

## ПРОГНОЗ СОЛЬОВОГО РЕЖИМУ НЕОБВОДНЕНОГО РЕКУЛЬТИВОВАНОГО ШАХТНОГО ВІДВАЛУ В НЕУСТАЛЕНОМУ РЕЖИМІ НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

На основі фізико-хімічної гідродинаміки пористих середовищ виконано прогноз сольового режиму необводненого шахтного відвалу при мінімальному значенні транспірації в умовах неусталеного режиму.

*Ключові слова:* шахтний відвал, сольовий режим, прогноз.

На основе физико-химической гидродинамики пористых сред выполнен прогноз солевого режима необводненного отвала, при минимальном значении транспирации в условиях неустановившегося режима.

*Ключовые слова:* шахтный отвал, солевой режим, прогноз.

On the based theory of physical-chemical hydrodynamic of porous media was executed prognosis salt rate no supplying with water mine dumps of minimum sense transpiration in conditions no established rate.

*Key words:* mine dumps, salt rate, prognosis.

**Вступ.** Західний Донбас – перспективний гірничодобувний регіон України. Видобуток вугілля супроводжується інтенсивним водовідливом шахтних вод підвищеної мінералізації, які акумулюються у ставках-накопичувачах, побудованих без екранізації днищ. Частина земель, придатних для сільськогосподарського використання, вже засипана шахтними відвалами, площа яких постійно збільшується. Для сільськогосподарських цілей породи без рекультивації не придатні і служать додатковим джерелом засолення ґрунту і підземних вод.

Масштаби забруднення ґрунтового шару, поверхневих і підземних вод породами, видобутими із гірських виробок у Західному Донбасі, залежать від об'єму, форми, розміщення відвалу відносно геоморфологічних елементів і форм рельєфу, глибини залягання першого від поверхні водоносного горизонту, фільтраційних властивостей порід в основі відвалу.

Породи усіх відвалів являються однотипними за хімічним складом і складаються переважно з глинистих мінералів та гідроокисів, з домішками воднорозчинних солей.

Об'єктом дослідження є шахтні відвали вільного заростання ділянки Дніпропетровського державного аграрного університету, що представляють собою вирівняну площину близько 5 га і розташовані на схилі ріки Самари та у заплаві на землях природоохоронної території. На шахтну породу здійснено насип завтовшки по 100 см (1 м) суміші червоно-бурої глини.

**Метою** роботи є вибір оптимального варіанта рекультивованого шахтного відвалу вільного заростання та створення природоохоронних заходів гідрогеологічного напрямку, які треба починати з поліпшення структури режимної спостережної сітки.

**Методи дослідження.** Задача розв'язана на моделі вертикального солепереносу аналітичними та чисельними методами.

**Викладення основного матеріалу.** Фізико-математичні моделі руху води і солей шахтних відвалів у неусталеному режимі побудовані на основі теорії фізико-хімічної гідродинаміки пористого середовища [1], згідно якої цей процес описується рівняннями руху і збереження маси речовини. Для вертикального солепереносу шахтних відвалів також застосовується рівняння (1)

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} = n \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (1)$$

$$D = D_m + \lambda V, \quad (2)$$

де  $D$  – коефіцієнт гідродисперсії, м<sup>2</sup>/добу;  $C$  – мінералізація підземних вод у зоні повного водонасичення; мінералізація ґрунтового розчину в зоні аерації, г/дм<sup>3</sup>;  $V$  – швидкість фільтрації в зоні повного водонасичення;  $i$  швидкість вертикального вологепереносу в зоні аерації м/добу;  $V = V_1 - V_2$ ;  $V_1$  – швидкість висхідного потоку, м/добу;  $V_2$  – швидкість нисхідного потоку, м/добу;  $x$  – просторова координата м;  $t$  координата часу, доба;  $n$  – активна пористість у зоні повного водонасичення; об'ємна вологість у зоні аерації, частки одиниць;  $\lambda$  – параметр розсіювання речовини, м.

Рівняння (1) аналітичного розв'язання для висхідного потоку не має, тому для характеристики розвитку вторинного засолення у часі використано його кінцево-різницеве відображення за явною схемою

$$D_m \frac{C_{i-1}^\tau - C_i^\tau}{(\Delta x)^2} - D_m \frac{C_i^\tau - C_{i+1}^\tau}{(\Delta x)^2} + V_1 \frac{C_i^\tau - C_{i+1}^\tau}{\Delta x} = n \frac{C_i^{\tau+1} - C_i^\tau}{\Delta t}, \quad (3)$$

де  $i-1, i, i+1$  – просторові індекси розрахункових точок;  $\tau, \tau+1$  – часові індекси розрахункових точок;  $C_{i-1}, C_i, C_{i+1}$  – засолення у розрахункових точках, %.

Використання явних кінцево-різницевих схем накладає обмеження на вибір кроків по просторовій  $\Delta x, m$ , і часовій  $\Delta t$ , діб, координатам [2]

$$\Delta x \leq \frac{2D_m}{V_1}, \quad \Delta t \leq \frac{(\Delta x)^2}{2D_m}. \quad (4)$$

Задача розв'язана при граничних умовах III роду на поверхні землі ( $x=0$ ) виду:

$$C_\Gamma V_1 = D_m \frac{\partial C}{\partial x}, \quad (5)$$

де  $C_\Gamma$  – засолення відвалу (змінюється в межах від 0,3 % до 1,3 %);

Для розрахункових точок 0, 1, 2 (рис. 1), рівняння (3) і (5) матиме вигляд:

$$D_m \frac{C_0^\tau - C_1^\tau}{(\Delta x)^2} - D_m \frac{C_1^\tau - C_2^\tau}{(\Delta x)^2} + V_1 \frac{C_1^\tau - C_2^\tau}{\Delta x} = n \frac{C_1^{\tau+1} - C_1^\tau}{\Delta t}, \quad (6)$$

$$C_{\Gamma} V_1 = D_m \frac{C_0^{\tau} - C_1^{\tau}}{\Delta x}. \quad (7)$$

Після перетворення і узгодження (3) і (7), рівняння (6) матиме вигляд:

$$C_1^{\tau+1} = \frac{\Delta t C_{\Gamma} V_1}{n \Delta x} - \frac{D_m \Delta t (C_1^{\tau} - C_2^{\tau})}{n (\Delta x)^2} + \frac{V_1 \Delta t (C_1^{\tau} - C_2^{\tau})}{\Delta x n} + C_1^{\tau}. \quad (8)$$

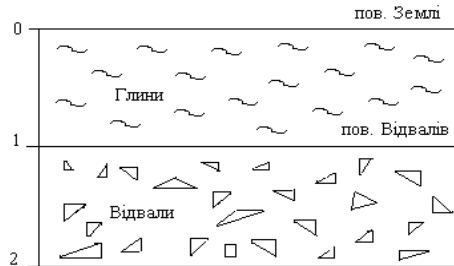


Рис. 1. Схема необхідного рекультивованого шахтного відвалу вільного заростання

Приклад розрахунку вторинного засолення розглянемо за даними запропонованими Агроуніверситетом [3]: середнє засолення глинистої товщі, у тому числі на поверхні землі  $C_0=0,03\%$ ; засолення відвалу (змінюється в межах від 0,3 до 1,3 %) для розрахунку приймаємо  $C_{\Gamma}=0,6\%$ ; об'ємна вологість  $n=0,2$  частки одиниць; коефіцієнт молекулярної дифузії  $D_m=9 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/добу; результуюча швидкість висхідного потоку  $V_1=0,3 \cdot 10^{-4}$  м/добу.

Проводимо розрахунок  $\Delta x$  і  $\Delta t$  за критерієм (4)

$$\Delta x \leq \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^{-5}}{0,3 \cdot 10^{-4}} = 6 \text{ м},$$

$$\Delta t \leq \frac{(0,9)^2}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-5}} = 4500 \text{ діб} \approx 12,33 \text{ роки}.$$

Для детального дослідження приймаємо  $\Delta x=0,5$  м, а  $\Delta t=365$  діб (1 рік).

$$C_1^{\tau+1} = \frac{365 \cdot 0,6 \cdot 0,3 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,5} - \frac{9 \cdot 10^{-5} \cdot 365 \cdot (0,03 - 0,6)}{0,2 \cdot (0,5)^2} + \frac{0,3 \cdot 10^{-4} \cdot 365 \cdot (0,03 - 0,6)}{0,5 \cdot 0,2} + 0,03 = 0,408 \text{ \%}.$$

У процесі розв'язання задачі на початку визначається засолення на момент часу  $\tau+1$  у точці 1 на відстані  $\Delta x$  від поверхні землі  $C_1^{\tau+1}$ . Засолення на поверхні  $C_0^{\tau+1}$  розраховується наступним чином:

$$C_{\Gamma} V_1 = D_m \frac{C_0^{\tau+1} - C_1^{\tau+1}}{\Delta x}, \quad C_0^{\tau+1} = \frac{C_{\Gamma} V_1 \Delta x}{D_m} + C_1^{\tau+1}, \quad (9)$$

де  $C_0$  – середнє засолення глинистої товщі, у тому числі на поверхні землі, %.

$$C_0^{\tau+1} = \frac{0,6 \cdot 0,3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5}{9 \cdot 10^{-5}} + 0,408 = 0,508 \text{ \%}.$$

Результати розрахунку вторинного засолення у неусталеному режимі представлені табл. 1 та графічно відображені на рис. 2 – 12.

Таблиця 1

## Результати розрахунку вторинного засолення у неусталеному режимі

№ точки	Координати точки $x, m$	Вихідна засоленість $C_i, \%$	Прогнозна засоленість $C, \%$								
			На термін $t, \text{років}$								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,03	0,508	0,679	0,756	0,791	0,807	0,814	0,817	0,819	0,819
1	0,5	0,03	0,408	0,579	0,656	0,691	0,707	0,714	0,717	0,719	0,719
2	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

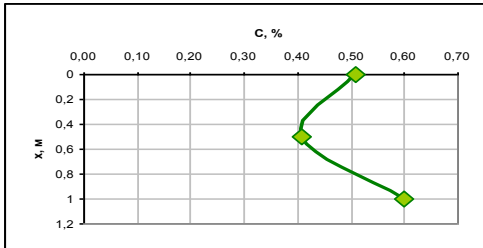


Рис. 2. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 1 рік

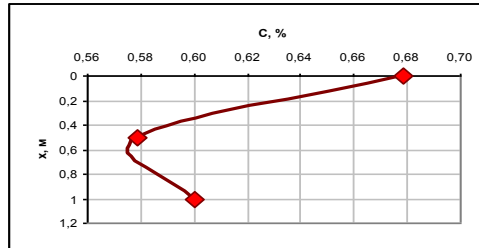


Рис. 3. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 2 роки

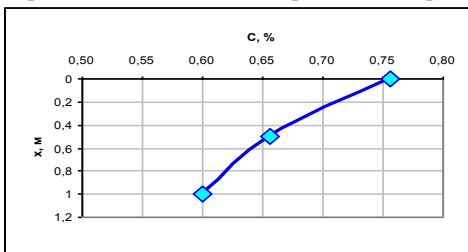


Рис. 4. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 3 роки

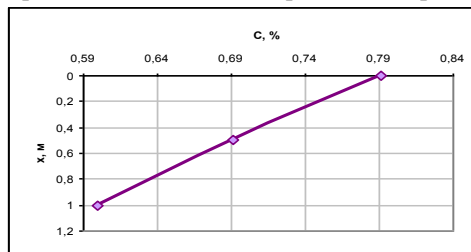


Рис. 5. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 4 роки

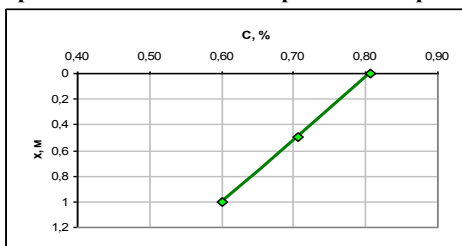


Рис. 6. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 5 років

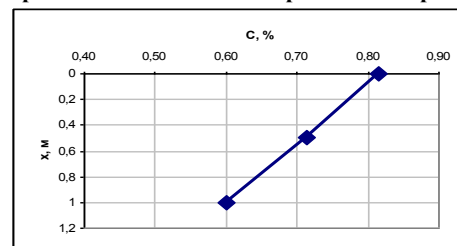


Рис. 7. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 6 років

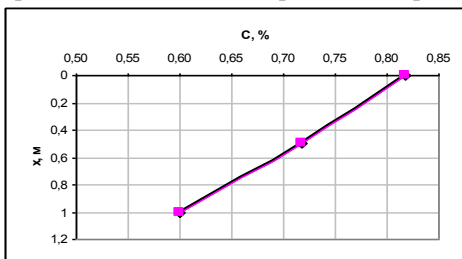


Рис. 8. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 7 років

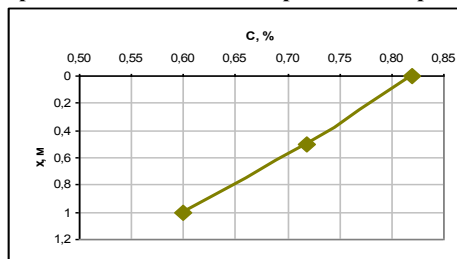


Рис. 9. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 8 років

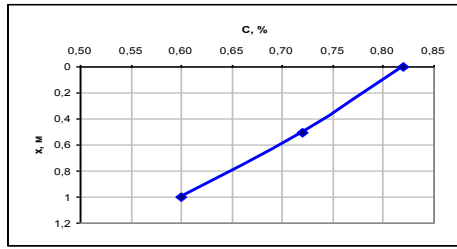


Рис.10. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення терміном на 9 років

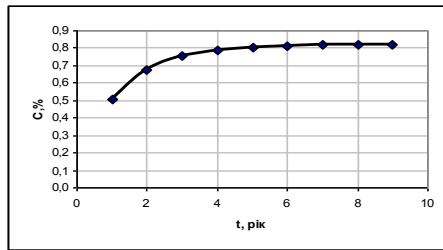


Рис. 11. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення у часі на поверхні

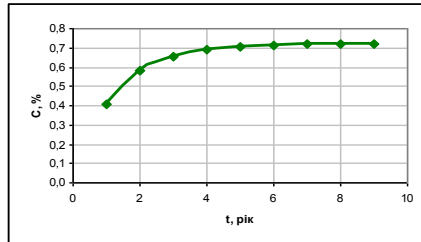


Рис. 12. Результати розрахунку вторинного прогнозного засолення у часі на глибині 0,5 м

**Висновки.** З розрахунків добре видно, що стабілізація процесу вторинного засолення при коефіцієнті молекулярної дифузії  $D_m=9 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/добу настає через 9 років. Отже, при розрахунку варіанта необводненого рекультивованого шахтного відвалу, без зрошення, засолення насипного шару є неминучим. Для його запобігання необхідно створювати промивний режим, нисхідний потік вологи. Зрошення можна здійснювати мінімальними нормами.

#### Бібліографічні посилання

1. **Евграшкіна Г.П.** Матиматические модели вертикального солепереноса на шахтных отвалах Западного Донбасса / Г.П. Евграшкіна, Н.Н. Харитонов, Н.И. Жиленко // Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу. – 2008. – С. 167-168.
2. **Пасконов В.М.** Численное моделирование процессов тепло и массообмена. / В. М. Пасконов – М., 1984. – 228 с.
3. **Харитонов Н.Н.** Оценка перспективных вариантов сельскохозяйственного использования на стационаре в Павлограде (около шахты Павлоградская) / Н.Н. Харитонов, Г.П. Евграшкіна, Н.И. Жиленко. № договора 08-151591-4-427, 2008.

*Надійшла до редколегії 29.02.12.*