзією свідчить про те, що вони можуть використовуватися в обмежених умовах, недостатньо ефективні і не економічні. Розроблено та випробувано у промислових умовах спосіб боротьби з бур'янами, заснований на застосуванні водного РПБ [12]. Обробку листя амброзії РПБ можна проводити на будь-якій стадії розвитку від сходів до цвітіння в суху погоду. У період цвітіння обробляти не доцільно через появу пилку і зростання насіння. РПБ, що має четвертий клас небезпеки, і використовується в медицині як лікувальний засіб, може застосовуватися для боротьби з амброзією на територіях міст, курортів, біля доріг, навколо полів тощо.

Вивчення та узагальнення досліджень, в яких розглядаються питання використання водного розчину природного бішофіту в галузі екології та гірничорудній промисловості свідчать про те, що наразі відсутній системний підхід до їх узагальнення. Отже, метою роботи є оцінка технологій та технічних засобів для використання феномену водного РПБ в галузі екології та гірничорудній промисловості з урахуванням застосування РПБ при вибухових роботах, для попередження змерзання гірської маси у вагонах і ожеледиці на автошляхах у кар'єрах, для боротьби з виділенням пилу при транспортуванні гірської маси залізничним транспортом, при масових вибухах у кар'єрах, на кар'єрних автошляхах і на хвостосховищах.

**Постановка завдання.** Для досягнення поставленої мети авторами вирішено такі завдання: провести аналіз та оцінку використання феномену водного РПБ у галузі екології та гірничорудній промисловості;

рекомендувати технології та засоби застосування РПБ при вибухових роботах, для попередження змерзання гірської маси у відкритих вагонах на морозі, для попередження ожеледиці на автошляхах у кар'єрах, для боротьби з виділенням пилу при транспортуванні гірської маси залізничним транспортом, при масових вибухах у кар'єрах, на кар'єрних автошляхах і на хвостосховищах, які дозволяють ефективно закріплювати пилові поверхні від здування пилу.

**Викладення матеріалу та результати.** Основні наукові та практичні результати технологій та технічних засобів використання водного РПБ найбільш повно наведені у роботах за участю авторів [3-5].

**Використання РПБ під час вибухових робіт.** Відомо, що більшість свердловин, які підривають в кар'єрах обводнені, тому їх зарядження сипучими вибуховими речовинами (ВР), типу грамоніт 79/21, виконують у поліетиленових рукавах. Але вода перетискає рукав. Тому в таких місцях утворюються пробки з ВР. Вода розчиняє аміачну селітру, що призводить до зменшення кількості ВР і порушення її кисневого балансу та підвищення вмісту газів під час вибуху. Авто-

рами запропоновано замінити воду, що подається для ліквідації пробки, розчином природного бішофіту щільністю понад  $1250 \text{ кг/м}^3$ , який не розчиняє аміачну селітру та має вартість на порядок нижчу, ніж грамоніт 79/21 [6]. Це дозволяє зменшити витрати ВР у 1,4 – 1,5 рази та знизити викиди шкідливих газів під час вибухів на 20 – 30%.

При пневмозарядженні свердловин у підземних умовах для попередження передчасного вибуху від розряду статичної електрики нормативним документом передбачається зволоження граманіту 79/21 водою з витратою 3 – 5%. Проведені промислові дослідження із заміни води бішофітом показали, що виділення газів при масовому вибуху у шахті зменшуються у 1,3 – 1,4 рази. Крім того, водний розчин природного бішофіту повністю виключає накопичення електростатичної електрики при терті гранул ВР об поверхню зарядного шланга, через його високу струмопровідну здатність [7].

*Використання РПБ для попередження змерзання гірської маси.* При транспортуванні залізних і марганцевих руд у зимовий період року на морозі відбувається примерзання гірської маси до внутрішньої поверхні відкритих залізничних вагонів та її змерзання. Головна причина замерзання гірської маси – її вологість. В таких випадках, для видалення гірської маси застосовують механічні чи профілактичні способи очищення вагонів, що призводить до тривалого простою залізничних потягів та значних витрат коштів. Для відновлення сипкості змерзлих вантажів застосовують різні способи та засоби (табл. 2) [8].

Таблиця 2

Характеристика способів та засобів відновлення сипкості змерзлих вантажів

| Назва способів та засобів            | Мінімальна температура замерзання, °С | Середні витрати, кг/т | Вартість, грн./т |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Механічне дроблення вантажу          | люба                                  | -                     | 15,0 – 20,0      |
| Термічна обробка вантажу             | люба                                  | -                     | 7,0 – 12,0       |
| Зневоднення вантажу негашеним вапном | мінус 30                              | 60 – 65               | 8,0 – 14,0       |
| Розморожування вантажу у тепляках    | люба                                  | -                     | 1,5 – 9,0        |
| Водний розчин хлористого кальцію     | мінус 25                              | 0,2 – 0,4             | 0,7 – 0,8        |
| Профілактична обробка ніогрином      | мінус 35                              | 0,5 – 0,6             | 0,6 – 0,8        |
| Профілактична обробка североном      | мінус 55                              | 0,5 – 0,6             | 0,8 – 1,0        |
| Профілактична обробка сировою нафтою | мінус 15                              | 0,8 – 1,0             | 0,5 – 0,6        |
| Профілактична обробка РПБ            | мінус 30                              | 0,2 – 0,4             | 0,15 – 0,2       |

З табл. 2 видно, що найбільш економічним способом є профілактична обробка внутрішньої поверхні залізничних вагонів РПБ, що застосовується на гірничодобувних підприємствах понад 25 років. Крім того, порівняно з сировою нафтою або нафтопродуктами бішофіт безпечний. Вагони, оброблені нафтопродуктами, під час ремонту часто спалахують. Щорічно, для запобігання примерзанню руд, на гірничодобувні підприємства завозять 3,0 – 5,0 тис. тон бішофіту залежно від кліматичних умов. РПБ завозять в залізничних цистернах, які найчастіше використовуються для транспортування нафтопродуктів. У таких цистернах зазвичай накопичується шар нафти. РПБ очищає цистерни і набуває запаху нафтопродуктів, що виключає його крадіжку.

*Використання РПБ для боротьби з виділенням пилу* проводиться при транспортуванні гірської маси залізничним транспортом у відкритих вагонах, при масових вибухах у кар'єрах, на кар'єрних автошляхах і на хвостосховищах ГЗК.

Тривалість перевезення гірської маси від гірничих підприємств до металургійних комбінатів, що знаходяться в Україні та за кордоном, знаходиться у межах від 6 до 96 годин, при цьому швидкість руху поїзда може перевищувати 20 м/с. При такій швидкості всередині вагону виникають внутрішні вихрові потоки, які здувають пил з поверхні руд.

Дослідження показали [9], що концентрація пилу в повітрі поблизу залізничних колій, при швидкості руху поїзда понад 20 м/с, перевищує допустимі норми запиленості у 6 – 8 разів. Для зменшення здування пилу і зниження його концентрації в повітрі поблизу залізничних колій до  $2,0 \text{ мг/м}^3$ , запропоновано змочувати поверхню руди у відкритому вагоні РПБ з наступною витратою, в залежності від швидкості руху поїзда (табл. 3).

Таблиця 3

Витрати РПБ в залежності від швидкості руху поїзда

| Швидкість руху поїзда, м/с     | до 7,0 | 7,0 – 15,0 | 15,0 – 20,0 | більше 20,0 |
|--------------------------------|--------|------------|-------------|-------------|
| Витрати РПБ, кг/м <sup>2</sup> | 0,5    | 1,0        | 1,5         | 2,0         |

Поверхня, оброблена водою, швидко висихає, кількість пилу, що здувається, зростає і через 3-4 доби сягає величини  $200 \text{ г/м}^2$ , що відповідає сухому пилу (рис. 1 графік 1).

Кількість пилу, що здувається з поверхні руди, обробленої бішофітом залишається стабільною ( $5-12 \text{ г/м}^2$ ) упродовж семи днів, після чого починає помітно зростати (рис. 1 графік 2). Це пояснюється частковим випаруванням бішофіту.

При масових вибухах у кар'єрах в атмосферу викидається велика кількість дрібнодисперсного пилу, концентрація якого у пилогазовій хмарі перевищує допустимі норми в сотні разів [10]. Одним із основних джерел виділення пилу є буровий пил, що знаходиться біля свердловини в радіусі 2,5-3,0 м, і при масовому вибуху здувається газами вибухових речовин, забруднюючи атмосферу. Для зменшення виділення пилу, пропонується поверхню бурового пилу змочувати РПБ щільністю  $1250-1270 \text{ кг/м}^3$  та витратою  $4,5-5,0 \text{ л/м}^2$ . Завдяки своїй маслянистій структурі і високій гігроскопічності бішофіт надійно закріплює поверхню бурового пилу, запобігаючи забрудненню атмосфери.

Більше 70% видобутої залізорудної сировини в Кривому Розі (Україна) переробляється на п'яти гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК). Відходи збагачення (хвости) зберігаються на хвостосховищах, площа яких сягає 7000 га. Обсяги хвостів, які щорічно зберігаються на хвостосховищах становлять 30-40 млн.  $\text{м}^3$ . Висота деяких хвостосховищ сягає 100 м, що сприяє дії вітрової ерозії і не дозволяє утримувати рівень води вище поверхні хвостів. Більшість відходів збагачення містить небезпечний для здоров'я пил з діаметром часток менше 50  $\mu\text{м}$  (до 90%). Такий пил при вдиханні призводить до захворювання на силікоз, бронхіт тощо. Для боротьби з виділенням пилу на хвостосховищах пропонуються різними авторами використовувати відходи нафтопереробки, латекси, полімери та інші матеріали, які створюють на поверхні хвостів тонку плівку. Проте, вони не знайшли широкого застосування через низьку механічну міцність плівки, токсичність, неможливість застосування взимку, велику вартість тощо.

Промислові дослідження на діючих хвостосховищах ПАТ «ПівнГЗК» та ПАТ «Арселор-Міттал Кривий Ріг» (ПАТ «АМКР») показали, що найбільш ефективною та економічно вигідною виявляється технологія закріплення поверхні діючих хвостосховищ РПБ (табл.4) [11].

Таблиця 4

Показники закріплення поверхні хвостосховищ РПБ

| № карти | Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$ | Відносна вологість в ол повітря, % | Швидкість вітру, м/с | Час після обробки карт, доба | Вологість хвостів, % |                  | Запиленість повітря, $\text{мг/м}^3$ |                  | Наявність опадів  |
|---------|-----------------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------|
|         |                                         |                                    |                      |                              | оброблено РПБ        | контрольна карта | оброблено РПБ                        | контрольна карта |                   |
| 1       | -4,8                                    | 70                                 | 3-4                  | 13                           | 5,52                 | 4,61             | 0,16                                 | 2,6              | сніг              |
| 1       | -3,0                                    | 75                                 | 5-7                  | 27                           | 6,97                 | 0,96             | 0,3                                  | 116              | без опадів        |
| 1       | 7,0                                     | 68                                 | 5,7-6,0              | 3                            | 10,0                 | 0,9              | 1,06                                 | 125              | без опадів        |
| 9       | 14,2                                    | 82                                 | 6-7                  | 11                           | -                    | -                | 0,8                                  | 26,0             | без опадів        |
| 10      | 12,2                                    | 86                                 | 4-6                  | 14                           | -                    | -                | 0,3                                  | 15,5             | дощ               |
| 14      | 12,0                                    | 70                                 | 3,8-4,0              | 15                           | -                    | -                | 0,43                                 | 2,3              | без опадів        |
| 15      | 8,0                                     | 84                                 | 5,4-6,0              | 16                           | 11,3                 | 1,6              | 1,13                                 | 6,0              | короткочасний дощ |
| 9       | 25,0                                    | 63                                 | 4,4-4,8              | 44                           | 9,1                  | 1,3              | 1,0                                  | 4,6              | короткочасний дощ |
| 10      | 25,0                                    | 63                                 | 4,4-4,8              | 43                           | 6,53                 | 1,3              | 0                                    | 4,6              | короткочасний дощ |
| 12      | 25,0                                    | 63                                 | 3,8-4,0              | 38                           | 5,36                 | 1,3              | 0,27                                 | 4,6              | короткочасний дощ |
| 13      | 25,0                                    | 63                                 | 4,0                  | 29                           | 4,0                  | 1,3              | 0,27                                 | 4,6              | короткочасний дощ |
| 14      | 25,0                                    | 63                                 | 4,0                  | 37                           | 4,1                  | 1,3              | 0,27                                 | 4,6              | короткочасний дощ |
| 15      | 25,0                                    | 63                                 | 4,0                  | 30                           | 8                    | 1,3              | -                                    | 4,6              | короткочасний дощ |
| 16      | 25,0                                    | 63                                 | 3,5-4,0              | 26                           | 3,24                 | 1,3              | 0,4                                  | 4,6              | короткочасний дощ |
| 9       | 26,0                                    | 60                                 | 2,5-3,0              | 75                           | 8,8                  | 0,15             | 0,26                                 | 4,5              | сухо              |
| 10      | 26,0                                    | 60                                 | 2,5                  | 74                           | 6,0                  | 0,15             | 0,44                                 | 4,5              | сухо              |

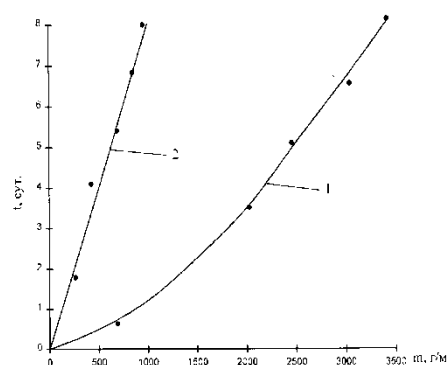
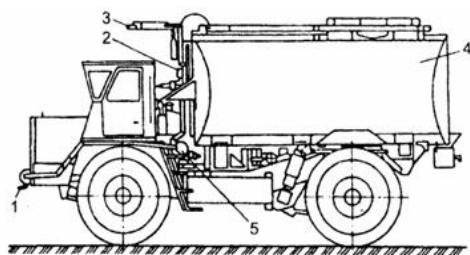


Рис. 1. Приріст кількості пилу, що здувається, в часі з поверхні руди у вагоні, обробленій водою (1) і бішофітом (2) при швидкості повітря  $V = 12,5 \text{ м/с}$

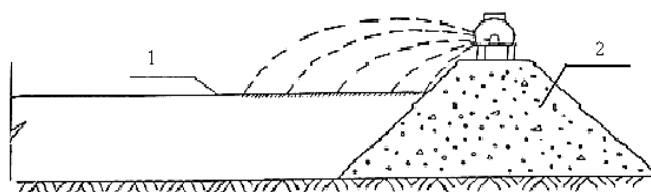
Промислові дослідження ефективності запропонованої технології для закріплення сухих поверхонь хвостосховищ, показали зменшення запиленості повітря у 4,6-17 разів. Технологія закріплення поверхні діючих хвостосховищ РПБ, на відміну від інших технологій і засобів, може використовуватися протягом усього року і не передбачає спеціального обладнання.

РПБ на поверхні хвостосховищ наноситься гідромоніторами, змонтованими на базі автомобілів БелАЗ 7648 (рис. 2), які рухаючись дамбами, закріплюють поверхні хвостів (рис. 3).

Дальність дії струменя з урахуванням напрямку вітру знаходиться у межах 50-120 м, що дозволяє обробити РПБ всю поверхню хвостів (див. рис. 3). Висота падіння крапель РПБ на поверхню хвостів перевищувала 1 м, оптимальні витрати було прийнято в межах 1,5-2 л/м<sup>2</sup>. Під час досліджень на обох підприємствах було закріплено 9 карт загальною площею понад 200 га. У ході експериментів було встановлено, що використання РПБ щільністю не менше 1250 кг/м<sup>3</sup> має найбільш тривалий ефект закріплення (не менше 70 діб).



**Рис. 2.** Автомобіль для нанесення РПБ:  
1 – зрошувачі для поливу доріг; 2 – гідросистема управління; 3 – гідромонітор; 4 – цистерна для рідини; 5 – насос



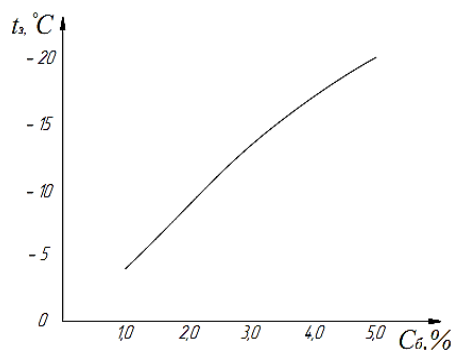
**Рис. 3.** Схема нанесення РПБ на карту хвостосховища:  
1 – поверхня хвостів; 2 – дамба

Авторами встановлено, що, незважаючи на періодичні дощі та інші неприємні погодні умови РПБ, нанесений на поверхню хвостів, продовжує підтримувати високу вологість верхньої частини хвостосховища, зв'язуючи дрібнодисперсний пил.

*Боротьбі з ожеледицею на автошляхах у кар'єрах.* Високу ефективність попередження зимової слизькості та виділення пилу на кар'єрних автошляхах у Кривбасі (Україна) показала технологія їхньої попередньої обробки РПБ. Промислові дослідження показали, що обробку автошляхів у Криворізьких кар'єрах слід розпочинати з поверхні при температурі атмосферного повітря до мінус 3,0 °С, на глибині кар'єру понад 100 м при температурі атмосферного повітря нижче мінус 3,0 °С, та на глибині кар'єру понад 200 м - нижче мінус 5,0 °С [4, 5].

Профілактична обробка кар'єрних автошляхів РПБ здійснюється із застосуванням поливальних машин до появи зимової слизькості в період прогнозованого різкого зниження температури повітря до мінус 2–5 °С. Після підвищення температури повітря, кар'єрні автодороги, оброблені РПБ, довгий час не виділяють пил при русі по них транспортних засобів. Після отримання інформації про зниження температури повітря визначають необхідну кількість РПБ.

Обробку покриття дороги РПБ за допомогою поливальних машин зі спеціалізованим розподільним пристроєм починають не пізніше трьох годин до морозу. На рис. 4 представлена залежність температури змерзання гірничої маси ( $t_z$ , °С) від вмісту водного РПБ ( $C_b$ , %).



**Рис. 4.** Залежність температури змерзання гірничої маси ( $t_z$ , °С) від вмісту в ній водного розчину природного бішофіту ( $C_b$ , %)

#### **Висновки та напрямок подальших досліджень.**

Проведені дослідження показали, що розроблені авторами технології та технічні засоби дозволяють ефективно використовувати РПБ у галузі екології та гірничорудній промисловості, забезпечувати економічну ефективність та екологічну безпеку технологічних процесів видобутку рудної сировини, її транспортування і зберігання відходів збагачення у хвостосховищах.

При використанні РПБ замість води при вибухових роботах у кар'єрах зменшуються витрати ВР у 1,4 – 1,5 рази та знижуються викиди шкідливих газів під час

вибухів на 20 – 30%. На підземних гірничих роботах при заміні води на РПБ для зволоження гранул ВР знижуються виділення газів при масовому вибуху у шахті в 1,3 – 1,4 рази. Для запобігання змерзання або примерзання гірської маси до внутрішньої поверхні відкритих залізничних вагонів при транспортуванні залізних та марганцевих руд на морозі, здійснюється профілактична обробка внутрішньої поверхні залізничних вагонів РПБ. Для попередження ожеледиці на автошляхах у кар'єрах здійснюється попередня їх обробка РПБ із застосуванням поливальних машин в період прогнозованого різкого зниження температури повітря до мінус 2–5 °С. Для зменшення виділення пилу під час перевезення гірської маси у відкритих вагонах поверхню вантажу запропоновано змочувати РПБ. Для зменшення виділення пилу в атмосферу при масових вибухах у кар'єрах пропонується поверхню бурового пилу змочувати РПБ щільністю 1250 – 1270 кг/м<sup>3</sup> у кількості 4,5 – 5,0 л/м<sup>2</sup>. Для боротьби з виділенням пилу на діючих хвостосховищах, закріплення їх поверхонь РПБ в умовах ПАТ «ПівніГЗК» (Кривбас, Україна) знижує забрудненість повітря пилом у 4,6 – 17 разів, на відміну від інших технологій та засобів. Встановлено що використання РПБ із концентрацією (щільністю) не менше 1250 кг/м<sup>3</sup> має найбільш тривалий ефект закріплення (не менше 70 діб).

Одним із перспективних напрямів проведення подальших досліджень є використання великих об'ємів техногенних підземних порожнин, утворених при вилуговуванні бішофіту, для зберігання корисних рідких речовин або для утилізації відходів на глибині понад 1500 м [13].

### *Список літератури*

1. Жарков М.А., Жаркова Т.М., Мерзляков Г.А., Гребенников Н.П. и др. Особенности строения залежей бишофита и каменных солей. – Новосибирск, 1980. – С. 40 – 45.
2. Раствор природного бишофита (РПБ) ТУ 25 Украина 22529511-003-97.
3. Кузьмин Е.В., Святецкий В.С., Марковец В.В. Сгущение отходов переработки урановых руд с получением пасты для подземного размещения // Горный журнал. –2018. – № 7. –С. 73–77. DOI: 10.17580/gzh.2018.07.14.
4. Ляшенко В.И., Гурин А.А. Природоохранные технологии и средства для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2016. № 4. С. 10-17.
5. Гурин А.А., Шаповалов В.А., Ляшенко В.И. Технология повышения безопасности эксплуатации карьерных автомобильных дорог и предотвращения пыления хвостохранилищ ГОКов путем их обработки водным раствором природного бишофита //Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020;76(11):1089-1096. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2020-11-1089-1096>.
6. Ляшенко В.И., Голик В.И., Дятчин В.З. Повышение экологической безопасности снижением техногенной нагрузки в горнодобывающих регионах // Изв. вузов. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 7. С. 529-538. <https://doi.org/10.17073/03680797-2020-7-529-538>.
7. Осипов Ю.В., Кошелев А.Е., Вознесенский А.С. Экспериментальные исследования деформационных свойств бишофита // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 10. – С. 5–15. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-5-15.
8. Glebov, A. (2017). Selection of gathering autotransport for the systems of cyclical-and-continious technology. Mining of Mineral Deposits, 11(4), 11-18. <https://doi.org/10.15407/mining11.04.011>
9. Stupnik, M., Kalinichenko, V., Fedko, M., Kalinichenko, O., Pukhalskyi, V., & Kryvokhin, B. (2019). Investigation of the dust formation process when hoisting the uranium ores with a bucket. Mining of Mineral Deposits, 13(3), 96-103. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.096>
10. Kofanov, O., Vasylykevych, O., Kofanova, O., Zozul'ov, O., Kholkovsky, Yu., Khrutba, V, Borysov, O., & Bobryshov, O. (2020). Mitigation of the environmental risks resulting from diesel vehicle operation at the mining industry enterprises. Mining of Mineral Deposits, 14(2), 110 – 118. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.110>
11. Рациональное использование природных ресурсов Челябинской области: монография: в 2 ч. Ч. 1 / В. И. Бархатов, И. П. Добровольский, Ю. Ш. Капкаев. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. с. 143-146. ISBN 978-5-7271-1287-8.
12. Куликова Е.Ю., Виноградова О.В. Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационноаналитический бюллетень. — 2020. — № 7. — С. 146—154. DOI: 10.25018/0236-1493- 2020-7-0-146-154.
13. Qi Sun, Jian Lu, Jun Wu, Guangcan Zhu Catalytic Ozonation of Sulfonamide, Fluoroquinolone, and Tetracycline Antibiotics Using Nano-Magnesium Hydroxide from Natural Bischofite. / Water, Air, & Soil Pollution volume 230, Article number: 55 (2019).