

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ТЕРИТОРІЇ, ПРИЛЕГЛІЙ ДО ХВОСТОСХОВИЩА «БАЛКА СТУКАНОВА» У ЗАХІДНОМУ ДОНБАСІ

Запропонована математична модель зміни гідрогеологічних умов території у зоні впливу хвостосховища «Балка Стуканова». Вона побудована на основі гідродинамічної сітки і містить 2 частини – фільтраційну і міграційну. Прогнозні фільтраційні задачі розв'язуються методом подвійної суперпозиції. Міграційні процеси досліджуються на основі теорії фізико-хімічної гідродинаміки пористих середовищ. Результати досліджень доцільно використати для наукового обґрунтування комплексу природоохоронних заходів гідрогеологічного спрямування.

*Ключові слова:* математична модель, фільтрація, масоперенос, гідродисперсія, міграція, хвостосховище, підземні води, прогноз.

Предложена математическая модель изменения гидрогеологических условий территории в зоне влияния хвостохранилища «Балка Стуканова». Она построена на основе гидродинамической сетки и содержит 2 части – фильтрационную и миграционную. Прогнозные фильтрационные задачи решаются методом двойной суперпозиции. Миграционные процессы исследуются на основе теории физико-химической гидродинамики пористых сред. Результаты исследований целесообразно использовать для научного обоснования комплекса природоохранных мероприятий гидрогеологической направленности.

*Ключевые слова:* математическая модель, фильтрация, массоперенос, гидродисперсия, миграция, хвостохранилище, подземные воды, прогноз.

The mathematical model changes hydrogeological conditions of the territory in the zone of tailings «Balka Stukanova». It is based on the hydrodynamic grid and contains 2 parts – filtration and migration. Estimated filtration tasks solved method by the double superposition. Migration processes are investigated based on the theory of physicochemical hydrodynamics of porous medias. Research results should be used for scientific study of environmental activities hydrogeological direction.

*Key words:* mathematical model, filtration, mass transfer, hydrodispersion, migration, tailing, groundwater, prognosis.

Проблема забруднення підземних і поверхневих вод на територіях прилеглих до хвостосховищ є актуальною для гірничовидобувних регіонів України. Основні фактори негативного впливу цих споруд на навколишнє середовище наступні: побудова без екранізації водовміщуючої частини, висока мінералізація скидних шахтних вод, недостатня природна дренажність. Унаслідок цих факторів на територіях, прилеглих до хвостосховищ, відбувається забруднення підземних і поверхневих вод, підтоплення, вторинне засолення порід зони аерації. Раніше опубліковані роботи присвячені окремим питанням невирішеної у цілому проблеми, зокрема, визначенню міграційних параметрів [1; 2].

Ціль теперішніх досліджень – побудова математичної моделі зміни гідрогеологічних умов територій, прилеглих до хвостосховищ на прикладі типового техногенного об'єкта такого класу – «Балка Стуканова». Модель створена на основі гідродинамічної сітки і є найбільш «гідрогеологічною» у порівнянні з іншими пропозиціями. Вона здатна забезпечити наукове обґрунтування і комплексний підхід до проблеми раціонального використання і охорони підземних та поверхневих вод у гірничовидобувних

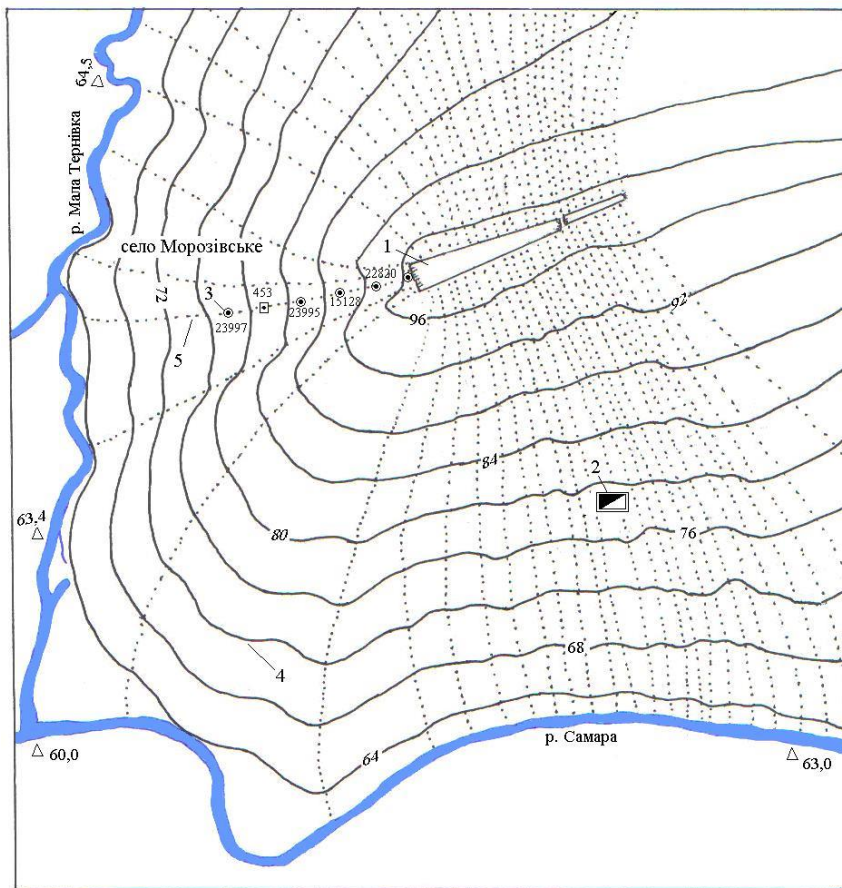
регіонах, як обов'язкова складова частина сучасного гідрогеологічного моніторингу локального рівня.

---

© Г.П. Євграшкіна, О.Є. Сабадаш 2012

**Виклад основного матеріалу.** Хвостосховище «Балка Стуканова» введено до експлуатації у 1974 році. Екранування дна виконано на невеликих ділянках. Ґрунти водовміщуючої частини мають досить високі фільтраційні властивості ( $K_f = 0,5 \div 3,4$  м/добу). У хвостосховище скидається забруднена вода з центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ). Більш як половина скиду фільтрується у підземні води і забруднює водоносні горизонти, які раніше використовувались колодзями для водопостачання. У теперішній час, село Морозівське, яке знаходиться у зоні впливу хвостосховища, інтенсивно підтоплюється.

Математична модель зміни гідрогеологічних умов зони впливу хвостосховища складається з двох частин – фільтраційної і міграційної. Перший етап досліджень побудова гідродинамічної сітки за результатами виміру рівня підземних вод у спостережних свердловинах (рис. 1). Потім за стрічками току розв'язуються інверсні і прямі задачі фільтрації і масопереносу на різні строки аналітичними методами. Перевага такого підходу: кожна токова лінія відображує траєкторію руху часток води, що підвищує достовірність результатів аналітичних розрахунків у порівнянні з кінцево-різницеvими рішеннями. Для розв'язання прямих прогнозних задач фільтрації авторами запропоновано і реалізовано метод подвійної суперпозиції, який дає змогу втілити розрахункову схему шар-смуга і визначити дренажну дію річки Мала Тернівка в кожній розрахунковій точці.



**Умовні позначення:**

**1 – лінійний ряд свердловин; 2 – гідрозогіпса; 3 – лінія току.**

**Рис. 1. Гідродинамічна сітка на ділянці «Балка Стуканова»**

Початок координат  $x = 0$  вибираємо по урізу води у хвостосховищі. У такому разі розрахункова формула має вигляд:

$$\Sigma \Delta H_x = \Delta H^0 \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{at}} - \Delta H_p \operatorname{erfc} \frac{L-x}{2\sqrt{at}}, \quad (1)$$

де  $\Sigma \Delta H_x$  – сумарний підйом рівня підземних вод у розрахунковій точці з координатою  $x$  під впливом фільтрації із хвостосховища і дренуючої дії річки, м;  $\Delta H^0$  – різниця напорів у хвостосховищі і річці ( $H_x - H_p$ ), м;  $a$  – коефіцієнт рівнепровідності, м<sup>2</sup>/добу;  $t$  – строк прогнозного розрахунку, доб;  $\Delta H_p$  – умовний підйом рівня підземних вод у точці з координатою  $x = L$  за схемою «напівобмежений шар», тобто без урахування дренуючої дії річки;  $L$  – відстань між хвостосховищем і річкою за токовою лінією, м.

Розрахунок методу подвійної суперпозиції, для врахування дренуючого впливу річки виконуємо за токовими лініями.

Абсолютна відмітка рівня у ставку складає 98,0 м,  $K_f = 4$  м/добу,  $m = 16$  м,  $a = 365,71$  м<sup>2</sup>/добу,  $T = 64$  м<sup>2</sup>/добу.

Для лінії току з довжиною  $L = 4750$ ,  $x = 100$  м

$$\Delta H_p = \Delta H^0 \operatorname{erfc} \frac{L}{2\sqrt{at}} = 33,3 \operatorname{erfc} \frac{4750}{2\sqrt{365,71 \cdot 5475}} = 0,587.$$

Для лінії току з довжиною  $L = 4375$ ,  $x = 100$  м

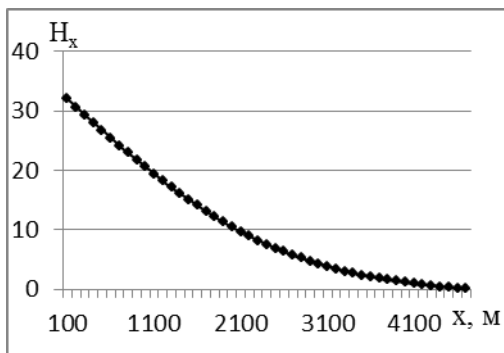
$$\Delta H_p = \Delta H^0 \operatorname{erfc} \frac{L}{2\sqrt{at}} = 34,7 \operatorname{erfc} \frac{4375}{2\sqrt{365,71 \cdot 5475}} = 0,999.$$

Для лінії току з довжиною  $L = 7650$ ,  $x = 100$  м

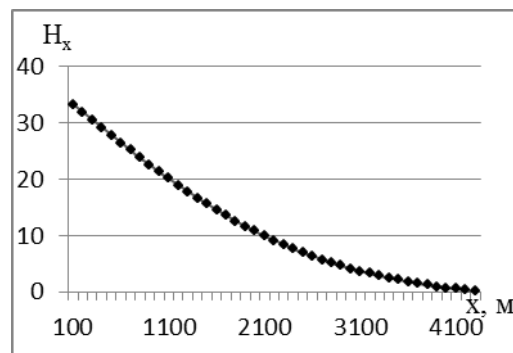
$$\Delta H_p = \Delta H^0 \operatorname{erfc} \frac{L}{2\sqrt{at}} = 35,0 \operatorname{erfc} \frac{7650}{2\sqrt{365,71 \cdot 5475}} = 0,005.$$

На основі отриманих результатів розрахунків підйому рівня підземних вод побудовані графіки (рис. 2)

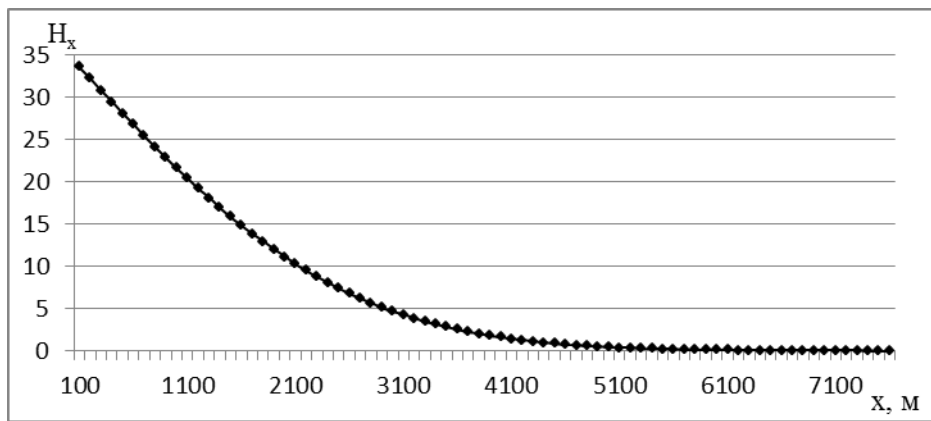
Результати рішення поставленої задачі свідчать про те, що під впливом річки рівень підземних вод знижується. Виявлена закономірність – чим більша довжина токової лінії, тим більший вплив річки у розрахунковій точці з однаковою координатою. Зниження обернено-пропорційно залежить від довжини токової лінії. Так при довжині токової лінії 4750 м зниження під впливом річки зменшується до 0,053 м. При токовій лінії довжиною 4375 м зниження зменшується до 0,129 м, а при довжині 7650 м зменшується до 0,001 м.



при  $L = 4750$



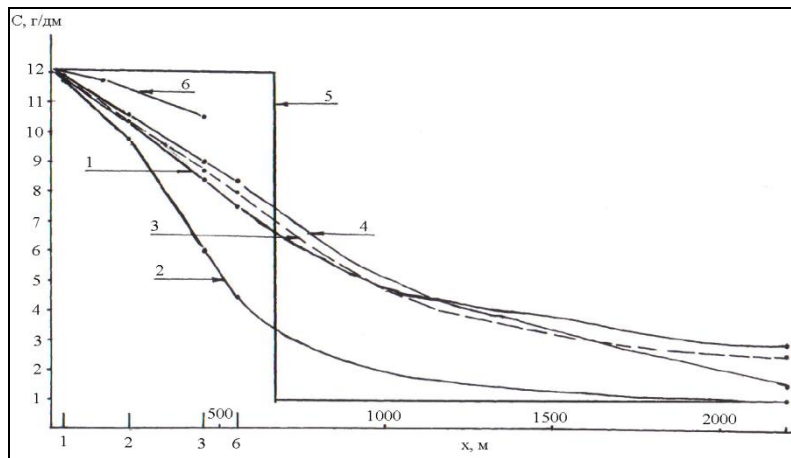
при  $L = 4375$



при  $L = 7650$

**Рис. 2. Результати розрахунку методу подвійної суперпозиції**

Результати епігнозних розрахунків строком на 36 років (1974 – 2010) і прогноз до 2025 року наведені на рис. 3 і свідчать про те, що рівневий режим цієї території у теперішній час є усталеним.



**Рис. 3. Результати епігнозних розрахунків по створу ставок «Балка Стуканова» – ріка Мала Тернівка: 1 – режимні спостереження; 2 –  $D=3,0$  м<sup>2</sup>/добу; 3 –  $D=25,0$  м<sup>2</sup>/добу; 4 –  $D=30,0$  м<sup>2</sup>/добу; 5 – «поршневе витіснення»; 6 – схема «Ловер'є» при  $D_m=5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/добу**

Міграційні задачі також розв'язані за струмовими лініями із застосуванням рівнянь руху і збереження маси речовини, переважно аналітичними методами. У перших варіантах моделей [1; 2] хвостосховище з позицій міграційних процесів розглядалось як гранична умова першого роду. Особливості гідрогеологічних умов дозволили застосувати для розв'язання прямих прогнозних задач розрахункові схеми Ловер'є [1; 3] і Краслоу-Єгера [4]. Сучасні режимні спостереження після реконструкції хвостосховища підтверджують наявність міграційної границі третього роду і доцільність застосування граничної умови Данквертса-Бреннера [5]. Якщо при подальшому розвитку міграційних процесів на цьому техногенному об'єкті гранична умова не зміниться, то процеси забруднення підземних вод будуть відбуватися повільніше, ніж розраховано раніше. У теперішній час зона забруднення, відокремлена ізолінією 3 г/дм<sup>3</sup> знаходиться на відстані 2275 м від

річки Мала Тернівка, більша частина площі якої підтоплена. Для цієї території запропоновано, обґрунтовано і розраховано водознижуючий дренаж у двох порівняльних варіантах – горизонтальний і вертикальний. Відсутність застосування сучасних водоочищуючих технологій не дозволяє рекомендувати у хвостосховищі повністю водонепроникний екран.

**Висновки.** Аналіз результатів режимних спостережень, епігнозних і прогнозованих розрахунків свідчать, що для опису процесів міграції речовини, яка забруднює підземні води території, прилеглої до хвостосховища «Балка Стуканова» доцільно використовувати розрахункову схему «неупорядкована макродисперсія» із застосуванням аналітичного розв’язання Данквертса-Бреннера. Вона у рівній мірі справедлива для суглинисто-пісчаної і алювіальної товщі, якщо коефіцієнт гідродисперсії оцінюється за даними режимних спостережень із розв’язанням інверсної задачі.

Результати прогнозних розрахунків по створу «Балка Стуканова – річка Мала Тернівка» наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

**Результати розрахунку мінералізації за схемою «неупорядкована макродисперсія» із застосуванням аналітичного розв’язання Данквертса-Бреннера**

$x, \text{ м}$	$\bar{x}, \text{ м}$	$z_1$	$z_2$	$erfcz_1$	$erfcz_2$	$ierfcz_1$	$e^{z_1^2 - z_2^2}$	$\bar{C}$	$C, \text{ г/дм}^3$
100	0,109	0,228	0,183	0,747	0,796	0,364	1,019	0,626	4,120
200	0,219	0,251	0,161	0,723	0,820	0,349	1,038	0,636	4,037
300	0,328	0,273	0,138	0,699	0,845	0,335	1,057	0,646	3,958
400	0,438	0,296	0,116	0,676	0,870	0,321	1,077	0,657	3,878
500	0,547	0,318	0,093	0,653	0,895	0,301	1,097	0,670	3,776
600	0,657	0,341	0,071	0,630	0,920	0,288	1,118	0,680	3,698
700	0,766	0,363	0,048	0,607	0,946	0,276	1,138	0,689	3,623
800	0,876	0,386	0,026	0,585	0,971	0,258	1,160	0,702	3,525
900	0,985	0,408	0,003	0,564	0,997	0,246	1,181	0,712	3,449
1000	1,095	0,431	-0,019	0,542	1,022	0,235	1,204	0,721	3,376
1100	1,204	0,453	-0,042	0,521	1,047	0,225	1,226	0,730	3,307
1200	1,314	0,476	-0,065	0,501	1,073	0,209	1,249	0,742	3,214
1300	1,423	0,498	-0,087	0,481	1,098	0,204	1,272	0,748	3,165
1400	1,533	0,521	-0,110	0,461	1,123	0,19	1,296	0,759	3,078

Результати свідчать, що у 2025 році зона забруднення матиме довжину 1400 м.

З моменту виконання перших прогнозних розрахунків у 1985 році і до моменту їх співставлення з натурними спостереженнями у 2010 році змінилися практично всі показники, закладені у довгострокові (25 років) прогнозні розрахунки: кількість, розташування і нумерація спостережних свердловин, схема скиду шахтних вод, кількість скидної води її мінералізація, конструкція хвостосховища і відмітка води в ньому. Не змінилися лише загрозливі масштаби забруднення підземних і поверхневих вод. Таким чином, при виконанні довгострокових прогнозних розрахунків невідповідність їх результатів фактичним даним відбувається за факторами організаційно-виробничого, а не наукового походження.

### Бібліографічні посилання

1. **Скабалланович И.А.** Прогнозная оценка влияния пруда-накопителя в балке Стуканова на гидрогеологические условия прилегающих территорий. / И.А. Скабалланович, Г.П. Евграшкина, Б.В. Чемерис, Л.В. Швец. // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии в связи с ирригацией, водоснабжением и промышленным строительством. – Днепропетровск, – 1985. – С. 118 – 124.

2. **Евграшкина Г.П.** Влияние горнодобывающей промышленности на гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия территорий. / Г.П. Евграшкина. – Днепропетровск, – 2003. – 200 с.

3. **Lauverier H.A.** The transport of heat in an oil layer caused by the injection of the fluid. – Applied Sci. Res., Section A, 1955, Vol. 5, № 2 – 3, P. 145 – 150.

4. **Карслоу Г.** Теплопроводность твёрдых тел. / Г. Карслоу, Д. Егер. – М., 1964. – 487 с.

5. **Brenner H.** The diffusion model of longitudinal mixing in beds of finite length. Numerical values. – Chemical Engineering Science, 1962, Vol. 17, – P. 229 – 243.

*Надійшла до редколегії 12.03.12.*