Долидудко Александр Иванович

Ведущий специалист НИЦ МКВК

Худайкулов Савет Ишанкулович

д.т.н., профессор, зав. лабораторией

НИИ Ирригации и водных проблем

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДПИТКИ НАДПОЙМЕННЫХ ТЕРРАС ПРИ СЛОЖНОМ РЕЖИМЕ СОЛЕПЕРЕНОСА СЫРДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация*. В данной статье приведена краткая информация о моделировании подпитки надпойменных террас при сложном режиме солепереноса старой зоны Голодной степи. Математическая модель, использованная для обработки данных, представляет систему дифференциальных уравнений переноса.*

Ключевые слова*. Моделирование, режим солепереноса, фильтрация, интеграл Лапласа, Сырдарьинская область.*

Dolidudko Aleksandr Ivanovich

Leading specialist of the SIC ICWC

Khudaykulov Savet Ishankulovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory

Scientific-Research Institute of Irrigation and Water Problems

MODELING OF REFRESHMENT OF FLOODPLAIN TERRACES IN COMPLEX SALT TRANSFER REGIME IN SYRDARYA REGION

Abstract. *This article provides brief information on modeling the recharge of floodplain terraces under a complex salt transfer regime of the old zone of the Hungry Steppe. The mathematical model used for data processing is a system of differential transfer equations.*

Keywords. *Modeling, salt transfer mode, filtration, Laplace integral, Syrdarya region.*

Ведение. Земли Сырдарьинского и Мирзаабадского районов находятся в западной части старой зоны Голодной степи. В геоморфологическом отношении они расположены на поверхности I-ой, II-ой, III-ей надпойменных террас р.Сырдарьи и Шурузякского понижения. В рельефе выделяются пролювиальные равнины конусов выноса и возвышенная равнина, которая с юго-востока на северо-запад пересекается крупными понижениями: Джетисайским, Сардабинским, Карайским, Шурузякским и более мелкими.

Голодностепская межгорная равнина представляет собой сложную тектоническую впадину в палеозойской зоне заполненную меловыми палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями. Основной интерес представляют четвертичные отложения и неогеновые, являющиеся региональным водоупором. Поэтому для исследования требуется более сложные методы надежности эксплуатации коллектора для улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель [1,2,4].

Материалы и методы. Более сложных гетерогенных моделей (например, с учетом гидродисперсии) целесообразно использовать оптимизационный подбор с минимизацией некоторой функции качества.

Голодностепский (верхнечетвертичный) комплекс отложений представлен, в основном, лессовидными супесями, реже суглинками с прослойками песков и галечников. Применяем для расчёта работоспособности открытого горизонтального дренажа способ обработки для анализа данных проведенного К.Ницше опыта по фильтрации в суглинками с прослойками песков и галечниковой колонне длиной $l=120\,см$ и диаметром 20 см при постоянной скорости фильтрации $\vartheta=3{,}6\cdot 10^{-3}\,\frac{см}{сек}$. В этом опыте с начала опыта во входном сечении подавался раствор $CaCl_2$ постоянной концентрации с мигрантом $^{45}Ca^{2+}$, а на выходе были получены следующие данные изменения относительной концентрации во времени [3,4]:

Таблица 1

$\overline{c}$	0,09	0,35	0,51	0,63	0,73	0,81	0,86	0,9	0,93
$t, 10^{\circ}C$	0,67	1,00	1,33	1,67	2,00	2,33	2,67	3,00	3,33

Математическая модель, использованная для обработки этих данных, представляется системой дифференциальных уравнений переноса:

$$u_0 \frac{\partial c}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial c}{\partial l} + k_1 c - k_2 c^{¿} - k_3 c_{¿}^{'} = D \frac{\partial^2 c}{\partial l^2} \qquad (1)$$

$$k_1 c - k_2 c^{¿} = k_4 \frac{\partial c^{¿}}{\partial t} \qquad (2)$$

Где $k_1 = k_2 c^{¿} = \alpha^{¿}$, $k_3 = \beta^{¿}$, $\alpha^{¿}$, $c_{¿}^{'}$ - диффузионные и конвективные составляющие скорости фильтрации.

При $k_3 = 0$ была принята гетерогенная модель с сосредоточенной емкостью блоков, в которой роль слабопроницаемых блоков выполняли застойные зоны. Обмен между проводящими и застойными зонами описывается уравнением (1) с различными скоростями прямого и обратного обмена ($k_1 \neq k_2$), а сорбционные процессы считаются равновесными и учитываются заданием величин:

$$k_4 = n_0^{¿} + K_{d^{¿}}$$

(где n_0 и $n_0^{¿}$ - активная пористость проводящих и застойных зон; K_d. и $K_{d^{¿}}$ — коэффициенты распределения для проводящих и застойных зон).

Входящие в уравнения (1) и (2) параметры $D, \vartheta, n_0, n_0^{¿}, K_d, K_{d^{¿}}, k_1, k_2$ обобщаются в пять независимых переменных: $\chi_1 = \frac{D}{n_э}$, $\chi_2 = \frac{\vartheta}{n_э}$, $\chi_3 = \frac{k_1}{n_э}$,

$\chi_4 = \frac{k_3}{n_э}$ и $\chi_5 = \frac{n_э}{n_э^\circ}$ при $n_э = n_0 + K_d$ и $n_э^¿ = n_0^¿ + K_{d^¿}$, введя которые, напишем уравнения (1) и (2) в виде:

$$\chi_1 \frac{\partial^2 c}{\partial l^2} - \chi_2 \frac{\partial c}{\partial l} = \frac{\partial c}{\partial t} + \chi_3 c - \chi_4 c^¿$$

$$\frac{\partial c^¿}{\partial t} = \chi_3 \chi_5 c - \chi_4 \chi_5 c^¿ \qquad (3)$$

Если подвергнуть эти уравнения преобразованию Лапласа, то независимая переменная t переходит в параметр Лапласа $s, L\left[\frac{\partial c}{\partial t}\right] = sC$ при $c(t=0)=0$ и система дифференциальных частных уравнений (3) переходит в обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\chi_1 \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} - \chi_2 \frac{\partial C}{\partial l} = s\left(1 + \frac{\chi_3}{s + \chi_4 \chi_5}\right) \qquad (4)$$

которое приводится к безразмерному виду

$$\frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial \xi^2} - \frac{\partial \bar{C}}{\partial \xi} = s^¿\left(1 + \frac{\alpha_1}{s^¿ + \alpha_2}\right)\bar{C}, \quad Pe = \frac{\vartheta l_0}{D}, \quad \bar{C} = \frac{C}{C_0} \qquad (5)$$

$$\xi = \frac{l}{l_0}, \quad \alpha_1 = \frac{k_1 l_0}{\vartheta}, \quad \alpha_2 = \frac{k_2 l_0}{\vartheta} \frac{n_э}{n_э^¿}, \quad \frac{1}{\tau} = \frac{t}{t^¿} = \frac{s}{s^¿} = \frac{n_э l_0}{\vartheta}$$

Безразмерные параметры для различных вариантов

Таблица 2

Вариант	Pe	α_1	α_2
1	20	2,0	1,0
2	50	1,0	0,5
3	50	1,5	1,5
4	50	3,0	0,5
5	50	1,0	1,5
$\tau = n \cdot 10^{-4} c^{-1} \frac{\vartheta l_0}{D}$ при n равном	1	0,5	1,5

Аналитические решение уравнения и его обратная трансформация в область оригинала представляются выражениями:

$$C = e^{-\alpha t}$$

При условиях $C(0)=1$ и $C(\infty)=0$ где α находится из уравнения:

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{\vartheta}{2D}\right)^2 + \frac{n_0 p + k}{D}} - \frac{\vartheta}{2D} \qquad (6)$$

Для его компьютерной оценки используется программа $ALSUB-3$. [5,6].

Исходя из понимания процесса, оцениваются значения параметров для крупнозернистого песка при скорости фильтрации $\vartheta = 3{,}6 \cdot 10^{-5} \frac{м}{с}$ длине колонны $l_0 = 1{,}2\,м$: $Pe = \frac{\vartheta l_0}{D} = \frac{l_0}{\delta_1} \approx 50$, $\alpha_1 = \frac{k_1 l_0}{\vartheta} = 2{,}0$ (при известном на основании аналогичных опытов значении ($k_1 = 6 \cdot 10^{-5} c$); (при $k_1 = k_2$ и $\frac{n_э}{n_э^{\text{¿}}} = 0{,}5$); $\tau = 1 \cdot 10^{-4}, c^{-1}$ (при $n_0 = 0{,}1$ и $K_d = 0{,}2$).

Проверка метода интерпретации опытных данных по уравнению (4) и анализ его чувствительности при $\xi = 1$ могут быть представлены несколькими вариантами (табл.2).

На рис.1. приведены расчетные варианты представления измеренных величин $\bar{c} = f\left(Pe, \alpha_1, \alpha_2, t^{\text{¿}}\right)$, соответствующие трем выбранным значениям τ.

Если в качестве абсциссы для представления вариантов расчетов выбраны $\lg t^{\text{¿}}$, а для опытных данных $\lg t$, то параметр τ можно приближенно определить путем смещения по горизонтали до наилучшего совпадения измеряемых величин с эталонной кривой для достаточно большого семейства кривых вида $\bar{c}=f\left(Pe,\alpha_1,\alpha_2,\lg t^{¿}\right)$. Для рассматриваемого примера получается $\tau=1{,}4\cdot10^{-4},c^{-1}$.

Сравнение вариантов, представленных на рис.1., а также вариантов с различными значениями Pe показывает, что область чувствительности рассматриваемого примера для Pe и α_1 находится в диапазоне $0<\bar{c}<0{,}1$ или $3\cdot10^3c<t<6\cdot10^3$, а для α_1 и α_2 в диапазоне $0{,}3<\bar{c}<0{,}9$ 0,3<c<0,9 или $1\cdot10^4c<t$. Соответственно, эти области должны быть надежно подтверждены опытными данными.

В качестве функции качества $F_к$ была использована наиболее простая форма:

$$F_к=\sum g_i\left(c_i-c_{м_i}\right)=\min$$

где g_i - весовой коэффициент; c_i и $c_{м_i}$ — измеренное и модельное значение c в момент времени t_i. Можно считать значение весового коэффициента $g_i=1$, если в качестве c_i используются равноотстоящие значения субъективно выравненной кривой опытных данных. Функция качества $F_к$ должна быть чувствительной к идентифицируемым параметрам, а в области рациональных параметров (идентификации или поисковой области) по возможности иметь только один минимум и достаточно большие градиенты в направлении этого минимума в качестве меры чувствительности. Очень нагляден такой анализ для двух идентифицируемых параметров, проводимый путем графического изображения изолиний функции качества. Если в предлагаемом примере исходить из того, что $\tau=\frac{t^{¿}}{t}$ с достаточной точностью идентифицировалось с помощью эталонных кривых, то возможен анализ функций $F_к=f\left(Pe,\alpha_1\right)$ и $F_к=f\left(\alpha_1,\alpha_2\right)$. На рис.2. приведены соответствующие данные, обнаруживающие достаточную чувствительность всех трех параметров в поисковой области [4,5].

Идентификация происходит по схеме, показанной на рис.3. Если τ недостаточно точно определено по графику на рис.1. то производится поиск и этого параметра. Начальные значения оцениваются по данным, приведенным на рис. 1. (например, $Pe=50$;$\alpha_1=1{,}0$;$\alpha_2=1{,}5$). Для решения этой задачи составляется компьютерная программа.

Таким путем, например, при $\tau=n\cdot 10^{-4}c^{-1}$ находят (см. рис.1.) $\alpha_1=1{,}51$; $\alpha_2=1{,}41$; $Pe=53$. Расчетная функция, вычисленная при этих параметрах по программе $ALSUB-3$, приведена на рис.1., где наглядно показана репрезентантность идентифицированных параметров.

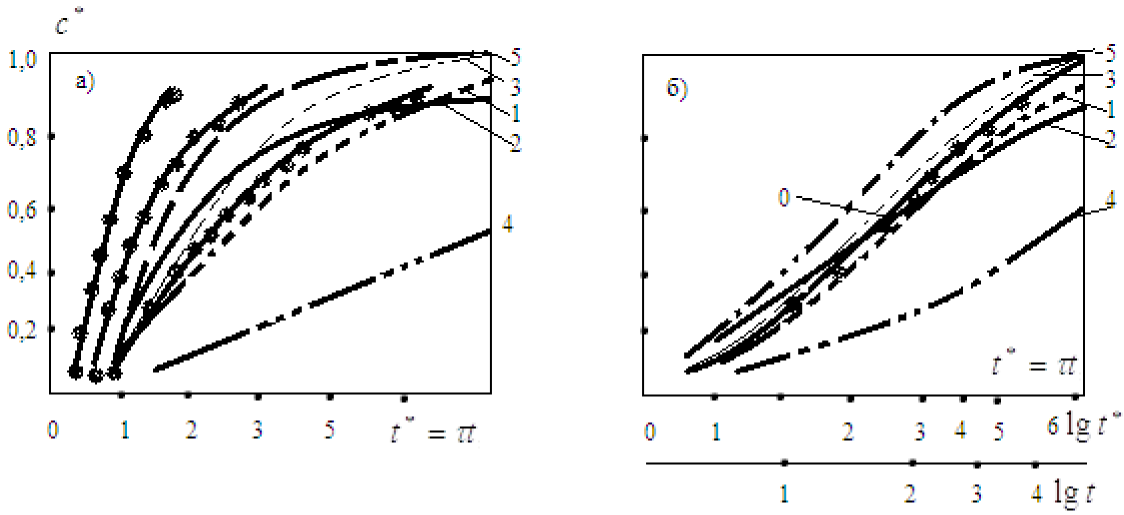

Рис. 1. Графическое выражение вариантов расчетов выходной кривой относительной концентрации с трассером $^{45}Ca^{2+}$ при:

а) $c^{¿}f\left(Pe,a_1,a_2,\lg t^{¿}\right)$ $Pe=50$ $\xi=1{,}0$ $\tau_1=0{,}5\cdot 10^{-4}c^{-1}$ $\tau_2=1{,}0\cdot 10^{-4}c^{-1}$ $\tau_3=1{,}5\cdot 10^{-4}c^{-1}$

б) $c^{¿}f\left(Pe,a_1,a_2,\lg t^{¿}\right)$ $\xi=1{,}0$ $\tau_1=1{,}4\cdot 10^{-4}c^{-1}$ 1,2,3,4,5 – номера вариантов; 0 – опытные данные.

Конечно, получение восьми модельных миграционных параметров из четырех идентифицированных возможно только в тех случаях, когда представлены четыре дополнительные информации.

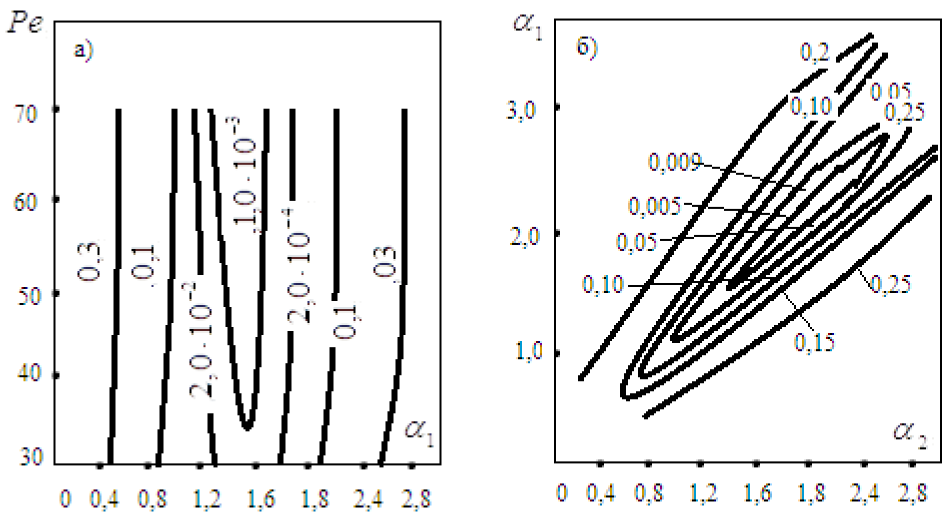

Рис. 2. Графики функции качества F_K при изменении параметров *Pe, a₁, a₂*

а) $a_1=1{,}5$ $\xi=1{,}0$ $\tau_1=1{,}4\cdot10^{-}4\cdot c^{-1}$

б) $Pe=50$ $\xi=1{,}0$ $\tau_1=1{,}4\cdot10^{-}4\cdot c^{-1}$

В предлагаемом случае можно исходить из того, что значение ϑ может быть достаточно точно измерено и поэтому известно, а также принять $k_1=k_2$ (поскольку молекулярная диффузия является симметричным процессом).

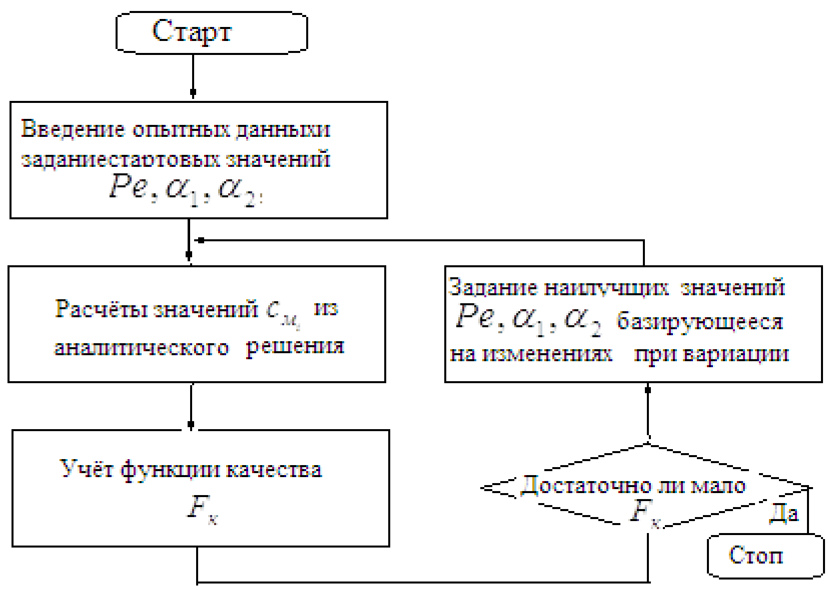

Рис. 3. Блок-схема плана идентификации миграционных параметров

Далее можно предположить, что по отдельности определяются n_0 и $\frac{n_0}{n_0^{¿}}$ (по данным выхода анионов).

Исходные данные: При $\vartheta = 3{,}6 \cdot 10^{-3} \frac{м}{с}$, $k_1 = k_2$, $n_0 = 0{,}09$, $\frac{n_э}{n_э^{¿}} = 1{,}1$ и $l_0 = 0{,}2$, исходя из идентифицированных значений $\tau = 1{,}4 \cdot 10^{-4} c^{-1}$, $\alpha_1 = 1{,}51$; $\alpha_2 = 1{,}41$; и $Pe = 53$, получают восемь миграционных параметров: $D = \frac{\vartheta l_0}{Pe} = 0{,}82 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}$, или $\delta_1 = \frac{D}{\vartheta} = 0{,}023\, м$, $k_1 = k_2 = \frac{\alpha_1 \vartheta}{l_0} = 4{,}5 \cdot 10^{-5} c^{-1}$, $n_0 = 0{,}09$, $n_0^{¿} = \frac{n_0}{1{,}1} = 0{,}08$, $K_d = \frac{\vartheta}{l_0 \tau} - n_0 = 0{,}12$, $K_{d^{¿}} = \frac{n_э k_2 l_0}{\vartheta \alpha_2} - n_0^{¿} = 0{,}14$,т.е. $n_э = 0{,}21$ т.е. и $n_э^{¿} = 0{,}22$.

Другие дополнительные предположения приводят к несколько иным результатам интерпретации.

Заключение и выводы.

1. Проведенные исследования в Голодностепский межгорной равнины представляет собой сложную тектоническую впадину в палеозойской зоне заполненную меловыми палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями. Методы надежности эксплуатации коллектора в песчаных пластах, по предлагаемой схеме послойного переноса имеет широкую область применения и может давать существенные погрешности только в потоках очень большой длины (порядка километра и более), а также в слоистых пластах, представленных породами, может быть $\delta_T = 0{,}1 - 1\, м$.

2. Для математического описания сложной тектонической впадины в палеозойской зоне заполненной меловыми палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями, обусловленной различными

видами фильтрационной неоднородности пород и пластов, широкое распространение получило представление о возможности использования аналогии микронеоднородной среды, рассматриваемой как эквивалентная однородная.

Список использованной литературы

1. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. М.: «Колос», 1978.
2. Батурин Г.Е. К вопросу совершенствования организации службы эксплуатации коллекторно-дренажной сети. Сборник научн. тр. САНИИРИ. Т., 1987.
3. Белоусов А.Я. Некоторые вопросы повышения надежности погружных электронасосов типа ЭЦВ на скважинах вертикального дренажа в Узбекской ССР. – Труды САНИИРИ. Т., 1972.
4. Рошаль А.А. Методы определения миграционных параметров. М., 1980(ВИЭМС)
5. Худайкулов С.И., Каландаров А.Д. «Математические методы моделирования динамики дренажей и дренажных систем». Из-во «Дурдона», Бухара-2017. 130с.
6. Хамраев Ш.Р., Долидудко А.И. Влияние открытой коллекторно-дренажной сети на мелиоративное состояние орошаемых земель. «Advances in Science and Technology». Москва. - 2021. -С. 122-124.
7. Долидудко А.И. Повышение надежности эксплуатации открытой коллекторно-дренажной сети при улучшении мелиоративного состояния орошаемых земель. «Вестник мелиоративной науки». Коломна. - 2021. -№ 3. -С. 19-30.
8. Dolidudko A., Rakhimova M. Method of Increasing the Reliability of the Open Horizontal Drainage System For the Purpose of Managing the Melioration Regime of the Syrdarya Region //International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. ISSN. – C. 2350-0328.