

## Математическая модель управления интенсивностью расходования грунтовых вод на эвапотранспирацию

**Бекбаев Р.К.**

Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства, г. Тараз,  
Казахстан

Опыт эксплуатации ирригационных систем Казахстана показывает, что ухудшение технического состояния современных систем управления водными ресурсами и защиты водно-земельных ресурсов от истощения и загрязнения на ирригационных системах приводят к нарушению природного равновесия в агроэкосистемах, ускоряют процессы загрязнения поверхностных и подземных вод, повышают уровень деградации орошаемых земель и неустойчивость функционирования орошаемого земледелия. Например, выход из строя всех скважин вертикального дренажа (СВД) и ухудшение технического состояния (зарастания сорной растительностью и тростниками, деформация русел) коллекторно-дренажных систем привело к интенсивному подъему уровня грунтовых вод (рис. 1а, 1б). В Казахстанской части Голодностепского массива в 1994 году, площадь орошаемых земель с глубиной грунтовых вод до 1 м составила 105 га, в 2002 году – 378 га, а в 2009 году – 1417 га (табл. 1). В 1994 г, орошаемые земли с глубиной 1-2 м составили 7792 га, а в 2009 году – 71476 га, т е произошло увеличение площадей с такой глубиной грунтовых вод [1].



а)



б)

Рисунок 1 – Техническое состояние скважины вертикального дренажа (а) и открытого коллектора (б) – Жетысай (Махтааральский район Южно-Казахстанская область)

Таблица 1 - Распределение орошаемых земель по глубине залегания грунтовых вод

| Годы | Общая площадь, га    | Глубина залегания грунтовых вод, м |                      |                      |                      |                    |
|------|----------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
|      |                      | 0-1                                | 1-2                  | 2-3                  | 3-5                  | более 5            |
| 1994 | <u>125715</u><br>100 | <u>105</u><br>0,1                  | <u>7792</u><br>6,2   | <u>72084</u><br>57,3 | <u>43441</u><br>34,6 | <u>2293</u><br>1,8 |
| 2002 | <u>136842</u><br>100 | <u>378</u><br>0,3                  | <u>22073</u><br>16,1 | <u>62584</u><br>45,7 | <u>49563</u><br>36,2 | <u>2244</u><br>1,6 |
| 2009 | <u>138767</u><br>100 | 1417<br>1,0                        | 71476<br>51,5        | 44273<br>31,9        | 19926<br>14,4        | 1675<br>1,2        |

Примечание: в числителе – площадь, тыс.га; в знаменателе – площадь, в % от общей площади

Сравнительный анализ приведенных данных показывает, что с уменьшением

дренированности территории происходит снижение площадей орошаемых земель с глубиной грунтовых вод более 2 м. В 1994 году, когда работали СВД, площадь орошаемых земель с глубиной грунтовых вод более 2 м составляла 93,7%, а в настоящее время - 47,5%. При этом, в период работы СВД и КДС в полном объеме, площадь орошаемых земель с пресной грунтовой водой (до 3 г/л) составила 54,9% от общей площади орошаемых земель (табл. 2). В дальнейшем, с выходом из строя СВД и ухудшением технического состояния КДС, произошло снижение площадей орошаемых земель с пресной грунтовой водой, и в 2009 г она составила 25,2%.

Таблица 2 – Распределение орошаемых земель по минерализации грунтовых вод

| Годы | Всего орошаемых земель, га | Единица измерения | Минерализация, г/л |       |       |       |
|------|----------------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|-------|
|      |                            |                   | <1                 | 1-3   | 3-5   | >5    |
| 1994 | 125715                     | га                | 2718               | 66270 | 37491 | 19236 |
|      |                            | %                 | 2,2                | 52,7  | 29,8  | 15,3  |
| 2001 | 136842                     | га                | 641                | 52229 | 34817 | 49155 |
|      |                            | %                 | 0,5                | 38,2  | 25,4  | 35,9  |
| 2009 | 138767                     | га                | 40                 | 34914 | 50849 | 52964 |
|      |                            | %                 | 0,03               | 25,2  | 36,6  | 38,2  |

Из представленных материалов видно, что в 1994 году площадь орошаемых земель с минерализацией 3-5 г/л и более составила 56727 га или 45,1%, а в 2009 году – 103813 га или 74,8%. Следовательно, снижение дренированности орошаемых земель неизбежно приводит к росту интенсивности поступления грунтовых вод. При этом данный процесс усиливается в вегетационный период. Это подтверждается динамикой уровня залегания грунтовых вод на орошаемых землях Казахстанской части Голодностепского массива (табл. 3).

Таблица 3 – Динамика УГВ на орошаемых землях Махтааральского района, м

| Месяц    | Скважины                 |                                          |                      |                                          |
|----------|--------------------------|------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|
|          | № 30                     |                                          | № 53                 |                                          |
|          | УГВ от поверхности земли | изменение глубины по сравнению с январем | от поверхности земли | изменение глубины по сравнению с январем |
| январь   | 3,21                     | 0                                        | 3,22                 | 0                                        |
| февраль  | 3,00                     | 0,21                                     | 2,90                 | 0,32                                     |
| март     | 0,52                     | 2,69                                     | 0,71                 | 2,51                                     |
| апрель   | 0,84                     | 2,37                                     | 0,99                 | 2,23                                     |
| май      | 1,46                     | 1,75                                     | 1,12                 | 2,10                                     |
| июнь     | 1,64                     | 1,57                                     | 1,32                 | 1,90                                     |
| июль     | 2,57                     | 0,64                                     | 1,99                 | 1,23                                     |
| август   | 1,42                     | 1,79                                     | 2,50                 | 0,72                                     |
| сентябрь | 1,73                     | 1,48                                     | 2,77                 | 0,45                                     |
| октябрь  | 2,17                     | 1,04                                     | 3,12                 | 0,10                                     |
| ноябрь   | 2,42                     | 0,79                                     | 3,30                 | -0,08                                    |
| декабрь  | 2,60                     | 0,61                                     | 3,45                 | -0,23                                    |

Сравнительный анализ приведенных данных показывают, что в Махтааральском массиве уровень залегания грунтовых вод в корнеобитаемом слое имеет два пика: 1 – период проведения эксплуатационных промывок; 2 – период проведения вегетационных поливов. При этом максимальное поднятие грунтовых вод – при проведении эксплуатационных промывок (февраль-апрель) [1]. Максимальная амплитуда – в марте. В этом месяце, по сравнению с январем (максимальная глубина грунтовых вод), подъем уровня грунтовых вод составляет 2,51 и 2,69 м, в последующие месяцы происходит увеличение уровня залегания грунтовых вод. В вегетационный период, уровень залегания грунтовых вод изменяется в пределах от 1,12 -1,46 до 2,50-2,57 м. В этот период доля участия грунтовых вод в суммарном водопотреблении возрастает.

Это подтверждается высокой влажностью орошаемых почв Махтааральского района. Например, на орошаемых землях крестьянского хозяйства Т. Муратова влажность почв в корнеобитаемом слое в течение вегетационного периода не опускалась ниже 19,34%.

Такая же высокая влажность почвы была на орошаемых землях А. Махамбетова, которая изменялась от 20,59% до 22,32%. Высокая влажность почв в конце апреля, т.е. перед посевом сельскохозяйственных культур держалась еще из-за проведения эксплуатационных промывок. В результате проведения промывок в зимне-весенний период произошло не только вымывание солей из корнеобитаемой толщи почв, но и накопление влаги. Эксплуатационные промывки приводят также к подъему уровня грунтовых вод, которые в дальнейшем, поступая в зону аэрации, поддерживают высокую влажность в корнеобитаемом слое почв. Поэтому 1-й полив хлопчатника в крестьянском хозяйстве А. Махамбетова проводился в третьей декаде июля.

Высокие показатели влажности почв в корнеобитаемом слое получены и в последующие годы исследований. Например, 2011 году на орошаемых землях к/х А. Махамбетова проведен 1 полив хлопчатника. Однако за счет субиригации влажность почвы в 0-100 м слое не опускалась ниже 0,71 НВ. Аналогичная динамика влажности почв получена на орошаемых землях Т. Муратовых. Вместе с тем, использование грунтовых вод на субиригацию, хотя и снижает оросительные нормы и количество поливов, при высокой их минерализации неизбежно вызывает рост запасов токсичных солей в корнеобитаемом слое почв. Поэтому для обеспечения мелиоративной стабильности на орошаемых землях необходимо управлять интенсивностью расходования грунтовых вод на эвапотранспирацию.

В вегетационный период грунтовые воды не только участвуют в водопотреблении растений, но также активно формирует мелиоративный режим почв. Темпы протекания эколого-мелиоративных процессов зависят от ионно-солевого состава грунтовых вод. Поэтому, в условиях недостаточной дренированности гидромелиоративных систем, большое значение приобретает изучение динамики ионно-солевого состава грунтовых вод во времени и пространстве, оценка и установление пределов использования последних на субиригацию, орошение и промывку.

В настоящее время надежным механизмом оперативного управления интенсивностью расходования грунтовых вод на эвапотранспирацию является информационная технология, которая включает математическую модель по установлению темпов расходования грунтовых вод на субиригацию. Однако в настоящее время, для условий Казахстана информационные технологии в

мелиорации орошаемых земель не разработаны. Поэтому в КазНИИВХ начата работа в данном направлении. Так, составлена база данных и устанавливается закономерность формирования уровня и минерализации грунтовых вод на орошаемых массивах. При этом многолетние исследования, проведенные в полевых условиях и на лизиметрах, позволили установить, что рост влажности почв или глубины залегания грунтовых вод снижают интенсивность субиригации. Поэтому математическая модель информационной технологии управления интенсивностью расходования грунтовых вод на субиригацию должен учитывать оба этих факторов.

Разработана математическая модель для определения интенсивности расходования грунтовых вод на субиригации при изменении влажности почв корнеобитаемого слоя и уровня залегания грунтовых вод, которая имеет следующий вид [2]:

$$K_T = \frac{\exp(H_x - H)}{\mu} \ln \frac{\beta_{max}}{\beta_T}$$

где  $K_T$  – поступление грунтовых вод в зону аэрации, мм/сутки;  $H_x$  – уровень грунтовых вод, равный 1,0 м;  $H$  – фактический уровень залегания грунтовых вод ( $H \geq 1,0$  м);  $\exp$  – экспонента;  $\beta_{max}$  – влажность почвы, равная НВ, %;  $\mu$  – параметр, учитывающий влияние механического состава почв на расход грунтовых вод в зону аэрации,  $\text{мм}^{-1}$ ;  $\ln$  – натуральный логарифм;  $\beta_T$  – влажность почвы в момент времени  $t$ , %.

Математическая модель позволяет прогнозировать объемы возможного потупления грунтовых вод в зону аэрации для конкретного уровня увлажнения корнеобитаемого слоя почв и залегания грунтовых вод. (табл. 4).

Таблица 4 - Поступление грунтовых вод в зону аэрации при изменении влажности почв и их глубины залегания, мм/сут

| Влажность<br>почв,<br>% от НВ | Глубина залегания грунтовых вод, м |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                               | 1,0                                | 1,5  | 2,0  | 3,0  | 5,0  | 7,0  |
| 100                           | 0                                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 90                            | 2,63                               | 1,60 | 0,97 | 0,36 | 0,05 | 0,01 |
| 80                            | 5,58                               | 3,38 | 2,05 | 0,75 | 0,10 | 0,01 |
| 70                            | 8,92                               | 5,41 | 3,28 | 1,21 | 0,16 | 0,02 |
| 60                            | 12,77                              | 7,75 | 4,70 | 1,73 | 0,23 | 0,03 |

Приведенные расчеты показывают, что интенсивность поступления грунтовых вод в зону аэрации изменяется в широких пределах и зависит от порога предполивной влажности почв. Например, при залегании грунтовых вод на глубине 1–3 м и при пороге предполивной влажности в расчетном слое почв 70% от НВ, интенсивность поступления грунтовых вод в зону аэрации изменялась от 1,21 до 8,92 мм/сутки, а при пороге предполивной влажности 60% от НВ возрастала до 1,73 – 12,77 мм/сутки, т.е. более чем в 1,5 раза.

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных подтверждает, что математическая зависимость позволяет установить объемы использования грунтовых вод на эвапотранспирацию и корректировать оросительные нормы с учетом изменения порога предполивной влажности почв и

уровня залегания грунтовых вод [3]. Представленная методика определения объемов использования грунтовых вод на сублиригацию позволяет совершенствовать систему управления водными ресурсами (поверхностными и подземными), разрабатывать интегрированные технологии водосбережения и стабилизации сельскохозяйственного производства при дефиците воды, снижать расходы поливной воды на получение единицы продукции.

#### **Литература**

1. Отчет о мелиоративном состоянии орошаемых земель Южно-Казахстанской области за 2009 год. Шымкент, 2010. 90 с.
2. Бекбаев Р.К. Моделирование мелиоративных процессов. Тараз: ИЦ «АКВА», 2002. 262 с.
3. Вышпольский Ф.Ф., Бекбаев Р.К., Мухамеджанов Х.В., Бекбаев У.К. Совершенствование метода расчета расхода грунтовых вод на эвапотраеспирацию // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана, 2003, № 8. С. 44-47.