

А. П. Деньгін, канд. техн. наук, Ю. М. Спичак, д-р техн. наук, професор  
(ДУ «ННДІПБОП»)

## КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ТА ПЕРШОЧЕРГОВІ ЗАХОДИ З ПРОМИСЛОВОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДОМБРОВСЬКОГО КАЛІЙНОГО КАР'ЄРУ

Питання щодо стану промислової та екологічної безпеки Домбровського калійного кар'єру (м. Калущ, Івано-Франківської обл.) наразі є актуальним і неодноразово розглядалося фахівцями та адміністрацією області із залученням фахівців спеціалізованих наукових і виробничих установ. Відтак було запропоновано декілька проектів стабілізації кризової ситуації, але жодного не було прийнято. Авторами статті розроблено та запропоновано комплекс першочергових заходів для попередження аварійної ситуації на цьому кар'єрі.

Домбровський калійний кар'єр експлуатувався у 1967...2003 рр. і був єдиним у світі гірничим об'єктом, де видобуток солі здійснювався відкритим способом. Упродовж тривалого часу експлуатації цього кар'єру існувало та існує дотепер три джерела надходження до соляних покладів агресивних прісних вод (рис. 1).



*Рис. 1. Затоплюваний Домбровський калійний кар'єр*

Перше джерело – це атмосферні опади, що випадають безпосередньо на площу кар'єрного поля; друге – підземні води верхнього питного водоносного горизонту; третє – води, що стягуються зі штучного русла р. Сівки. Найбільшим із вищезазначених джерел прісних вод є

атмосферні опади, їх частка становить близько 70 %, решта – це підземні та річкові води.

Річка Сівка є джерелом живлення для зони розвантаження в північному борті Домбровського кар'єру і фактично відбувається прогресуючий розвиток каналів руху вод із її штучного русла.

Після припинення експлуатації Домбровського кар'єру почалося його природне затоплення. Відтак у кар'єрі нагромаджено 21 млн м<sup>3</sup> розсолів, концентрація яких на поверхні кар'єру досягає 120...150 г/л, а на глибині 140 м зростає до 400...430 г/л. Щорічно до кар'єру потрапляє близько 2,5 млн м<sup>3</sup> води, це призводить до того, що рівень розсолів у ньому щорічно підіймається на 2...2,5 м (рис. 2).

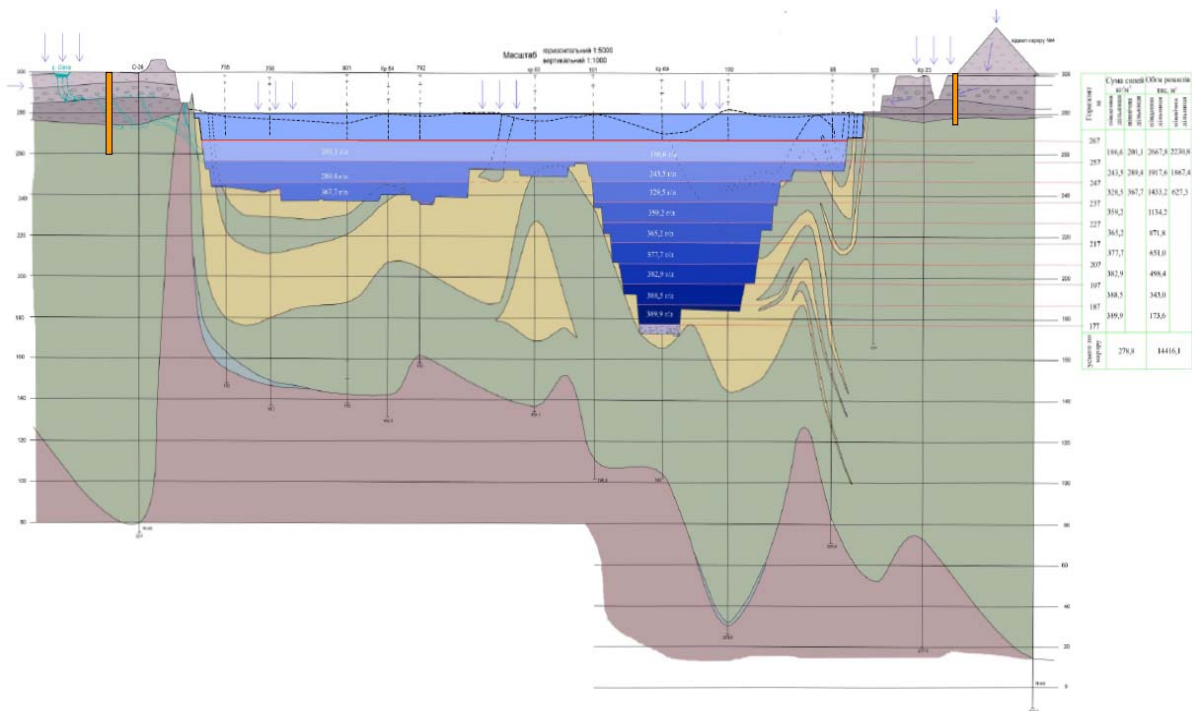


Рис. 2. Розріз Домбровського калійного кар'єру

Одночасно відбувається руйнування північного борту Домбровського кар'єру в бік р. Сівки. Через східний та північний борти кар'єру інтенсивно розвивається фільтрація шкідливих розсолів з утриманням важких металів у напрямку р. Лимниці, яка впадає у р. Дністер, та у бік м. Калуша. Наразі існує ціла низка проблем, які необхідно вирішити.

### Проблеми Домбровського калійного кар'єру

До комплексу Домбровського калійного кар'єру входять: безпосередньо кар'єр, його солевідвали № 1, № 4 та шламосховища № 1, № 2.

Сьогодні **першою проблемою** є загроза незворотного засолення та забруднення головного підземного водоносного горизонту Прикарпаття, який постачає питною водою десятки населених пунктів цього регіону.

Ситуація ускладнюється тим, що між дзеркалом розсолів у Домбровському кар'єрі та подошвою верхнього водоносного питного горизонту залишилося менше 3-х метрів. Якщо не вжити термінових заходів, то через рік-півтора почнеться засолення і забруднення цього водоносного горизонту.

**Друга проблема** – це активне руйнування північного борту Домбровського кар'єру в напрямку р. Сівки, яка протікає на відстані близько 200 м від цього борту та впадає в р. Дністер. Ця транскордонна ситуація обумовлена щорічним інтенсивним розвитком процесу карстоутворення між р. Сівкою та цим бортом.

**Третя проблема** – фільтрація шкідливих розсолів із Домбровського кар'єру по природному гідравлічному ухилу в бік м. Калуша та в напрямку р. Лимниці, яка впадає в р. Дністер.

**Четверта проблема** – активна фільтрація шкідливих розсолів з концентрацією до 400 г/л із солевідвалів № 1 та № 4 площею 48 і 36 га відповідно по природному гідравлічному ухилу в напрямку р. Лимниці та м. Калуша, обумовлена багаторічною дією атмосферних опадів, внаслідок чого на поверхні солевідвалів утворилось тисячі водопровідних каналів, що призводить до розчинення, вилуження солей із солевідвалів та забезпечує їх подальшу міграцію в ґрунти та підземні води.

**П'ята проблема** – забруднення ґрунтів та підземних вод протягом останніх сорока років через міграцію шкідливих речовин із шламосховищ № 1 і № 2 Домбровського кар'єру.

## **Північний борт Домбровського калійного кар'єру**

### **1988 – 1999 рр.**

У 1988 – 1999 рр. геофізичні дослідження карстопроявів на внутрішньому борті північної ділянки Домбровського калійного кар'єру виявили водоносні карсти, що мають тенденцію до розвитку в бік р. Сівки.

### **2004 рік**

У 2004 році фахівцями Прикарпатського ДП «Спецгеологорозвідка» було виконано комплекс геофізичних досліджень на ділянці північного борту Домбровського кар'єру. Відтак було зроблено висновок, що між штучним каналом р. Сівки та Домбровським кар'єром прогноуються дві зони розвитку карстоутворень, які супроводжуються локальними просіданнями в покрівлі гіпсоглинистих порід, що тяжіють до зон інфільтрації розсолів.

### **2009 рік**

У 2009 році з метою дослідження розвитку карстових процесів у межах північного борту Домбровського кар'єру та простеження зон

активної фільтрації вод р. Сівки до цього кар'єру фахівцями Західно-української геофізичної розвідувальної експедиції було виконано геофізичні дослідження на зазначеній ділянці кар'єру. Інтерпретацію цих геофізичних досліджень та підготовку відповідного звіту виконали працівники «Науково-дослідного інституту гідрогеології, інженерної геології та екології» м. Івано-Франківська.

У результаті проведення досліджень було встановлено:

відбувається подальший розвиток соляного карсту на північній прибортовій частині Домбровського кар'єру та виникають провали денної поверхні;

відбувається подальший розвиток карстопровальних форм на площині, що з'єднує р. Сівку та Домбровський кар'єр, урахувавши спрямування вод річки до кар'єру;

схема утворення карсту пов'язана з проникненням підземних вод із гравійно-галькового горизонту через гіпсоглинисті породи у засолені глини із вмістом 74 % NaCl з подальшим їх розчиненням;

інтенсивний розвиток карсту в прибортовій північній частині Домбровського кар'єру внаслідок аномально низької потужності досліджуваного пласту гіпсоглинистих порід.

### **2013 рік**

Наприкінці червня 2013 року стався прогнозований прорив підземних вод на північному борті Домбровського кар'єру з орієнтовним припливом 1000 м<sup>3</sup>/добу. За декілька діб цей приплив збільшився і досяг майже 1500 м<sup>3</sup>/добу.

З метою визначення параметрів зони підземних карстових водоносних каналів між р. Сівкою та північним бортом Домбровського калійного кар'єру фахівці Карпатського відділення Інституту геофізики НАН України в серпні 2013 року провели детальні геофізичні дослідження в районі прориву підземних і річкових вод на ділянці північного борту Домбровського калійного кар'єру. У результаті проведених досліджень було визначено, що ширина основної зони водоносних карстових каналів на північному борті Домбровського калійного кар'єру становить 400 метрів. Глибина поширення цієї зони досягає від 40 до 60 м.

### **Пропозиції**

У 2011 році ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці» спільно з ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Антрацит-Плюс Лтд.» подали технічні пропозиції щодо негайного виконання природоохоронних тампонажних робіт на північному борті Домбровського кар'єру на адресу:

Об'єднаних Націй в Україні;

ДУ «Український інститут стратегічних досліджень»;

Інституту геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України;

голови Калуської міської Ради;  
начальника Держуправління охорони навколишнього природного середовища Івано-Франківської області;  
Генерального директора Інституту гірничо-хімічної промисловості ВАТ «Гірхімпром».

У 2012 році фахівці ТОВ «НВП «Антрацит-Плюс Лтд.» та ДП «Науково-дослідний інститут галургії» відібрали проби забруднених вод та ґрунтів на ділянці Домбровського калійного кар'єру. Ці проби було передано до Українського науково-дослідного інституту екологічних проблем Міністерства екології та природних ресурсів України. У результаті проведених у цьому інституті хіміко-аналітичних досліджень, було виявлено багаторазове перевищення вмісту важких металів, фторидів, неорганічних, органічних та інших небезпечних речовин 1-го класу небезпеки та нафтопродуктів у підземних водах і ґрунтах Домбровського кар'єру.

### **Комплекс першочергових природоохоронних заходів**

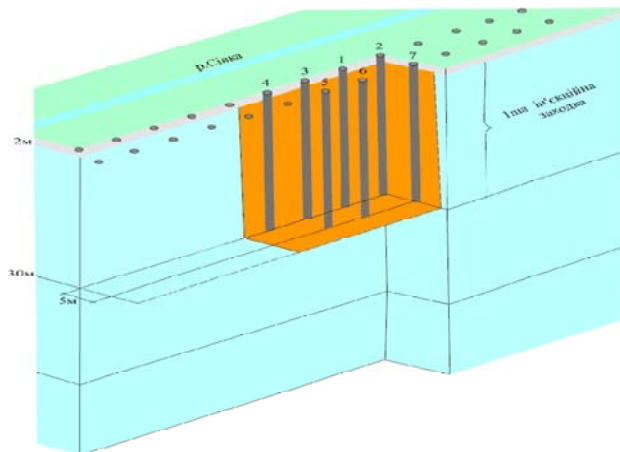
З метою запобігання утворенню транскордонної надзвичайної ситуації в районі Домбровського калійного кар'єру, ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці» Держгірпромнагляду України спільно з ТОВ «НВП «Антрацит-Плюс Лтд.», пропонують виконання комплексу таких природоохоронних заходів.

#### **1. Домбровський калійний кар'єр**

Облаштування навколо кар'єру замкненої підземної протифільтраційної завіси (далі – ПФЗ) у 3 етапи:

**перший етап** – локальний буроін'єкційний тампонаж найбільш проникної водоносної закарстованої зони (згідно з геофізичними дослідженнями) у рамках дослідно-промислового тампонажу у ІІ кварталі 2014 року. Локальний тампонаж пропонується виконати в дві заходки:

перша – в інтервалі від 2 до 30 м через 4 тампонажні та 3 контрольно-тампонажні свердловини:



*Рис. 3*

друга – в інтервалі від 30 до 60 м через 4 тампонажні та 3 контрольно-тампонажні свердловини:

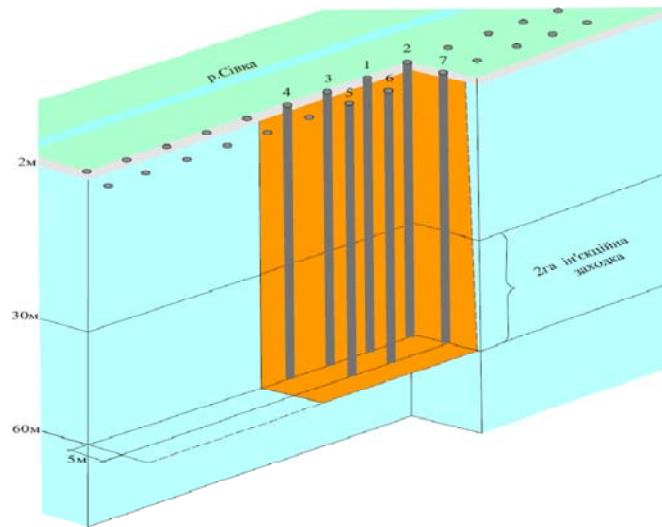


Рис. 4

Радіус протифільтраційної завіси вздовж р. Сівки розраховують за рівнянням (1):

$$R = \frac{\alpha \cdot \delta_{\max} \cdot P_{\Gamma}}{2[P_m]}, \quad (1)$$

- де  $R$  – радіус протифільтраційної завіси, м;  
 $\alpha$  – коефіцієнт запасу міцності протифільтраційної завіси;  
 $\delta_{\max}$  – максимальне розкриття водоносних карстів і тріщин, м;  
 $P_{\Gamma}$  – гідростатичний тиск, кг/см<sup>2</sup>;  
 $[P_m]$  – пластична міцність бентонітоцементного розчину при його ін'єкції у водоносний породний масив, кг/см<sup>2</sup>.

Радіус поширення бентонітоцементного розчину навколо окремої ін'єкційної свердловини у водоносному масиві розраховують за рівнянням (2):

$$z = \delta \Delta P_{mp} / (2\tau_0), \quad (2)$$

- де  $z$  – радіус поширення розчину у водоносних породах навколо ін'єкційної свердловини, м;  
 $\delta$  – середнє розкриття карстів і тріщин, м;  
 $\Delta P_{mp}$  – перепад тиску при течії розчину у водоносних породах, кг/см<sup>2</sup>;  
 $\tau_0$  – динамічна напруга зсуву бентонітоцементного розчину, кг/см<sup>2</sup>.

Величину втрат тиску  $\Delta P_{mp}$ , що виникають при течії бентонітоцементного розчину в породах, визначають з рівняння (3):

$$\Delta P_{mp} = P_n - \Delta P_m - \Delta P_t - P_k - P_z, \quad (3)$$

- де  $P_n$  – тиск нагнітання розчину, кг/см<sup>2</sup>;  
 $\Delta P_m$  – втрати тиску в маніфольдній лінії, кг/см<sup>2</sup>;  
 $\Delta P_t$  – втрати тиску в нагнітальному трубопроводі, кг/см<sup>2</sup>;  
 $P_k$  – гідростатичний тиск, кг/см<sup>2</sup>;  
 $P_z$  – тиск стовпа бентонітоцементного розчину у вертикальній свердловині, кг/см<sup>2</sup>.

Тиск нагнітання  $P_n$  визначають згідно з технічною характеристикою поршневого ін'єкційного насоса.

Втрати тиску в маніфольдній лінії та у нагнітальному трубопроводі діаметром 50 мм розраховують за залежністю (4):

$$\Delta P_m = \frac{L \cdot \gamma}{100}, \quad (4)$$

- де  $\Delta P_m$  – втрати тиску в нагнітальному трубопроводі, кг/см<sup>2</sup>;  
 $L$  – довжина трубопроводу, м;  
 $\gamma$  – гідравлічний опір при течії бентонітоцементного розчину в бурильних трубах, кг/см<sup>2</sup> на 100 м труб.

Тиск на контурі поширення бентонітоцементного розчину у водоносному закарстованому масиві  $P_k$  відповідає гідростатичному тиску в ін'єкційній свердловині.

Гідростатичний тиск стовпа бентонітоцементного розчину  $P_z$  у вертикальній ін'єкційній свердловині дорівнює 1/10 його висоти, помноженої на щільність цього розчину, і розраховується за рівнянням (5):

$$P_z = \frac{H\rho}{10} \quad (5)$$

- де  $H$  – глибина ін'єкційної свердловини, м;  
 $\rho$  – щільність бентонітоцементного розчину, г/см<sup>3</sup>.

Підставляючи числові значення у рівняння (1)...(5), отримаємо радіус протифільтраційної завіси 17 м, радіус поширення бентонітоцементного розчину навколо окремої ін'єкційної свердловини 6 м та відстань між сусідніми ін'єкційними свердловинами 10 м відповідно.

**Другий етап** – облаштування ПФЗ довжиною 1500 метрів навколо північного борту Домбровського калійного кар'єру протягом 2014...2015 рр.

**Третій етап** – облаштування «стіни в ґрунті» завдовжки 4800 м, глибиною 20 м біля східного, південного та західного бортів

Домбровського калійного кар'єру з метою створення замкненої підземної протифільтраційної завіси навколо цього кар'єру. Глибину влаштування «стіни в ґрунті» обумовлено результатами попереднього буріння близько 150 розвідувальних свердловин навколо Домбровського калійного кар'єру, що виявили наявність водонепрохідних порід біля бортів кар'єру на глибині 15...20 м.

Для влаштування «стіни в ґрунті» доцільно придбати 3 комплекти спеціалізованого обладнання CASAGRANDE (Італія), з метою оперативного виконання протифільтраційних природоохоронних робіт навколо Домбровського калійного кар'єру.

## **2. Солевідвали № 1 та № 4**

З метою припинення фільтрації розсолів з солевідвалів № 1 і № 4 необхідно виконати два етапи робіт:

**перший етап** – влаштування на горизонтальній поверхні солевідвалів непроникної геомембрани за технологією та з використанням недорогих геосинтетичних матеріалів німецької компанії NAUE GmbH. Гарантійний строк експлуатації геомембрани понад 100 років. Ці роботи пропонується виконати одночасно з влаштуванням ПФЗ навколо Домбровського калійного кар'єру;

**другий етап** – влаштування навколо солевідвалів № 1 і № 4 «стіни в ґрунті» завдовжки 2500 м, глибиною 20 м до природних водонепрохідних ґрунтів, із використанням обладнання CASAGRANDE.

## **3. Шламосховище № 1**

Сорок років тому шламосховище № 1 побудували в проникних лесах, саме тому упродовж цих років з нього фільтруються шкідливі речовини.

З метою попередження подальшого забруднення довкілля небезпечними відходами з концентрацією солей до 400 г/л пропонується влаштувати навколо шламосховища № 1 Домбровського кар'єру «стіну в ґрунті» завдовжки 3400 м і глибиною 30 м до природних водонепрохідних ґрунтів за допомогою обладнання CASAGRANDE.

### **Технологія створення підземної протифільтраційної завіси**

Створення підземної протифільтраційної завіси навколо північного борту Домбровського калійного кар'єру передбачає виконання цілого комплексу дослідних і виробничих робіт, а саме:

1 – буріння з поверхні землі проектної кількості розвідувальних свердловин;

2 – проведення в цих свердловинах комплексу геофізичних, гідрогеологічних та гідродинамічних досліджень для визначення



фільтраційних параметрів тріщинуватих і закарстованих водоносних порід;

3 – інженерний розрахунок процесу водоізоляції та укріплення закарстованих і тріщинуватих порід;

4 – розроблення відповідної робочої документації;

5 – буріння проектною кількістю тампонажних свердловин;

6 – приготування проектного обсягу бентонітової суспензії;

7 – приготування розрахованої кількості бентонітоцементного розчину;

8 – ін'єкцію проектного обсягу бентонітоцементного розчину в закарстовані водоносні та тріщинуваті породи через пробурені свердловини;

9 – контроль якості створення підземної протифільтраційної завіси.

Варто зазначити, що цю технологію протягом 1994...2012 рр. було успішно впроваджено спеціалістами ТОВ «НВП «Антрацит-Плюс Лтд.» в Україні, США і на Тайвані в більш складних геофізичних умовах, ніж умови Домбровського кар'єру.

### **Водоізолюючі бентонітоцементні розчини**

Як водоізолюючі матеріали для влаштування підземної протифільтраційної завіси та «стіни в ґрунті» навколо Домбровського кар'єру, його солевідвалів і шламосховищ в умовах хлоридно-натрієвої та магнезійної агресії підземних вод пропонується використовувати водоізолюючі розчини на основі монтморилонітової бентонітової порошкової глини Дашуківського заводу (Черкаська область).

Ці глини після приготування бентонітоцементного розчину з доданням до початкової бентонітової суспензії розрахованої кількості портландцементу та реагентів-структуроутворювачів мають унікальну здатність збільшувати свій початковий об'єм у 8...8,5 разів у процесі ін'єкції цього розчину у водоносний породний масив. Це забезпечує надійну водоізоляцію водоносних карстових порожнин і водоносних тріщинуватих зон після їх тампонажу.

При створенні ПФЗ на північному борті Домбровського калійного кар'єру в умовах хлоридно-натрієвої агресії пропонується використання портландцементу як реагент-структуроутворювач. При створенні ПФЗ в умовах магнезійної агресії пропонується використовувати магнезійний цемент з відповідними домішками.

### **Контроль якості створення підземної протифільтраційної завіси – «стіни в ґрунті»**

Проект створення ПФЗ навколо північного борту Домбровського кар'єру передбачає ряд методів контролю якості, а саме:

**перший метод** ґрунтується на визначенні зміни коефіцієнта проникності порід, що тампонуються, в процесі нагнітання до них бентонітоцементного розчину через пробурені свердловини;

**другий метод** базується на досягненні кінцевих розрахункових режимів нагнітання бентонітоцементного розчину в тампонажні свердловини, що пробурені по трасі ПФЗ;

**третій метод** передбачає здійснення контролю якості тампонажу порід обпресовуванням створеної підземної протифільтраційної завіси на розрахунковий тиск.

### **Рекомендації**

З огляду на вищезазначене, ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці» спільно з ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Антрацит-Плюс Лтд.» рекомендують:

1. У II кварталі 2014 року виконати першочергові роботи з локального тампонажу водопритливів до північного борту Домбровського кар'єру.

2. У 2014...2015 рр. створити ПФЗ завдовжки 1500 м і глибиною до 60 м навколо північного борту цього кар'єру.

3. У 2015...2016 рр. (разом із виконанням робіт із створення ПФЗ) здійснити природоохоронні роботи на солевідвалах № 1 і № 4 та навколо шламосховища № 1 Домбровського кар'єру.

4. У 2015...2017 рр. провести роботи із створення замкненої ПФЗ навколо Домбровського кар'єру.

### *Висновки*

Було докладно проаналізовано проблеми Домбровського калійного кар'єру, надано технічні пропозиції, запропоновано комплекс першочергових заходів, наголошено на необхідності контролю якості створення підземної протифільтраційної завіси та «стіни в ґрунті». Відтак даються чіткі рекомендації стосовно термінів виконання робіт із створення ПФЗ.

### **Список літератури**

1. Патент UA № 50538 «Спосіб захисту калійного кар'єру від припливів підземних і річкових вод». Бюл. № 11, 2010. Автори: Спичак Ю. М., Деньгін А. П. та ін.

2. Патент UA № 56011 «Водоізолюючий розчин на основі бентонітової глини». Бюл. № 24, 2010. Автори: Спичак Ю. М., Деньгін А. П. та ін.

*Дата подання статті до збірника – 3.02.2014 р.*