

УДК 631.6

ОБЗОР РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ ОРОШАЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

Нуров Дилмурод ¹

Курбанбаев Музаффар ²

Расулбердиев Жахонгир ¹

¹ Бухарский институт управления природными ресурсами при
Национального исследовательского университета "Ташкентского
института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства",
Бухара, 200100, Узбекистан.

² Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологий,
Нукус, 230101, Каракалпакстан.

E-mail: dnurov1968@gmail.com

Аннотация: Определение оптимальных норм и сроков орошения является одной из самых сложных задач орошаемого земледелия. При ее решении необходимо учитывать все природно-климатические условия региона. Основная задача, стоящая перед нами, определить общее испарение с хлопковых полей расчетно-эмпирическими методами Пенмана-Монтейта, Блейна-Криддла, Н.И. Иванова, С.М. Алпатьева. Полевые исследования по определению общего испарения были проведены в хозяйстве "Джалилбобо" Шафирканского района Бухарской области. Для решения желаемой проблемы были организованы два экспериментальных участка - один на поле, орошаемом методом бороздчатого орошения, другой - на участке капельного орошения. Почвы исследуемого района по механическому составу полугидроморфные, слабозасоленные, легкосуглинистые.

Ключевые слова: эталонная эвапотранспирация, суммарное испарение, водопотребление сельскохозяйственных культур, расчетные методы, модели эвапотранспирации.

Annotation: Determining the optimal rates and timing of irrigation is one of the most difficult tasks of irrigated agriculture. When solving it, it is necessary to take into account all the natural and climatic conditions of the region. The main task before us is to determine the total evaporation from cotton fields with the calculation-empirical methods of Penman-Monteith, Blaine-Criddle, N.I. Ivanov, S.M. Alpatiev. Field studies to determine the total evaporation were carried out in the farm "Jalilbobo" of the Shafirkan district of the Bukhara region. To solve the desired problem, two experimental plots were organized - one on a field irrigated by furrow irrigation, the other - on a drip irrigation site. The soils of the study area are semi-hydromorphic, slightly saline, light loamy in terms of mechanical composition.

Keywords: reference evapotranspiration, evapotranspiration, crop water

consumption, calculation methods, evapotranspiration models.

Введение

Наиболее важной характеристикой в гидромелиорации является величина общего испарения. Некоторые исследователи в своих работах называют это водопотреблением, а за рубежом - эвапотранспирацией. Испарение оказывает серьезное влияние на технологию режимов орошения, а через них на урожайность сельскохозяйственных культур, планирование водных ресурсов и управление водными балансами сельскохозяйственных ландшафтов. Его значение вместе с осадками является исходной информацией для большинства моделей гидрологии и водного баланса[2].

Расход воды поля, занятого сельскохозяйственными культурами, расходуется на транспирацию (E_t) и испарение почвы (E_p):

$$E = E_t + E_p$$

Транспирация – это испарение воды из сосудистой системы растений в атмосферу в результате процесса фотосинтеза. Она ограничена тепловой энергией, наличием воды, влажностью, температурой, концентрацией CO_2 в окружающей среде и скоростью ветра. Виды растений поразному влияют на транспирацию за счет воздействия на листовую проводимость и адаптации растений к наличию воды.

Эвапотранспирация – это общее количество воды, испаряемой из почвы, тела растения и листьев. На испарение воды почвой после полива влияют температура воздуха, влажность, активность солнечной радиации и сила ветра. Кроме того, тень от растений на поверхности почвы также влияет на испарение почвенной влаги. При высыхании поверхности почвы (в течение нескольких дней) уровень радиационного воздействия резко снижается.[1-2].

По мере роста растений большая поверхность почвы покрывается, испарение над почвой уменьшается, но количество транспирации увеличивается.

Из-за жаркого и сухого климата на большей части территории Республики Узбекистан величина эвапотранспирации высока. Для определения суммы эвапотранспирации различных сельскохозяйственных культур необходимо определить величину «эталонная эвапотранспирация».

«Эталонная эвапотранспирация» — это объем воды, испаряющийся в единицу времени с нормально выросшего, не заболоченного зеленого растения, полностью покрытого растительностью и не очень высокого (до 20 см) размера. Это количество принято во всем мире в качестве ориентира для растений.

За последние 50 лет ведущими учеными и специалистами мира были разработаны многочисленные методы расчета эталонной (потенциальной) эвапотранспирации E_{To} с использованием различных климатических параметров. Эти методы носят региональный характер и требуют

дополнительных трудозатрат и времени для применения в других частях мира. С другой стороны, время требует быстрого обнаружения индикаторов E_{To} [2-5].

Методы исследования

Метод Пенмана-Монтейта: ФАО рекомендовала метод Пенмана-Монтейта как единственный и стандартный метод определения эталонной (потенциальной) эвапотранспирации E_{To} . По мнению некоторых специалистов, недостатком этого метода является то, что не все метеостанции имеют все требуемые в формуле (1) климатические параметры. Несуществующие климатические показатели также можно определить с помощью теоретических формул, что требует много времени. Однако ФАО разработала автоматизированную компьютерную программу, которая быстро определяет стандартную эвапотранспирацию даже при отсутствии всех климатических показателей. Эта программа используется как в Узбекистане, так и за рубежом.

Эталонная эвапотранспирация сельскохозяйственных культур рассчитывается на основе E_{To} , культурного коэффициента (K_c), характеристик сельскохозяйственных культур и эвапотранспирации (E_{Ts}), расчета общего водопотребления хлопчатника на основе адаптированного метода Пенмана-Монтейта и данных о температуре воздуха, влажности, скорости ветра и продолжительность солнечного света [4-6].

$$E_{To} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}; \text{ мм} \quad (1)$$

Эталонная эвапотранспирация E_{To} рассчитывается на основе климатических показателей и данных о погоде и представляет собой испаряющую способность атмосферы в конкретном регионе и сезоне и не зависит от вида сельскохозяйственных культур или почвы.

Для увязки со эталонной эвапотранспирацией (E_{To}) и эвапотранспирацией культур (E_{Ts}) вводятся коэффициенты культур (K_c) и учитывается водопотребление на стадиях развития хлопчатника. Значением коэффициента культуры (K_c) при достижении полной эффективности в процессе роста растений является эвапотранспирация (E_{Ts}) по уравнению 2 с учетом выращивания растений на больших полях с безболезненными, оптимальными почвенными условиями, оптимальным плодородием почвы и условия полива [2].

$$E_{Ts} = K_c \cdot E_{To}; \quad \text{мм.} \quad (2)$$

При этом: E_{Ts} – эвапотранспирация растений, (поливная норма) мм;

K_c - этапы развития к растениям и коэффициент растений с учетом водопотребления; E_{To} - эталонная эвапотранспирация, мм.

Величина коэффициента растений (K_c) зависит от таких факторов, как сроки посева, стадии развития, продолжительность вегетационного

периода, способ и техника орошения (бороздовой и капельное орошение), климатические условия. Коэффициент растений (Кс) определяют [табл. 1] на основании многолетних полевых опытных исследований по поливу сельскохозяйственных культур.

В таблице 2 приведены величины эталонной эвапотранспирации по многолетним среднемесячным климатическим данным Бухарской метеостанции в компьютерной программе, автоматизированной по методу Пенмана-Монтейта.

таблица 1

Значениям коэффициентов (Кс) стадий развития хлопчатника по механического состава почв (по методу FAO)

Этапы развития	Механический состав почвы		
	Легкий	Средний	Тяжелый
1	0,39	0,36	0,37
2	0,72	0,70	0,71
3	1,11	1,09	1,10
4	0,70	0,69	0,70

таблица 2

Месячная эвапотранспирация хлопка (ЕТс) по методу Пенмана-Монтейта.

Месяцы	Апрел	Май	Июнь	Июль	Август
ЕТо (мм/ месяц)	118	193	237	282	219
Кс	0,35	0,35	0,7	1,1	0,7
ЕТс- каждый месяц, мм	41,3	67,5	166	277	153

Метод Блейна-Кридла: В методе Блейна-Кридла величина эталонной эвапотранспирации ЕТо определяется по следующей формуле:

$$ЕТо = Р \cdot (0,46 \cdot Т_{\text{средняя}} + 8) \text{ мм.} \quad (3)$$

где: Р - средний процент годовых периодов времени суток (часов) в сутки;

Т_{средняя} - средняя температура воздуха в дневное время суток, при °С;

$$Т_{\text{средняя}} = (Т_{\text{max}} + Т_{\text{min}}) / 2 \quad (3.1)$$

Т_{max} – сумма самых высоких температур в течение месяца;

$$Т_{\text{max}} = (\sum Т_{\text{max}} \text{ в течении месяца}) / N_{\text{сутки}} \quad (3.2)$$

N_{сутки} - количество дней в 1 месяце;

$$Т_{\text{min}} = (\sum Т_{\text{min}} \text{ в течении месяца}) / N_{\text{сутки}} \quad (3.3)$$

Для определения Р необходимо знать, на какой широте (в каком градусе севернее или южнее экватора) расположен район, где находится опытная поля. Для определения значения Р воспользуемся следующей таблицей [табл. 3].

Средний процент годового дневного времени. Таблица 3

Ши рот	Сев ер-	Ян вар	Фе вра	Ма рт	Ап рел	Ма й	Ию н	Ию л	Ав гус	Сен тяб	Окт ябр	Ноя бр	Дек абр
-----------	------------	-----------	-----------	----------	-----------	---------	---------	---------	-----------	------------	------------	-----------	------------

а	Юг	Ию л	л Авг уст	Сен тяб р	Окт ябр	Ноя бр	Дек абр	Янв ар	т Фе вра л	р Ма рт	Ап рел	Ма й	Ию н
60 ⁰		15	20	26	32	38	41	40	34	28	22	17	13
55 ⁰		17	21	26	32	36	39	38	33	28	23	18	16
50 ⁰		19	23	27	31	34	36	35	32	28	24	20	18
45 ⁰		20	23	27	30	34	35	34	32	28	24	21	20
40 ⁰		22	24	27	30	32	34	33	31	28	25	22	21
35 ⁰		23	25	27	29	31	32	32	30	28	25	23	22
30 ⁰		24	25	27	29	31	32	31	30	28	26	24	23
25 ⁰		24	26	27	29	30	31	31	29	28	26	25	24
20 ⁰		25	26	27	28	29	30	30	29	28	26	25	25
15 ⁰		26	26	27	28	29	29	29	28	28	27	26	25
10 ⁰		26	27	27	28	28	29	29	28	28	27	26	26
5 ⁰		27	27	27	28	28	28	28	28	28	27	27	27
0 ⁰		27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

Опытная поля расположено на территории Бухары, т.е. на 39/40 градусах северной широты. По данным Бухарской метеостанции, средняя температура июля составила +28 °С.

$$T_{\max} = (\sum T_{\max} \text{ в течении месяца}) / N_{\text{сутки}} = 1116 / 31 = 36$$

$$T_{\min} = (\sum T_{\min} \text{ в течении месяца}) / N_{\text{сутки}} = 589 / 31 = 19$$

$$T_{\text{средняя}} = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 = (36 + 19) / 2 = 28 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$E_{\text{То}} = P \cdot (0,46 \cdot T_{\text{средняя}} + 8) = 0,329 \cdot (0,46 \cdot 28 + 8) = 6,87 \text{ мм/сутка}.$$

$E_{\text{То}} = 6,87 \text{ мм/сутка} \cdot 31 \text{ сутка} = 213 \text{ мм/ месяц}.$ ($E_{\text{То}}$ – за июль месяц.) Остальные месяцы считались в том же порядке [табл. 4].

таблица 4

Месячная эвапотранспирация хлопка ($E_{\text{Тс}}$) по методу Блейна-Криддла.

Месяцы	Апрел	Май	Июнь	Июль	Август
$E_{\text{То}}$ (мм/ сутка)	5,05	5,96	6,57	6,87	6,41
K_c	0,35	0,35	0,7	1,1	0,7
$E_{\text{Тс}}$ (мм/ сутка)	1,77	2,09	4,6	7,6	4,5
$E_{\text{Тс}}$ - каждый месяц, мм	53,1	64,8	138	235,6	139,5

Метод Н. И. Иванова: Определяем количество физического испарения и транспирации (эвапотранспирация-оросительная норма) на опытном поле, где выращивается хлопчатник, по формуле Н. И. Иванова:

$$E_{\text{То}} = 0,0018 \cdot 0,8 \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - a) \quad (4)$$

где, $E_{\text{То}}$ – эталонная эвапотранспирация.

T - среднемесячная температура воздуха, °С;

a - среднемесячная относительная влажность воздуха, %.

По данным Бухарской метеостанции, средняя температура июля составила +28 °С, относительная влажность 32%.

За июль: $E_{To} = 0,0018 \cdot 0,8 \cdot (25+28)^2 \cdot (100-32) = 275$ мм. Остальные месяцы считались в том же порядке [табл. 5].

таблица 5

Месячная эвапотранспирация хлопка (E_{Ts}) по Н. И. Иванову.

Месяцы	Апрел	Май	Июнь	Июль	Август
E_{To} (мм/ месяц)	111	193	258	275	237
K_c	0,35	0,35	0,7	1,1	0,7
E_{Ts} - каждый месяц, мм	38,8	67,5	180,6	302	166

Метод С.М. Алпатъева: Многие проектные институты проводят общее выпаривание на основании рекомендаций, разработанных научно-исследовательскими учреждениями или биоклиматическим методом украинского ученого С.М. Алпатъева. По формуле Алпатъева общее испарение-эвапотранспирация является функцией дефицита влажности воздуха:

$$E_{Ts} = K_b \cdot \Sigma d \quad (5)$$

Σd - среднесуточная сумма дефицита влажности за отчетный период, кПа (принимается от ближайшей метеостанции).

K_b — биоклиматический коэффициент (определяется на основе многолетних полевых опытных исследований).

Следовательно, нам необходимо определить E и e в (6) для определения Σd - дефицита влажности воздуха.

$$d = E - e \quad \text{или} \quad d = P_t - P \quad (6)$$

Чтобы узнать давление E насыщенного водяного пара при температуре воздуха точки росы (T_d), нужно найти температуру воздуха (T_d) в точке росы. Эту информацию можно получить из данных метеостанции Бухара. По таблице температура воздуха $+28^\circ\text{C}$ и $F = 32\%$ - температура воздуха точки росы, соответствующая относительной влажности $T_d = +10^\circ\text{C}$ и абсолютной влажности

$$P = 9,4 \text{ г/м}^3.$$

Чтобы уточнить эту информацию, мы можем обратиться к [табл. 6].

При $T_d = +10^\circ\text{C}$ плотность насыщенного пара $P = 9,4 \text{ г/м}^3$.

Относительная влажность определяется по формуле (7).

$$F = (P / P_t) \cdot 100\% \quad (7)$$

Если мы установим индикаторы климата в (7), мы получим следующее представление:

$$32\% = (P / 9,4 \text{ г/м}^3) \cdot 100\%; \quad \text{где, } P = (32 \cdot 9,4) / 100 = 3 \text{ г/м}^3$$

$$d = E - e \quad \text{или} \quad d = P_t - P \quad (8)$$

Из (8) дефицит влажности выглядит следующим образом:

$$d = 9,4 \text{ г/м}^3 - 3 \text{ г/м}^3 = 6,4 \text{ г/м}^3.$$

таблица 6

Месячная эвапотранспирация хлопка по биоклиматическим методом

<https://tiame66.uz>

<https://uz-conference.com>

С.М. Алпатыева.

Месяцы	Апрел	Май	Июнь	Июль	Август
Σd — дефицит влажности воздуха.	102	148	162	198,4	158
Kб	0,35	0,35	0,7	1,1	0,7
ЕТс-месяц, мм	36	52	113,4	218,2	110,6
Months	April	May	June	July	August
Σd — deficit of air humidity.	102	148	162	198,4	158
Kb	0,35	0,35	0,7	1,1	0,7
ЕТс- months, mm	36	52	113,4	218,2	110,6

Результаты

В результате анализа исследований расчетных методов определения общего испарения, проведенных в различных регионах мира, было установлено, что разработка моделей общего испарения широко распространена в большинстве развитых стран. Для большинства регионов различные исследовательские организации разработали свои собственные методы определения общего испарения. Методы К.Льгов, П.Невский, Д.А.Штойко, В.С.Мезенцев, Н.Иванов с поправкой Молчанова и биоклиматическим методом М. Алпатыева. Метод Пенмана-Монтейта широко используется за рубежом. ФАО рекомендовала его в качестве стандарта. Почти все методы расчета основаны на климатических показателях. Основными из них являются радиационный баланс за вегетационный период фитоценоза, сумма среднесуточных дефицитов влажности и температуры воздуха за тот же период, скорость ветра. Такие методы расчета имеют простые модели и могут быть легко и своевременно использованы как в оперативных, так и в прогнозных расчетах. Погрешности вычислений будут находиться в допустимых пределах, если методы используются в условиях, идентичных тем, для которых они были разработаны.

таблица 7

Эвапотранспирация (ЕТс) хлопка, определенная различными методами.

Месяцы	Пенман Монтейт (ФАО) мм	Блейни Криддл мм	Н.И. Иванов мм	СМ. Алпатыев мм
Апреля	41,3	53,1	38,8	36
Май	67,5	64,8	67,5	52
Июнь	166	138	180,6	113,4

Июль	277	235,6	302	218,2
Август	153	139,5	166	110,6
Итого:	704,8	631	755	530,2

Выводы

Обзор даже небольшого количества различных методов определения суммарного испарения показывает постоянный интерес исследователей. Получившие широкое распространение эмпирические методы расчета суммарного водопотребления базируются на высокой корреляции с метеорологическими параметрами. Учет растительной поверхности поля повышает точность расчетов суммарного водопотребления. При практическом применении расчетных методов для какой-либо территории следует выбирать из возможных эмпирические методы, базирующиеся на метеопараметрах, которые наиболее значимо коррелируют с суммарным испарением в данных условиях и которые легко измерить.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Matyakubov B., Nurov D., Teshaev U., Kobulov K. "Drip irrigation advantages for the cotton field in conditions of salty earth in Bukhara province region" // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled, 2023, 1138(1), 012016.
2. Черемисинов А.Ю. "Мелиорация" учеб. пособие / А.Ю.Черемисинов, С.П.Бурлакин, А.А.Черемисинов. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2012. – 243 с.
3. Matyakubov B., Nurov D., Radjabova M., Fozilov S. "Application of Drip Irrigation Technology for Growing Cotton in Bukhara Region" // Published Online: 16 June 2022. AIP Conference Proceedings 2432, 040014 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0091186>
4. Nurov D. E. (2014). APPLICATION OF DRIP IRRIGATION TECHNOLOGY FOR COTTON GROWING IN CONDITIONS OF WATER SHORTAGE. The Way of Science, 24.
5. ФОЗИЛОВ Ш.Г., НУРОВ Д.Э. (2021). ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛИВА. In Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2021 (pp. 312-314).
6. Matyakubov B., Koshekov R., Avlakulov M., Shakirov B. "Improving water resources management in the irrigated zone of the Aral Sea region". // E3S Web of Conferences, 2021, 264, 03006
7. Саримсаков М.М. (2023, May). СПОСОБЫ ПОЛИВА И УРОЖАЙНОСТЬ ИНТЕНСИВНЫХ ЯБЛОНЕВЫХ САДОВ. In INTERNATIONAL SCIENTIFIC RESEARCH CONFERENCE (Vol. 2, No. 14, pp. 173-175).
8. Isaev, S., Sarimsakov, M., Sarimsakova, M., Turdaliev, A., Abdukhakimova, K., & Mirzaeva, M. (2023). Application of water-saving irrigation technologies of intensive apple orchards in the irrigated regions of Uzbekistan. In E3S Web of Conferences (Vol. 389, p. 03052). EDP Sciences.
9. Фазлиев Ж. Ш., (2023, October). ТОМЧИЛАТИБ СУФОРИШ

<https://tiame66.uz>

<https://uz-conference.com>

ТЕХНОЛОГИЯСИ ОРҚАЛИ СУҒОРИЛГАН ОЛМА БОҒЛАРИНИНГ ТУПРОҚ АГРОКИМЁВИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ. In Proceedings of International Conference on Educational Discoveries and Humanities (Vol. 2, No. 11, pp. 19-23).

10. Фазлиев Ж., Тожиев Ш., Холиқов Ш. (2023). СПОСОБЫ ЭКОНОМИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В САДАХ. In Uz-Conferences (Vol. 1, No. 1, pp. 520-525).

11. Shavkat o'g'li E. S., Sirojiddin o'g'li S. J. (2023). TRANSITION TO MODERN WATER-SAVING IRRIGATION TECHNOLOGIES-THE NEED OF THE TIME. Multidisciplinary Journal of Science and Technology, 3(5), 332-339.

12. Shaxboz, E. (2023). ZAMONAVIY SUV TEJAMKOR SUGORISH TEXNOLOGIYALARIGA OTISH-ZAMON TALABI. In Uz-Conferences (Vol. 1, No. 1, pp. 414-419).

13. Khamidov M.K., Juraev U.A., Buriev X.B., Juraev A.K., Saksonov U.S., Sharifov F. K., Isabaev K. T. (2023, February). Efficiency of drip irrigation technology of cotton in saline soils of Bukhara oasis. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1138, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.

14. Sharifov Firdavs, Mirzamurotov Mirshod. (2024). G'O'ZA O'SIMLIGINI YETISHTIRISHDA SUV TEJAMKOR SUG'ORISH TEXNOLOGIYALARINI QO'LLASH. Uz-Conferences, 1(1), 461–464. Retrieved from <https://uz-conference.com/index.php/p/article/view/98>

15. Фазлиев, Ж. Ш. (2023, October). ТОМЧИЛАТИБ СУҒОРИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ ОРҚАЛИ СУҒОРИЛГАН ОЛМА БОҒЛАРИНИНГ ТУПРОҚ АГРОКИМЁВИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ. In Proceedings of International Conference on Educational Discoveries and Humanities (Vol. 2, No. 11, pp. 19-23).

16. Фазлиев, Ж. Ш. (2019). EFFICIENCY OF USE OF CLAY WATER WITH DROP IRRIGATION. ЖУРНАЛ АГРО ПРОЦЕССИНГ, (4).

17. Xudayev, I. J., & Tojiyev, S. M. (2023). NAMLATGICH-BLOKLARDAN HOSIL QILINGAN EKTRANLI EGATLARDAN G 'O 'ZANI SUG 'ORISH TEXNOLOGIYASI. In Uz-Conferences (Vol. 1, No. 1, pp. 514-519).

18. Худайев, И., & Фазлиев, Ж. ТЕХНОЛОГИЯ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ САДОВ И ВИНОГРАДНИКОВ. JURNALI, 176

19. Фазлиев, Ж. Ш., & Баратов, С. С. (2014). ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛИНИСТОЙ ВОДЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ. The Way of Science, (4), 77.

20. Fazliyev, J. EFFICIENCY OF APPLYING THE WATER-SAVING IRRIGATION TECHNOLOGIES IN IRRIGATED FARMING «ИНТЕРНАУКА» Science Journal № 21 (103) June 2019 г.