



Расчеты понижений уровней грунтовых вод от действия дренажных скважин в условиях аридного климата с учетом неоднородной инверсии испарения грунтовых вод

Литвак Р. Г.

зав. лаб., к. т. н., Кыргызский научно-исследовательский институт ирригации, г. Бишкек, Кыргызская Республика

для корреспонденции: Lit1@elcat.kg

МРНТИ 70.21.31

doi: 10.29258/CAJWR/2017-RI.v3-4/18-23.rus

Подача в редакцию: 01 февраля 2017; Возврат после редактирования: 30 марта 2017; Принятие к публикации: 11 ноября 2017; Доступ онлайн: 25 января 2018.

Аннотация

В статье получены зависимости для расчета скважин вертикального дренажа с учетом инверсии испарения. В зоне, прилегающей к скважине, где глубина уровней грунтовых вод (УГВ) ниже критического уровня, инверсия задается постоянной величиной. В зоне, где УГВ выше критического уровня, инверсия испарения линейно зависит от заранее неизвестной глубины УГВ. Учитывается перетекание из нижележащих водоносных горизонтов. Для иллюстрации важности детального учета инверсии испарения в климатических условиях Средней Азии проведено сопоставление прогнозных понижений УГВ с понижениями, рассчитанными традиционными методами. Расчеты проводились для климатических и гидрогеологических условий северной части г. Бишкек.

Ключевые слова: Инверсия испарения, расчеты вертикального дренажа, критическая глубина уровней грунтовых вод.

Инверсия испарения грунтовых вод – важнейший фактор, который необходимо учитывать при выполнении гидрогеологических расчетов в условиях аридного климата. При понижении уровней грунтовых вод (УГВ) ниже критического уровня объем дополнительной воды за счет уменьшения ее испарения может составить 5 – 8 тыс. м³/га в год и более. Игнорирование этого фактора при расчетах вертикального дренажа приводит к значительным погрешностям в прогнозных глубинах УГВ (в условиях северной части г. Бишкек величина погрешности составляет 1 - 2 м). Критическая глубина УГВ для Чуйской долины находится в пределах 2.5 – 3.0 м. В большинстве работ [1] инверсия испарения задается константой, т. е. не зависит от глубины УГВ. Это приводит к заниженному влиянию дренажных скважин на УГВ. В данной статье будет произведена соответствующая сопоставительная оценка. Имеются работы, где предусматриваются различные виды пространственного осреднения инверсии испарения [2].

Приемлемый для аридного климата способ задания инверсии испарения в зависимости от величины заранее неизвестных понижений глубины УГВ приведен ниже.

$$W = \frac{U_0}{Skr} \cdot S \quad \text{при} \quad 0 \leq S \leq Skr \quad (1)$$

$$W = U_0 \quad \text{при} \quad S > Skr \quad (2)$$

где W – инверсия испарения грунтовых вод, м/сут;

U_0 – испарение грунтовых вод при исходном положении УГВ, м/сут;

$S = S(r)$ искомые понижения УГВ, м;

r – расстояние до дренажной скважины, м;

Skr – величина понижения исходного УГВ до критического уровня, м.

Если УГВ не понижаются ниже критического уровня, то во всей зоне фильтрации действует зависимость (1), и принципиальных сложностей при решении соответствующих уравнений фильтрации нет. Не возникает проблем, если повсеместно УГВ устанавливаются ниже критического уровня. В этом случае во всей зоне фильтрации действует зависимость (2). Однако, наиболее типичным является случай, когда в зонах, прилегающих к скважинам, УГВ устанавливаются ниже критического уровня, а вне их УГВ – выше критического уровня. Положение границы между зонами заранее неизвестно.

Математическая постановка задачи о скважине, в условиях перетекания с учетом инверсии испарения грунтовых вод по зависимостям (1), (2) имеет вид [3, 4] рисунок 1:

$$\frac{d^2}{dr^2} S1(r) + \frac{1}{r} \cdot \left(\frac{d}{dr} S1(r) \right) - \frac{S1(r)}{B^2} - \frac{W}{T} = 0 \quad \text{при} \quad 0 < r \leq R \quad (3)$$

$$\frac{d^2}{dr^2} S2(r) + \frac{1}{r} \cdot \left(\frac{d}{dr} S2(r) \right) - \frac{S2(r)}{P^2} = 0 \quad \text{при} \quad r \geq R \quad (4)$$

где $S1(r)$ – понижения УГВ в зоне $0 < r \leq R$, м;

$S2(r)$ – понижения УГВ в зоне $r \geq R$, м;

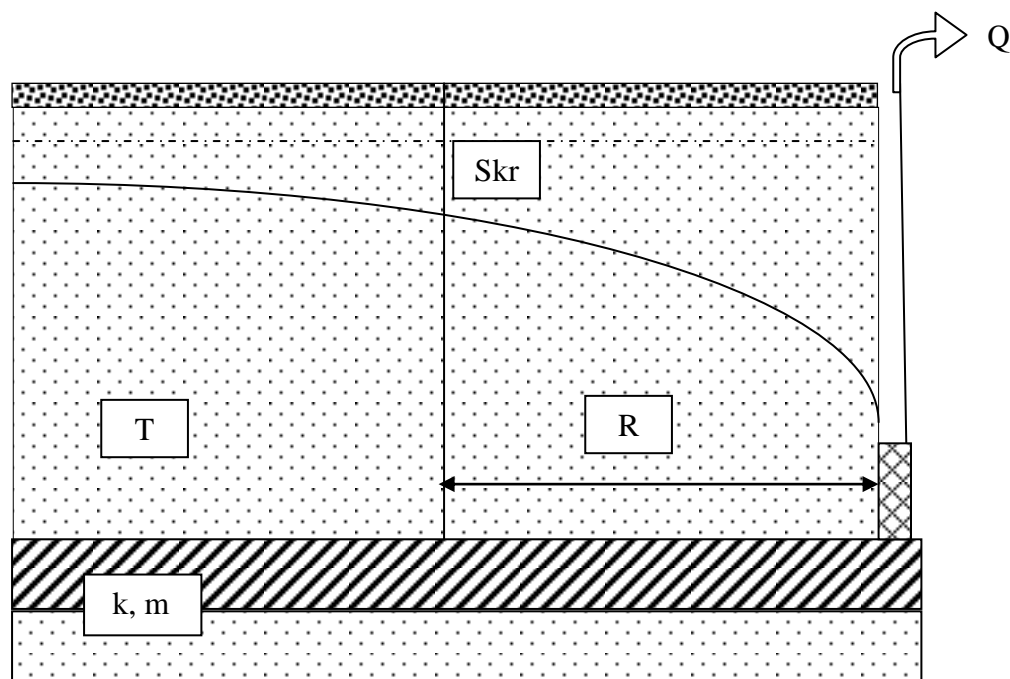


Рисунок 1. Расчётная схема

R – расстояние от скважины до границы зоны с УГВ выше критического уровня, м;
 r – расстояние до скважины, м;
 T – водопроницаемость водоносного слоя, м²/сут;
 W – инверсия испарения грунтовых вод, м/сут.
 m, k – мощность и коэффициент фильтрации подстилающего слабопроницаемого слоя м, м/сут.

$$B = \sqrt{\frac{T \cdot m}{k}} \quad P = \sqrt{\frac{T \cdot m}{k + a \cdot m}} \quad a = \frac{U_0}{Skr}$$

Для решения уравнений (1) и (2) используются пять граничных условий, которые приведены ниже. Традиционная постановка задачи, включающей 2 обыкновенных дифференциальных уравнения второго порядка, требует четыре граничных условия. Однако, в рассматриваемом случае неизвестной величиной является также положение границы, что приводит к дополнительному условию.

Условие на «стенке» скважины:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot T \cdot \frac{d}{dr} S1(r) \right) = -Q \quad (5)$$

где Q – расход скважины, м³/сут

Условия на границе $r = R$:

$$\frac{d}{dr} S1(R) = \frac{d}{dr} S2(R) \quad (6)$$

$$S1(R) = S2(R) \quad (7)$$

$$S1(R) = Skr \quad (8)$$

Условие на бесконечности:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} S2(r) = 0 \quad (9)$$

Общее решение системы дифференциальных уравнений (1), (2) выражается линейной комбинацией цилиндрических функций от мнимого аргумента [5, 6] с дополнительным слагаемым, связанным с дополнительным питанием:

$$S1(r) = C1(R) \cdot I_0\left(\frac{r}{B}\right) + C2(R) \cdot K_0\left(\frac{r}{B}\right) - \frac{B^2 \cdot W}{T} \quad (10)$$

$$S2(r) = C3(R) \cdot I_0\left(\frac{r}{P}\right) + C4(R) \cdot K_0\left(\frac{r}{P}\right) \quad (11)$$

где $I_0(x)$, $K_0(x)$ – цилиндрические функции от мнимого аргумента нулевого порядка первого и второго рода соответственно;

$C1(R)$, ..., $C4(R)$ – произвольные постоянные, зависящие от R (положение границы между зонами). Они определяются с помощью соотношений (5) – (9) с использованием свойств цилиндрических функций [7]. Ниже приведены выведенные соотношения для $C1$ – $C4$, промежуточные выкладки для краткости опущены.

$$C2 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \quad (12)$$

$$C3 = 0 \quad (13)$$

$$C1(R) = \frac{C2 \cdot \left[\left(\frac{1}{P} \cdot \frac{K0\left(\frac{R}{B}\right)}{K0\left(\frac{R}{P}\right)} \cdot K1\left(\frac{R}{P}\right) \right) - \frac{1}{B} \cdot K1\left(\frac{R}{B}\right) \right]}{\frac{1}{P} \cdot \frac{I0\left(\frac{R}{B}\right) \cdot K1\left(\frac{R}{P}\right)}{K0\left(\frac{R}{P}\right)} + \frac{1}{B} \cdot I1\left(\frac{R}{B}\right)} \quad (14)$$

где $I1(x)$, $K1(x)$ – цилиндрические функции от мнимого аргумента первого порядка первого и второго рода соответственно;

$$C4(R) = C1(R) \cdot \frac{I0\left(\frac{R}{B}\right)}{K0\left(\frac{R}{P}\right)} + C2 \cdot \frac{K0\left(\frac{R}{B}\right)}{K0\left(\frac{R}{P}\right)} - \frac{B^2 \cdot \frac{W}{2}}{T \cdot K0\left(\frac{R}{P}\right)} \quad (15)$$

Величина R находится из уравнения (8) с использованием выражений (12) – (15). Упомянутое уравнение (8) не решается традиционными методами, его легко решить графически с любой точностью с использованием компьютерной системы Mathcad 2001i. Для удобства уравнение предоставляется в виде:

$$F(R) = S1(R) - Skr = 0 \quad (16)$$

Для дренажной скважины глубиной 80 м с дебитом 40 л/с в условиях северной части г. Бишкек $F(R)$ представлена на рисунке 2. Построение графика автоматизировано, решение уравнения (8) очевидно ($R = 50$ м).

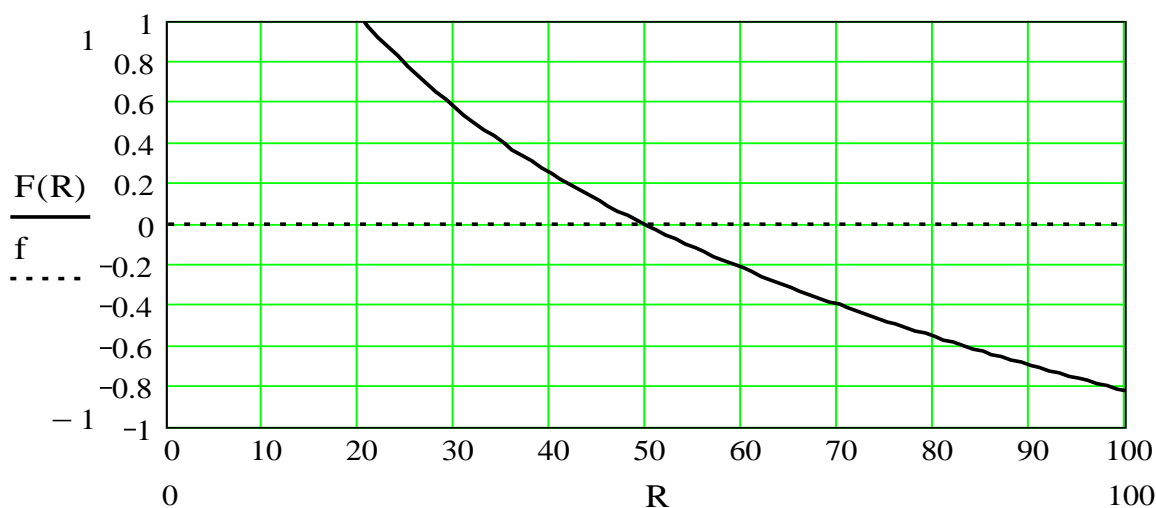


Рисунок 2. График $F(R)$ для решения уравнения $F(R) = 0$

По найденному значению R определяются произвольные постоянные $C1(R)$ и $C4(R)$, затем определяются $S1(r)$ и $S2(r)$. Для рассматриваемой в данной статье территории найденная функция понижений УГВ от действия одиночной скважины представлена на Рисунке 3. На том же рисунке приведены кривая понижений, рассчитанная без учета инверсии испарения, и кривая понижений при задании инверсии испарения в виде константы. Разница в прогнозных глубинах УГВ превышает 1м, что указывает на невозможность использования традиционных формул для расчета вертикального дренажа в климатических условиях Средней Азии.

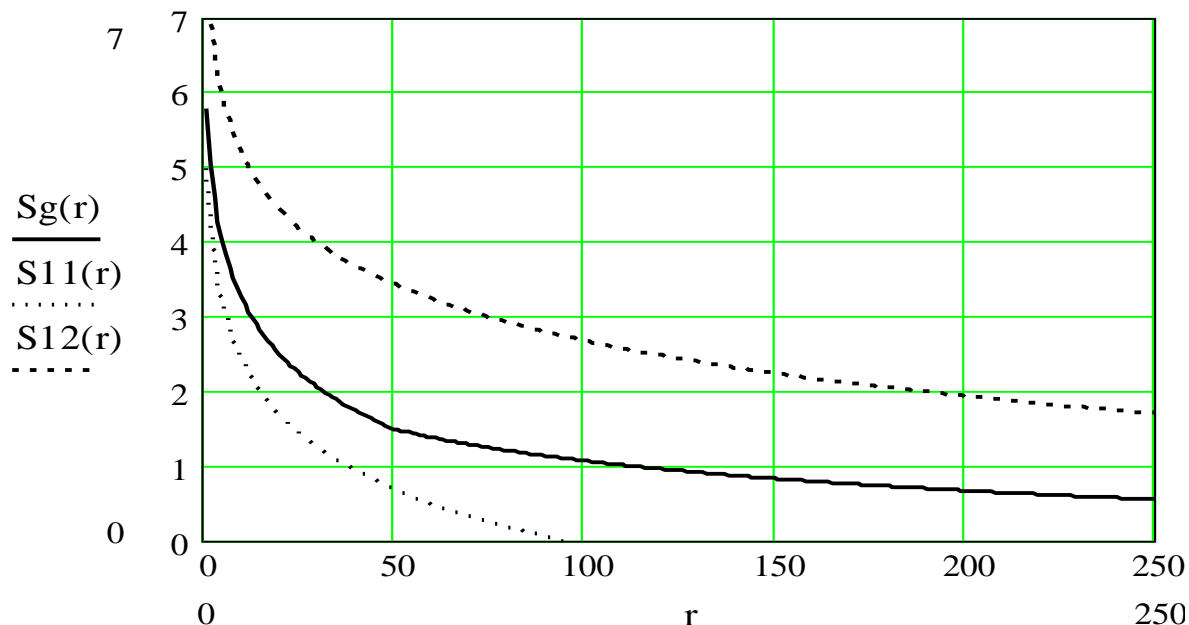


Рисунок 3. Расчетные понижение под действием дренажной скважины в условиях северной части г. Бишкек (Sg – рекомендуемое решение, $S11$ – инверсия испарения не зависит от глубины УГВ, $S12$ – инверсия испарения не учитывается)

Предлагаемый в статье метод позволяет существенно повысить точность и надежность расчетов вертикального дренажа для различных территорий в условиях аридного климата.

Список Литературы

1. Ведомственные строительные нормы. Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях. Нормы пр-я. 33-2.2.03-86. Москва 1987, 114 с.
2. Решеткина Н. М., Якубов Х. И., Вертикальный дренаж. М. “Колос”, 1978, 319 с.
3. Де Уист Р. Гидрогеология с основами гидрологии суши. М., Мир, 1969, 312 с.
4. Мироненко В. А. Динамика подземных вод. М. «Недра», 1983, 357 с.
5. Аверьянов С. Ф. Борьба с засолением орошаемых земель М. “Колос”1978,288 с.
6. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М. «Наука», 1971, 576 с.
7. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. М., Наука, 1977, 342 с.