УДК 631.445.52

Г. П. Євграшкіна, Т. В. Сібуль

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

Методичні аспекти прогнозування сольового режиму зрошуваних земель на прикладі Фрунзенського масиву

Рух води і солей у зоні аерації в умовах зрошення описується рівняннями руху і збереження маси речовини. Прогнозні розрахунки процесів солепереносу виконуються для наукового обґрунтування комплексу природоохоронних заходів. Достовірність результату залежить від застосованих методів розрахунку. Порівняльний аналіз виконано для аналітичного розв'язання, класичної кінцево-різницевої схеми у явному і неявному варіантах і методу Джонсона.

Ключові слова: зона аерації, вологоперенос, масоперенос, гідродисперсія, прогноз.

Движение воды и солей в зоне аэрации в условиях орошения описывается уравнениями движения и сохранения массы вещества. Прогнозные расчеты процессов солепереноса выполняются для научного обоснования комплекса природоохранных мероприятий. Достоверность результата зависит от применяемых методов расчета. Сравнительный анализ выполнен для аналитического решения, классической конечно-разностной схемы в явном и неявном вариантах и метода Джонсона.

Ключевые слова: зона аэрации, влагоперенос, массоперенос, гидродисперсия, прогноз.

The movement of water and salts in zone of aeration under irrigated conditions is described by the equations of motion and mass conservation of the material. Salt transport processes forecast calculations are performed for the scientific rationale of environmental measures complex. The reliability of the result depends on the applied methods of calculation. A comparative analysis is made for analytical solution of the classical mesh scheme in the explicit and implicit variants and Johnson's method.

Key words: zone of aeration, moisture transfer, mass transfer, hydrodispersion, forecast.

Постанова проблеми. У цілях передбачення і запобігання небажаних наслідків зрошення – підтоплення і вторинного засолення ґрунтів і у зв'язку з іншими задачами охорони природи, виконуються науково-обґрунтовані прогнози, на основі яких розробляється комплекс агротехнічних, експлуатаційних та інженерних заходів, які забезпечують створення і збереження на зрошуваних землях і прилеглих до них територіях сприятливих меліоративних обставин. Розробка і удосконалення методів прогнозу з урахуванням складних природних і меліоративних умов на базі сучасної обчислювальної техніки, оцінка їх достовірності, застосування на конкретних зрошуваних масивах є актуальними проблемами для всієї зрошуваної зони України.

Аналіз основних досліджень та публікацій. Основні результати раніше виконаних досліджень викладені в [1;2]. Прогноз сольового режиму виконувався на електроінтеграторі БУСЭ-70 [1] і аналітичними методами [2]. Проблема порівняльної характеристики методів прогнозу не розглядалась.

Мета досліджень. Вибір оптимального методу прогнозних розрахунків шляхом порівняльного аналізу.

Викладення основного матеріалу. Фрунзенський зрошуваний масив (1 черга) розташований на лівому березі р. Дніпро в межах Дніпропетровської області. За геоморфологічним відношенням він знаходиться в межах першої надзаплавної тераси р. Дніпро. Зона аерації представлена суглинками потужністю 3–15 м, переважно середніми. Глибина залягання ґрунтових вод змінюється у межах 0,3–4,0 м від поверхні землі при мінералізації 0,6–3,9 г/дм^3. Тип води гідрокарбонатно-сульфатний натрієво-магнієвий. Засолення цієї території – плямове. Підвищений вміст легкорозчинних солей характерний для подових знижень. До таких мікроструктур відноситься і ділянка яка розташована біля скидного каналу У-1. Вона характеризується найбільш високим первинним засоленням – до 0,9 % щільності сухого ґрунту (табл. 2). Дослідженнями Дніпропетровської гідрогеолого-

меліоративної експедиції доказана присутність солей у твердій фазі на всій території Фрунзенського масиву в зоні аерації до глибини 4 м від поверхні землі. За таких умов процес вертикального солепереносу описується рівнянням

$$D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - V\frac{\partial c}{\partial x} + \beta\left(C_{\text{Н}} - C\right) = m\frac{\partial c}{\partial t}, \qquad (1)$$

де D – коефіцієнт гідро дисперсії, комплексний розрахунковий параметр, який враховує усі фактори розсіювання речовини, м^2/доб; С – засоленість порід і ґрунтів, %; V – швидкість вертикального волого переносу, м/доб; β – коефіцієнт розчинення солей твердої фази, доб$^{-1}$; $C_{\text{Н}}$ – концентрація повного насичення, %; m – об'ємна вологість, долі одиниці; x – просторова координата, м; t – часова координата, доб.

Коефіцієнт гідродисперсії D розраховано за методом інтегральних перетворень В.Б. Георгієвського [4]. Використані шестирічні дослідження за сольовим режимом на 13 стаціонарах. Для стаціонару №3 середнє $D = 8\cdot10^{-3}$ м^2/доб. Для визначення параметра β розв'язувались епігнозні задачі [2] із відомими величинами С, D і V. Діапазон зміни: $\beta = 5\cdot10^{-3} \div 60\cdot10^{-3}$доб$^{-1}$, для стаціонару №3 він дорівнює $15\cdot10^{-3}$м/доб.

Об'єм початкової інформації дозволив застосувати для розрахунків параметра β на Фрунзенському масиві метод водного балансу (табл. 1). Для визначення сумарного випарування використано біокліматичний метод С.М. Алпатьєва [2]. Для сільськогосподарських культур, не охарактеризованих біологічними кривими, воно оцінювалось за коефіцієнтом водоспоживання відповідно із кліматичною характеристикою регіону і запланованою врожайністю.

Таблиця 1

Результати розрахунку швидкості вертикального вологопереносу

Місяць	Опади А, мм	Сумарне випаровув. (В+Т), мм	К-сть зрошуваної води О, мм	Швидкість вертикального вологопереносу		
				Низхідн. потік	Висхідн. потік	Результуюча
I – III	95,0	11,7	–	0,001	0,00013	0,0009
IV – VI	146,0	266,3	100,0	0,0027	0,0029	-0,0002
VII – IX	123,0	245,0	96,4	0,0024	0,0027	-0,0003
X – XI	113,0	22,0	–	0,0012	0,00024	0,00096
I – XII	477,0	545,0	196,4	0,0018	0,0015	0,0003

Прогноз сольового режиму для досліджуваної ділянки виконано строком на 5 років за такими методами:

1) Аналітичне розв'язання рівняння (1), запропоноване М. М. Веригіним [3].

2) Класична явна кінцево-різницева схема рівняння (1)

$$D\frac{C_{i-1}^{\tau} - 2C_i^{\tau} + C_{i+1}^{\tau}}{(\Delta x)^2} - V\frac{C_{i-1}^{\tau} - C_i^{\tau}}{\Delta x} + \beta\left(C_{\text{Н}} - C_i^{\tau}\right) = m\frac{C_i^{\tau+1} - C_i^{\tau}}{\Delta t} \qquad (2)$$

із виконанням критеріїв стійкості

$$\Delta t \le \frac{(\Delta x)^2}{2D}, \quad \Delta x \le \frac{2D}{V}. \qquad (3)$$

3) Класична неявна кінцево-різницева схема із реалізацією рішення методом прогонки

$$D\frac{C_{i-1}^{\tau+1}-2C_i^{\tau+1}+C_{i+1}^{\tau+1}}{(\Delta x)^2}-V\frac{C_{i-1}^{\tau+1}-C_i^{\tau+1}}{\Delta x}+\beta\left(C_{\text{Н}}-C_i^{\tau+1}\right)=m\frac{C_i^{\tau+1}-C_i^{\tau}}{\Delta t}\ . \quad (4)$$

4) Метод Джонсона

$$\frac{\dfrac{C_{i-1}^{\tau}-C_i^{\tau}}{1}}{\dfrac{1}{(\Delta x)^2}-\dfrac{P}{2\Delta x}}-\frac{\dfrac{C_i^{\tau}-C_{i+1}^{\tau}}{1}}{\dfrac{1}{(\Delta x)^2}+\dfrac{P}{2\Delta x}}=\frac{m}{D}\cdot\frac{C_i^{\tau+1}-C_i^{\tau}}{\Delta t},\ P=\frac{V}{D}. \quad (5)$$

У формулах (2 – 5) використані такі позначення: i-1, i, i+1 – просторові індекси розрахункових точок; τ+1, τ – часові індекси розрахункових точок; Δx – крок за просторовою координатою, м; Δt – крок за часовою координатою, доб.

Інші позначення наведені раніше. Результати розрахунків представлені у табл.2. Початок координат $x = 0$ вибрано на поверхні землі.

Таблиця 2

Результати прогнозних розрахунків солепереносу різними методами

№ розрахункової точки	Відстань розрахункової точки від поверхні землі x, м	Початкові дані С, %	Методи розрахунку				
			Аналітичний	Класична кінцево-різницева схема		Схема Джонсона	
				явна	неявна	явна	неявна
			С, %				
0	0	0,87	0,39	0,34	0,33	0,32	0,35
1	0,5	0,41	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37
2	1,0	0,63	0,52	0,50	0,51	0,49	0,47
3	1,5	0,74	0,61	0,63	0,65	0,66	0,66
4	2,0	0,91	0,84	0,80	0,81	0,81	0,81
5	2,5	0,62	0,68	0,71	0,74	0,73	0,75
6	3,0	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69

Для явного варіанта схеми Джонсона також застосовані критерії стійкості (3).

Висновки.

1. За всіма випадками розв’язання прогнозної гідрогеологічної задачі перевагу слід віддавати аналітичному рішенню, якщо воно існує саме для такої задачі.
2. Різноманітні чисельні рішення рівноцінні за точністю, якщо вони застосовані коректно.
3. Кінцеві результати всіх розглянутих методів добре узгоджуються.

Бібліографічні посилання

1. **Евграшкина Г.П**. Прогноз солевого режима почв и грунтов зоны аэрации Фрунзенского орошаемого массива методами математического моделирования / Г.П. Евграшкина, М.М. Коппель.// Мелиорация и водное хазяйство. – К., Вып.43,1978. – с.56-63
2. **Евграшкина Г.П**. Прогноз солевого режима орошаемых земель методами аналогового моделирования на электрических сетках: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: специальность 06.01.02. (мелиорация и орошаемое земледелие) / Г.П.Евграшкина. – К.:1978. – 23 с.
3. **Веригин Н.Н**. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод / Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, В.С. Саркисян, Б.С. Шержуков – М.,1979. – 336 с.
4. **Георгиевский В.Б**. Унифицированные алгоритмы для определения фильтрационных параметров / В.Б. Георгиевский –К.; 1971.– 328 с.