

УДК 626.81: 544.6.018.2

**ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ВЛАГОПЕРЕНОСА ПРИ
КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ**

Х.М. Ачилова¹

*ассистент «ТИИМСХ» НИУ Бухарский институт управления природными
ресурсами.*

А.А. Юлдашов²

*старший преподаватель «ТИИМСХ» НИУ Бухарский институт управления
природными ресурсами.*

Целью исследования является разработка методики прогнозирования распределения уровней и величины влажности почвы в зонах промачивания (увлажнения) подкапельного почвенного пространства при капельном поливе растений. При капельном орошении в почвогрунтовой толще формируется контур увлажнения, геометрические и влажностные параметры которого являются критериальными показателями, определяющими качество капельного полива и качество условий для роста и развития корневой системы сельскохозяйственных культур. Несмотря на наличие ряда исследований в этой области, общепринятая методика определения влажностных параметров ко n-туров капельного увлажнения почвы отсутствует, что предопределяет актуальность научной работы. В результате исследований предложена методика графоаналитического определения геометрических размеров и влажностных параметров контуров и построения очертания контуров капельного увлажнения почв для широкого диапазона почвенных, фито почвенных и технологических условий капельного полива растений, позволяющая спрогнозировать и оценить геометрические размеры контуров и характер распределения уровней влажности почвы во внутриконтурном почвенном пространстве с приемлемой для практического использования точностью. Методика базируется на материалах авторских экспериментальных исследований и полученных на их основе экспериментальных зависимостях по определению очертания, глубин и диаметров контуров увлажнения и координат линий влажности (изоплет) почвы в пределах увлажняемого внутриконтурного пространства для широкого спектра условий капельного полива. Актуальность темы исследования. В настоящее время в связи с развитием орошения нет сомнения в том, что среди перспективных способов полива одним из основных является капельное орошение. Данный способ полива позволяет создать наиболее благоприятные условия для растений, обеспечить подачу воды непосредственно корням растений, автоматизировать процесс полива. Повышение эффективности данного способа полива основано на получении максимум продукции при минимуме затрат поливной воды и труда. Однако перспективы внедрения капельного орошения в настоящее

время сдерживаются отсутствием конкретных режимов орошения и теоретических исследований использования таких систем и технологий полива. Поэтому исследования по разработке и совершенствованию систем капельного орошения в яблоневых садах в условиях сухостепной зоны с точки зрения распределения и нормирования воды растениям, представляют, как научный, так и практический интерес.

Ключевые слова: *капельное орошение, капельный полив, контур капельного увлажнения, геометрия контура, влажность почвы, линии влажности, зона увлажнения почвы.*

UDK 626.81: 544.6.018.2

FUNDAMENTALS OF MODELING AND BASIC CALCULATIONS OF MOISTURE TRANSFER IN DRIP IRRIGATION

H. M. Achilova¹

assistant of «TIIMSH» NRU Bukhara Institute of Natural Resources Management.

A.A. Yuldashov²

senior lecturer at TIIMSH NRU Bukhara Institute of Natural Resources Management.

The object of the research is to develop a methodology for predicting the distribution of levels and the value of soil moisture in moistening zones of the subsurface soil space during drip irrigation of plants. The humidification contour where geometric and moisture parameters are criteria indicators determining the quality of drip irrigation and the conditions for the growth and development of agricultural crops root system is formed in the soil layer with drip irrigation. Despite the presence of a number of studies in this area, there is no generally accepted method for determining the moisture parameters of the contours of drip soil moistening, which predetermines the relevance of scientific work. As a result of the research a method for graph analytical determination of geometric dimensions and moisture parameters of contours and for constructing contours of drip irrigation for a wide range of soil, phytosoil and technological conditions for drip irrigation of plants is proposed. It allows predicting and estimating the geometrical sizes of contours and the distribution of soil moisture levels in the in contour soil space with acceptable accuracy for practical use. The methodology is based on the materials of the author's experimental studies and the obtained experimental dependences on determining the shapes, depths and diameters of moisture contours and the coordinates of moisture lines (isopleths) of soil within the moistured in contour space for a wide range of drip irrigation conditions.

Keywords: *drip irrigation, drip irrigation, drip humidification contour, contour geometry, soil moisture, moisture lines, and soil moisture zone.*

Введение. При капельном поливе растений в подкапельном почвенном пространстве формируются локальные (единичные) контуры увлажнения (промачивания), характеризующиеся геометрическими (линейными, площадными и объемными) размерами и влажностными параметрами в пределах увлажняемой почвогрунтовой зоны. Исследованию геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почвы посвящены работы А. Д. Ахмедова, В. В. Бородычева, В. С. Бочарникова, Е.

В. Мелиховой, А. С. Овчинникова, Е. А. Ходякова, М. Ю. Храброва, О. Е. Ясониди, М. Л. Ромащенко, Ю. С. Уржумовой и других специалистов в области капельного орошения [1-10]. Несмотря на значительный объем исследований, общепринятая методика определения геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения к настоящему времени отсутствует, а одна из попыток ее разработки и есть цель настоящей статьи.

Материалы и методы. Распределение влажности почвы во внутриконтурном почвенном пространстве зависит от ряда факторов капельного полива, в качестве которых рассматриваются нижеследующие.

Капельное орошение является перспективным способом полива, восполняя дефицит водных ресурсов, обеспечивает высокий технический уровень, повышает продуктивность различных сельскохозяйственных культур. При этом улучшается охрана природы в орошаемом земледелии и сохраняется плодородие почвы. По сравнению с другими способами полива влагоперенос воды в почве при капельном орошении, как в теоретическом, так и в экспериментальном планах, изучен в меньшей степени. В связи с этим создаваемая и используемая математическая модель должна удовлетворять ряду требований в различных условиях.

Можно считать, что вода не имеет растворенных солей, почвенное и атмосферное давление воздуха равны между собой, скелет грунта является не деформируемым, почвенная влага несжимаемой и процесс движения влаги является изотермическим. Поэтому влагоперенос в почве развивается под действием капиллярных и гравитационных сил. Кроме того, большое влияние вызывает градиент влажности, всасывающая сила корней растений и испарение.

В целом уравнение движения жидкости при неполном насыщении грунта можно записывать, используя закон Дарси. На основе анализа физического смысла данного закона можно отметить, что изменение массы жидкости, вытекающей в единицу времени из элементарного объема почвы компенсируется изменением насыщенности внутри этого объема. При этом скорость движения жидкости пропорциональна градиенту напора [1, 2]. Тогда можно записывать:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \text{div}(K(W)\text{gradd}(H)), \quad (1)$$

Где $K(W)$ – коэффициент влагопроводности, зависящий от координат x, y, z ; W – объемная влажность почвы; H – напор; t – время. На основании результатов анализа

было выявлено, что в зависимости от давления влажность грунта может изменяться по-разному [12, 5].

Поэтому если в начальный период времени почва принимает неравномерное по глубине распределение влажности, то тогда влажность будет возрастать в моменты времени в сухих слоях относительно согласно диффузионной модели. Эти возрастания могут иметь значение близкие к начальному значению, как бы ни происходило большое испарение. В экспериментальных исследованиях обычно это происходит наоборот, т.е. при интенсивном испарении влажность в сухих слоях почвы уменьшается. Несмотря на это градиент влажности почвы будет направлен к слоям, где предусматривается более низкая влажность почвы. В последующем этот процесс получил название эффекта Аллэра, который для количественного описания данного факта использовал концепцию трещиноватого пористого тела для грунта [11].

На основании проведенных исследований в уравнение влагоперенос вводится поправочный член, который необходимо было бы использовать для описания влагоперенос в почв грунтах. Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что следующая модель носит название модели Аллэра и принимает вид:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial W}{\partial x} + A \frac{\partial^2 W}{\partial t \partial x} \right], \quad (2)$$

где А - коэффициенты пропорциональности.

При решении данных математических моделей можно использовать уравнение передвижения влаги в почве.

Анализируя данную математическую модель, и ее приближенное решение можно отметить, что эта модель основана с применением дифференциального уравнения влагоперенос, который имеет параболический вид. При переменной скорости перемещения границы увлажнения принимает при этом конечное значение, и рассматривают гиперболическое уравнение влагоперенос.

В целом в природе, процессы влагоперенос намного более сложнее, чем применяемые математические их описания, следовательно, их можно определить различными методами и разнообразными формами уравнений влагоперенос. Поэтому, возникает основной вопрос о выборе наилучшей математической модели изучаемого данного процесса. Здесь необходимо учитывать правильность описание процесса влагопереноса. Следовательно, применяемые уравнения должны отражать основные физические закономерности и обеспечивать необходимую точность, которые происходят при проведении данных исследований. При этом зависимость должна иметь простой и эффективный вычислительный алгоритм и его опытно-экспериментальную проверку приблизительно близкую к данным полученным в ходе исследований [38, 41, 101, 107, 129, 136].

Следует отметить, что для решения уравнения влагопереноса в каждый момент времени необходимо учитывать физическое испарение (И) с поверхности почвы и

зависимости от времени величины транспирации (E_T). Тогда суммарного испарения (E) будут равно как суммы двух составляющих:

$$E = E_T + I \quad (3)$$

Следовательно, на основе использования биоклиматического метода расчет возможного решения суммарного испарения E будет принимать следующий вид:

$$E = \sum_{i=1}^n K_B \sum d, \quad (4)$$

где n – количество периодов; $\sum d$ – сумма дефицитов влажности воздуха; K_B – биоклиматический коэффициент, характеризующий вид и фазу развития растений (i).

При определении доли транспирации в суммарном испарении можно применять эмпирическую зависимость и выразить на ее основе следующую формулу:

$$\frac{E_T}{E} = \frac{1 - M_T (K_B - K_{B \min})}{K_{B \max} - K_{B \min}}, \quad (5)$$

где $K_{B \max}, K_{B \min}$ – соответственно максимальное и минимальное значения биоклиматического коэффициента для отдельных фаз развития данной культуры; M_T – эмпирический параметр, соответствующий максимальной доле транспирации в суммарном испарении (0,90...0,95).

Основная величина потенциальной транспирации, которая определяется с применением уравнения (3 и 5) задается послойно. При этом учитываются плотности корневой системы растений, которая является потенциальным отбором влаги корнями [174]. Распределение основной массы корневой системы растений в модели аппроксимируемых функций примет вид:

$$f(z) = \frac{1}{(z + Z_1) \bar{\sigma}_\lambda 2\pi} e^{-\frac{[\ln(z+Z_1) - Z_n]^2}{2\bar{\sigma}_\lambda^2}}, \quad (6)$$

Где Z_1, Z_n – параметры распределения, рассчитанные на основе экспериментальных данных полученных опытным путем; $\bar{\sigma}_\lambda$ – эмпирический параметр; z – вертикальная координата. В целях определения фактической интенсивности использования влаги корнями растений и с учётом транспирации можно использовать в зависимости от степени доступности почвенной влаги растениям следующую формулу:

$$E_\phi = E_0 K_r, \quad (7)$$

где K_r – коэффициент интенсивности поглощения влаги корнями; E_0 – транспирация при оптимальных условиях водопотребления.

На основе анализа различных литературных источников следует отметить, что создание необходимых оптимальных условий для развития растений возможно только тогда, когда можно прогнозировать водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почвы. Чтобы прогнозировать такой режим необходимо применять дифференциальное уравнение, описывающее процессы обмена в системе «почва - растение - атмосфера».

В корнеобитаемом слое почвы процесс влаг обмена, можно представлять в следующем виде [141, 170]:

$$e \frac{\partial \Phi}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_B - \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) - g \frac{\partial K_B}{\partial z} + Q(z, t), \quad (8)$$

где e – объемная влажность; Φ - капиллярный потенциал почвенной влаги; K_B – коэффициент влагопроводности; g - ускорение силы тяжести; z - вертикальная координата; t - время; $Q(z, t)$ - поглощение влаги корневой системой из единицы объема почвы.

Данные которые используются для прогноза водного режима почвы в формуле 4.8, возможно решать тогда, когда будет известно значение функции $Q(z, t)$, зависимости объемной влажности e и коэффициента влагопроводности K_B от капиллярного потенциала почвенной влаги Φ .

При этом необходимо учитывать то, что объемная влажность e и коэффициент влагопроводности K_B в полевых условиях устанавливаются путем опытным. При решении данного уравнения (8) поглощения влаги корневой системы Q , корнеобитаемый слой растений можно делить на две зоны (рис. 1) [18, 20]:

- 1) влажную, где в корневую систему поступает ограниченное количество воды, но здесь главную роль играет влаг проводимость почвы;
- 2) сухую, где водопроницаемость живых клеток стенки корня растения является ограничивающим фактором.

Приток влаги к корневой системе для первой и второй зоны соответственно:

$$Q_c = AK_B m_{кор} (\Phi_{nk} - \Phi_n), \quad (9)$$

$$Q_B = A^1 m_{кор} (\mu_K - \mu_{ПК}), \quad (10)$$

где A - коэффициент, учитывающий радиальность притока воды к корню и характер распределения влаги в почве, разницы между капиллярными

потенциалами почвы и на поверхности корней ($\Phi_{nk} - \Phi_n$), A^1 – коэффициент, характеризующий водопроницаемость тканей корня, определяется опытным путем; $\mu_{ПК}$ – химический потенциал поверхности корня; μ_K – химический потенциал влаги ксилемы; химический потенциал влаги ксилемы; $m_{кор}$ – масса корней в единице объема почвы.

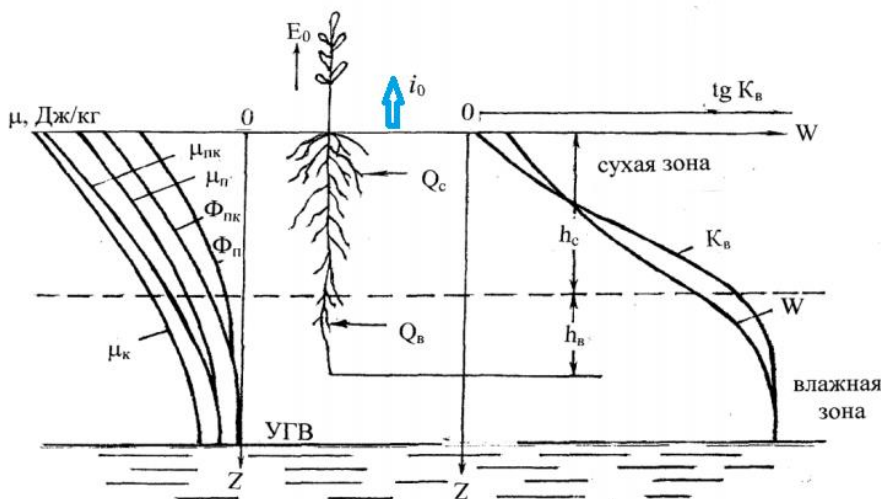


Рисунок 1 – Математическая модель прогнозирования влагопереноса в корнеобитаемом слое почвы.

Интегрирование выражений (9) и (10) с учётом распределения глубины корневой системы растений дает возможность вычислять коэффициент постоянной А:

$$A = \frac{E_0 - \int_{hc}^{hc+hb} A^1 m_{кор} (\mu_K - \mu_{ПК}) dz}{\int_0^{hc} K_B m_{кор} (\Phi_{ПК} - \Phi_{П}) dz}, \quad (11)$$

где E_0 – транспирация растений. Подставляя А из (11) в (10) при $(\Phi_{ПК} - \Phi_{П}) = const$,

$$Q_c = \frac{\left[E_0 - \int_{hc}^{hc+hb} A^1 m_{кор} (\mu_K - \mu_{ПК}) dz \right] K_B m_{кор}}{\int_0^{hc} K_B m_{кор} dz}, \quad (12)$$

Учитывая то, что во второй зоне поглощение влаги незначительно, то поглощение влаги на этой зоне можно пренебречь, тогда получим:

$$Q = \frac{E_0 K_B m_{кор}}{hc} \int_0^{hc} K_B m_{кор} dz \quad (13)$$

В уравнении (13) значение массы корней $m_{кор}$ определяется в относительных цифрах.

Таким образом, нами предлагается математическая модель, которая дает возможность при помощи ПК прогнозировать влаг обмен, который происходит в корнеобитаемом слое почвы. Применяя при этом различные программные продукты можно корректировать водный режим почвы и при необходимости планировать мероприятия по его регулированию.

При капельном орошении самый низкий коэффициент водопотребления был получен при влажности почвы 80 % НВ и среднем составил для сорта «Голден Делишес» - 197,2 м³/т, а для сорта «Корей» - 209,3 м³/т, для сорта «Айдоред» - 234,0 м³/т, а для сорта «Глостер» - 258,8 м³/т (табл. 1).

Таблица 1

Варианты	Годы Исследо- ваний	Суммарное Водопотреб- ление, м ³ /га	Урожай- Жайность т/га	Коэффициент водопотреб- ления, м ³ /т	Ороси- тельная норма, м ³ /га	Затраты ороситель- ной воды, м ³ /т
1	2	3	4	5	6	7
Голден Делишес						
Полив по Бороздам, 80 % НВ	2021	8102	22,9	353,8	6240	272,5
	2022	7387	26,1	283,0	4680	179,3
	2023	7437	23,8	312,5	5320	223,5
	Средний	7642	24,3	314,5	5413	227,8
Капельное Орошение, 70 % НВ	2021	6070	23,7	256,1	4180	176,4
	2022	6004	26,8	224,0	3300	123,1
	2023	5663	24,1	234,9	3520	146,0
	Средний	5912	24,9	237,4	3667	147,3
Капельное Орошение, 80 % НВ	2021	6214	28,9	215,0	4420	153,0
	2022	6255	35,0	178,7	3570	102,0
	2023	5993	29,7	201,8	3910	131,6
	Средний	6154	31,2	197,2	3967	127,1
Капельное Орошение, 90 % НВ	2021	6446	27,6	233,6	4680	169,6
	2022	6433	34,3	187,6	3720	108,5
	2023	6244	28,5	219,0	4200	147,4
	Средний	6378	30,1	204,5	4200	139,8

Таблица 1 – Коэффициент водопотребления яблони по вариантам за годы исследований

В ходе исследований Голден Делишес была определена эффективность затрат поливной воды на создание единицы продукции при капельном орошении и поливе по

бороздам. Как показывают полученные данные, эти показатели в основном зависят от разных факторов, в частности от возраста яблоневого сада, выбранного способа и режима орошения, а так же других причин.

Анализируя полученные данные табл.1 необходимо отметить, что для возделывания в расчете на одну тонну яблони при капельном орошении с нижним порогом влажности почвы 70, 80 и 90 % НВ расход оросительной воды изменяется в среднем от 127,1 до 197,2 м³/т. При бороздковом поливе в среднем он составил 227,8...305,8 м³/т в зависимости от года исследований и сорта яблони.

Сравнивая капельное орошение с бороздковым поливом при одинаковом предполивном пороге влажности почвы можно отметить, что затраты оросительной воды на 1 т яблони в среднем при контрольном варианте (полив по бороздам) на 100,1...139,1 м³/т больше, чем при капельном орошении.

По результатам исследований Голден Делишес получены графические зависимости урожайности яблоневого сада (У) от суммарного водопотребления, оросительной нормы, коэффициента водопотребления и затрат оросительной воды. Уравнения регрессии полученных зависимостей имеют вид (рис. 2 - 5):

$$y = 0,007x - 17,53; R^2 = 0,903; y = -0,073x + 4435; R^2 = 0,884;$$

$$y = -0,005x + 49,18; R^2 = 0,936; y = -0,114x + 44,1; R^2 = 0,901.$$

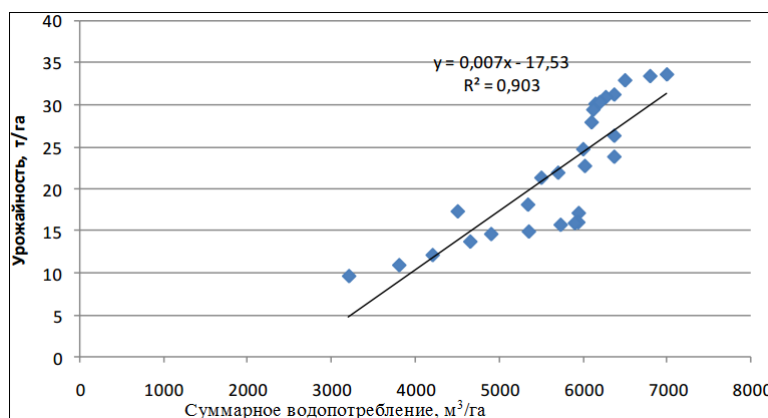


Рисунок 2 – График зависимости урожайности яблоневого сада от суммарного водопотребления

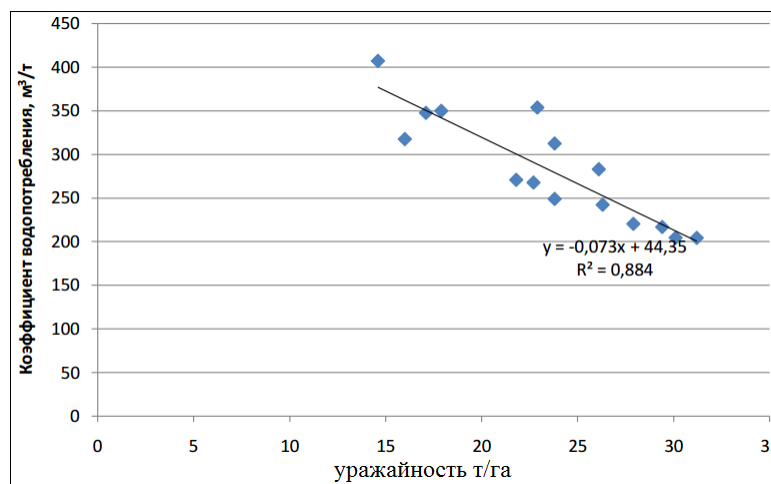


Рисунок 3 – График зависимости урожайности яблоневого сада от коэффициента водопотребления

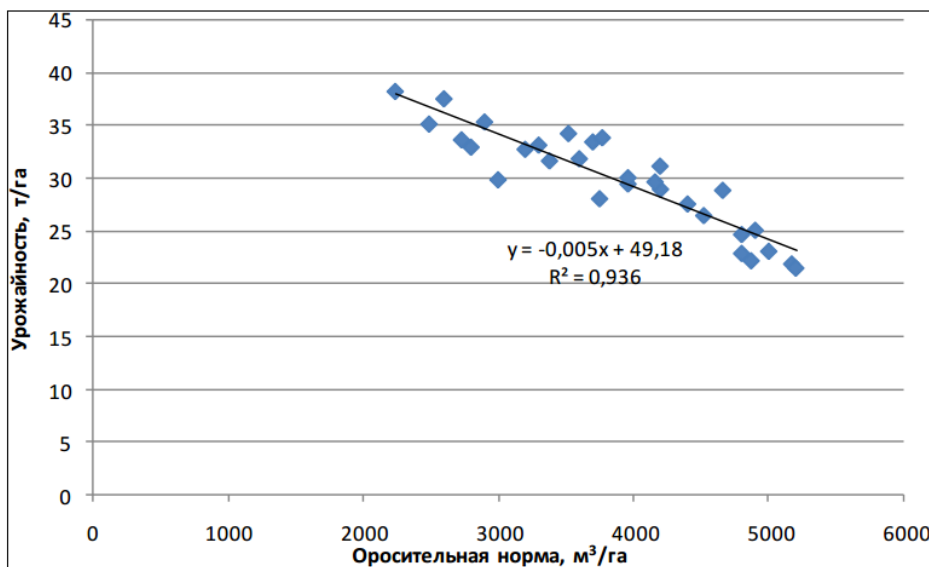


Рисунок 4 – График зависимости урожайности яблоневого сада от оросительной нормы

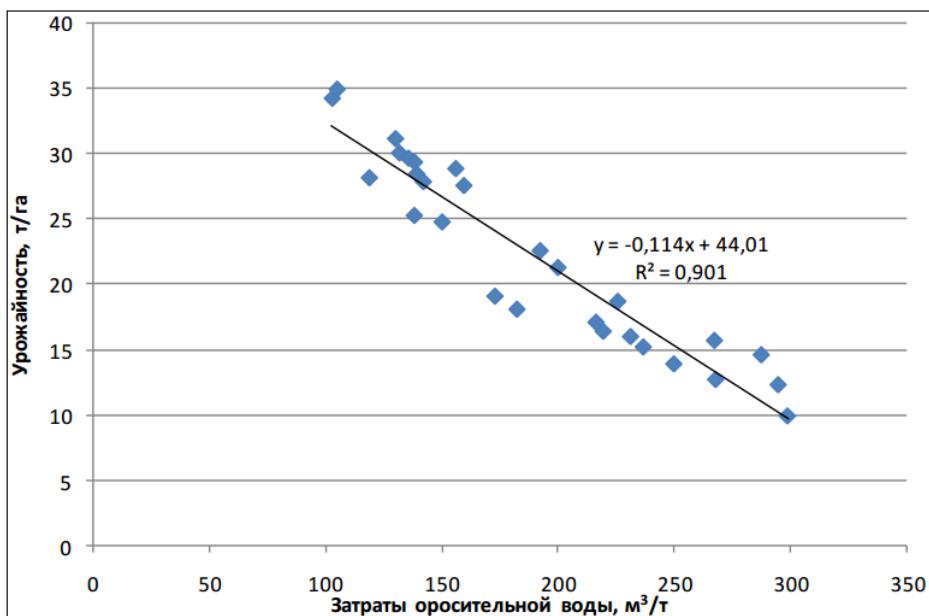


Рисунок 5 – График зависимости урожайности яблоневого сада от затрат оросительной воды

Из вышперечисленных уравнений видно, что корреляционная связь между ними является достаточно сильной, поскольку теоретические граничные значения значительно меньше, чем фактические значения коэффициентов корреляции, которые стремятся к единице, то есть:

$$R_{CB} = 0,903 > R_{0,5} = 0,7; R_{KB} = 0,884 > R_{0,5} = 0,7;$$

$$R_{OH} = 0,936 > R_{0,5} = 0,7; R_{30П} = 0,901 > R_{0,5} = 0,7.$$

Подводя итоги, мы приходим к выводу, что при капельном орошении с предполивом порогом влажности почвы на уровне 80 % НВ можно получить высокий урожай яблок при низком коэффициенте водопотребления. Этот вариант считается оптимальным при минимальной затрате оросительной воды на создание единицы продукции с поливной нормой 170 м³/га в данных почвенно-климатических условиях Волгоградской области. Сиростях областях.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Полученные данные показывают, что при капельном орошении у деревьев яблони развивается более мощная корневая система, чем при бороздковом поливе. Подводя итоги можно отметить, что капельное орошение способствует повышению урожайности плодовых насаждений на 30 – 40 %, происходит экономия оросительной воды на 35- 45 %, улучшается качество урожая, активизируется рост и развитие растений по сравнению с другими способами полива. Применение капельного орошения позволяет не только управлять режимом влажности в корнеобитаемом слое почвы, но и автоматизировать процесс полива.

На основании анализа использования водных ресурсов теоретически обоснована и разработана технология капельного полива яблоневого сада на темно-каштановых почвах серистых областях.

Установлены закономерности формирования контура увлажнения почвы с разными объемами вод подачи. Доказано, что при подаче воды 50 л/дерево увлажняемая зона корнеобитаемого слоя почвы с помощью одной капельницы составляет всего 4,9 % объема почвогрунта, отведённого растению. При увеличении подачи воды на дерево до 120 л, увеличивается обеспечивающее увлажнение до 29,2 % отведённого объема почвогрунта, то приводит к потере воды на глубинный сброс, т.е. на фильтрацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Ахмедов, А. Д. Контурсы увлажнения почвы при капельном орошении [Текст]/ А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского Агро университетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3. – С. 183-188.
2. Бородычева, В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур [Текст]/ В. В. Бородычева. – Волгоград, 2010. – 241 с.
3. Бочарникова, В. С. Новые приемы возделывания овощных культур в системе водосбергающего орошения [Текст]/ В. С. Бочарников, М. П. Мещеряков // Роль науки в инновационном развитии АПК: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения известного ученого, профессора А. П. Иофинова /Башкирский ГАУ. –Уфа, 2012. – 204 с.

4. Мелихова, Е. В. Моделирование и обоснование ресурсосберегающих параметров капельного орошения при возделывании корнеплодов [Текст]: монография / Е. В. Мелихова. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2017. – 112 с.
5. Овчинников, А. С. Применение ресурсосберегающих способов полива при возделывании сельскохозяйственных культур [Текст] / А. С. Овчинников, М. П. Мещеряков // Известия Нижневолжского Агро университетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2007. – № 1. – С. 46-49.
6. Уржумовой, Ю. С. Технологические и конструктивные элементы локального низконапорного орошения садов для условий южных черноземов Ростовской области [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Уржумовой Юлия Сергеевна. – Новочеркасск, 2004. – 147 с.
7. Ходяков, Е. А. Режим орошения сельских хозяйственных культур при капельном и внутрпочвенном способах полива [Текст]: монография / Е. А. Ходяков. – Волгоград: ВГСХА, 2002. – 143 с.
8. Храбров, М. Ю. Оценка способов малообъемного орошения [Текст] / М. Ю. Храбров // Вестник РАСХН. – 2007. – № 5. – С. 53-56.
9. Ясонида, О. Е. Капельное орошение [Текст]: монография / О. Е. Ясонида; НГМА. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.
10. Системы краплинного зрошення: навчальний посібник / М. Л. Ромащенко [и др.]; за ред. акад. УААН М. Л. Ромащенко. – Дніропетровськ: Оксамит-текст, 2007. – 175 с.
11. Ahmedov, A. D. Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii [Tekst] / A. D. Ahmedov, E. Yu. Galilean // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional 'noe obrazovanie. - 2012. - № 3. -P. 183-188.
12. Borodychev, V. V. Sovremennye texnologii kapel'nogo oroshenii ovoschnyh kul'turi [Tekst] / V. V. Borodychev. - Volgograd, 2010. - 241 p.
13. Bocharnikov, V. S. Novye preemie vzdelyvaniya ovoschnyh kul'turi v sisteme vodosberegayushego orosheniya [Tekst] / V. S. Bocharnikov, M. P. Mescheryakov // Rol' nauki v innovacionnom razvitii APK: materialy Vserossijskoj nauchno -prakticheskoy konferencii, posvyaschennoj 80-letiyu so dnya rozhdeniya izvestnogo uchenogo, Professora A. P. Iofinova /Bashkirskij GAU. - Ufa, 2012. - 204 p.
14. Melihova, E. V. Modelirovanie i obosnovanie resursosberegayuschih parametrov kapel'nogo orosheniya pri vzdelyvanii korneplodov [Tekst]: monografiya / E. V. Melihova. - Volgograd: FGBOU VO Volgogradskij GAU, 2017. - 112 p.
15. Ovchinnikov, A. S. Primenenie resursosberegayuschih sposobov poliva pri vzdelyvanii sell'skohozyajstvennyh kul'turi [Tekst] / A. S. Ovchinnikov, M. P. Mescheryakov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional 'noe obrazovanie. - 2007. -№ 1. - P. 46-49.
16. Urzhumova, Yu. S. Tehnologicheskie i konstruktivnye] lementy local'nogo nizkonapornogo orosheniya sadov dlya uslovij yuzhnyh chernozemov Rostovskoj oblasti

[Tekst]: dis. ... kand. Tehn. Nauka / Urzhumova Yuliya Sergeevna. - Novochoerkassk, 2004. - 147 p.

17. Hodyakov, E. A. Rezhim orosheniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur pri kapel'nom i vnutripochvennom sposobah poliva [Tekst]: monografiya / E. A. Hodyakov. - Volgograd: VGSXA, 2002. - 143 p.

18. Hrabrov, M. Yu. Ocenka sposobov maloob'emnogo orosheniya [Tekst]/ M. Yu. Hrabrov // Vestnik RASXN. - 2007. - № 5. - P. 53-56.

19. Yasonidi, O. E. Kapel'noe oroshenii [Tekst]: monografiya / O. E. Yasonidi; NGMA. - Novochoerkassk: Like, 2011. - 322 p.

20. Sistemi kraplinnogo zroshennya: navchal'nij posibnik / M. L. Romaschenko [i dr.]; za red. Akad. UAAN M. L. Romaschenko. - Dnipropetrovs'k: Oksamittekst, 2007. - 175 p.