

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ С УЧЕТОМ
ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ДРЕНАЖА
Икрамова М.Р.¹, Улугмуратов С.², Ахмедходжаева И.А.³**

¹Икрамова Малика Рахимбердиевна – доктор технических наук, профессор,
Научно-исследовательский Институт Ирригации и Водных Проблем, г. Ташкент,

²Улугмуратов Сулаймон - инженер,

Управление эксплуатации Южно-Мирзачулского магистрального канала, г. Джизак

³Ахмедходжаева Ифода Ахмеджановна - профессор,

Национальный исследовательский университет “ТИИИМСХ”, г. Ташкент,
Республика Узбекистан

Аннотация: в статье рассмотрено движение фильтрационного потока в зоне действия закрытого горизонтального дренажа. Известно, что в зоне аэрации почва более пористая и уплотнение почвы в зоне уменьшает скорость движения влаги в нижние горизонты почвенной толщи за счет увеличения плотности грунта. Исследовано изменение углов между кривой депрессии и радиальным потоком грунтовых вод в зависимости от толщины почвы. Установлено, что увеличением глубины почвы угол также увеличивается, причем в зоне действия системы дренажа интенсивность фильтрации выше, чем в зоне между дренами.

Ключевые слова: фильтрация, горизонтальный закрытый дренаж, зона аэрации, кривая депрессии, грунтовые воды.

**IMPROVEMENT OF THE DRIP IRRIGATION EFFICIENCY CONSIDERING SOIL
MOISTURE AT THE DRAIN ACTIVE AREA**

Ikramova M.R.¹, Ulugmuradov S.², Akhmedkhodjaeva I.A.³

¹Ikramova Malika Rakhimberdievna – DSc, professor,
SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF IRRIGATION AND WATER PROBLEMS, TASHKENT,

²Ulugmuradov Sulaymon - engineer,

SOUTH MIRZACHUL MAIN CANAL OPERATION DEPARTMENT, JIZZAK,

³Akhmedkhodjaeva Ifoda Akhmedjanovna - professor,
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "TIAMEI", TASHKENT,
REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Abstract: The article presents the filtration flow movement in the horizontal drainage action zone. It is known that in the aeration zone the soil is more porous and soil compaction reduces the moisture movement speed into the lower horizons of the soil due to an increase in soil density. The change in angles between the depression curve and the radial flow of groundwater depending on the soil thickness was studied. It has been established that with increasing soil depth, the angle also increases, and in the area of the drainage system the intensity of filtration is higher than in the area between the drains.

Keywords: filtration, horizontal closed drainage, aeration zone, depression curve, groundwater.

УДК 631.432.25

Введение. В странах, где орошаемое земледелие является одной из основных отраслей народного хозяйства, особенно острым становится вопрос орошения в условиях увеличивающегося дефицита воды. В настоящее время в мировой практике активно внедряются водосберегающие технологии полива, такие как капельное орошение, дождевание и другие техники, позволяющие экономить воду [1, 2]. Наибольшее распространение капельное орошение получило в Израиле (74%), в Испании (26%), Италии (14%), Тунисе (16%), Саудовской Аравии (17%), Южной Африке (15%) от общей площади от орошаемых земель. При этом лидерами по площадям, находящимся под капельным орошением являются США (1,2 млн га), Испания (0,9 млн га) и Индия (0,6 млн га)¹. В Узбекистане сегодня этот показатель достиг уже 1,26 млн гектар или 30% площадей общих орошаемых земель².

¹ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn----7sbhkqeeckrn9nna.xn--p1acf/kapelnyj-poliv-v>

² [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cabar.asia/ru/v-uzbekistane-vnedryayut-novye-tehnologii-poliva-selhozugodij>

По мере развития и увеличения масштабов использования водосберегающих технологий в засушливый период в качестве дополнительного источника воды применяется метод совместного орошения грунтовыми водами в местах, где уровень грунтовых вод высокий и есть возможность использовать их наряду с поверхностными водами для орошения [3, 4, 5]. Важным фактором для экономии воды является также использование грунтовых вод, уточнение нормы и сроков полива в зависимости от вида культуры и расстояния от горизонтального закрытого дренажа. При росте сельскохозяйственных культур необходимо обращать внимание на условия залегания грунтовых вод, наличие дренажных систем и механизм их работы. При орошении необходимо учесть параметры слоев почвы, качества воды, виды сельскохозяйственных культур и климатические условия региона.

Поэтому исследование совместного использования капельного орошения и грунтовых вод при поливе сельскохозяйственных культур является потенциальным решением при нехватке водных ресурсов [6, 7, 8]. В последнее время заслуживает внимания отдельные попытки расширить область применения эмпирического уравнения для решения задач, включающих колебания уровня грунтовой воды в зоне действия дренажных систем. Проводятся фундаментальные и прикладные исследования по установлению закономерности изменения структуры почвогрунтов с учетом доли участия грунтовых вод в водопотреблении сельскохозяйственных культур [9, 10, 11].

Методология. Полевые исследования проводились в 2020-2022 годах в Джиззакской области Республики Узбекистан, в Юго-Западной части Голодной степи на площади 20 га, засеянной хлопчатником. На поле проложен горизонтальный закрытый дренаж диаметром 150 мм. Грунт – среднесуглинистый, расстояние между дренами 180-200 м, вегетационный полив осуществляется 3-хкратно, норма полива 4500-5200 м³/сут. На опытном участке были установлены наблюдательные скважины глубиной до 5 м и на расстоянии от закрытого горизонтального дренажа 5 м и 100 м. Замеры уровней воды в наблюдательных скважинах проводились до и после вегетационных поливов.

Результаты полевых исследований были проанализированы, систематизированы и на их основе определен характер изменения кривой депрессии с учетом расстояния от дренажной системы. Установлены направления радиального фильтрационного потока в зоне действия дренажа: форма изменчивости кривой депрессии грунтовых вод, прогноз мелиоративного состояния земель в зоне аэрации, схемы различных конструкций и расположения дренажа.

Результаты. Согласно закону фильтрации грунтовых вод при условиях Дюпюи уравнение Буссинеска примет вид:

$$m \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(kh \frac{\partial h}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где: x – координаты точек кривой депрессии, t – время движения фильтрации между точками координат, h – глубина фильтрационного потока, m – коэффициент пористости грунта.

Уравнение характеризует изменение влажности почвогрунта и фильтрационного потока в зоне аэрации при неустановившемся движении грунтовых вод. Зарубежные авторы приняли, что скорость воды, движущейся от некоторой произвольной точки (x, y), находящейся на поверхности уровня грунтовой воды, по направлению к горизонтальной дрене, равна ϑ_1 [12], которая считается постоянной

на протяжении короткого промежутка времени, так что понижение уровня грунтовых вод на Δy ,

вызванное потоком в направлении дрены будет составлять $\vartheta_1 t \cos \theta_1$, где θ_1 – угол между линией тока и радиальным потоком:

$$\Delta y = \vartheta_1 t \cos \theta_1 \quad (2)$$

Уолкером было дано следующее выражение для скорости:

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 = \frac{K}{f} \quad (3)$$

Также, согласно закону Дарси, имеем:

$$\vartheta = - \frac{K}{f} \frac{\partial \varphi}{\partial l} \quad (4)$$

Где, K – коэффициент фильтрации; f – площадь фильтрационного потока в плане; φ – угол между кривой депрессии и нисходящим током; l – длина участка фильтрационного потока, м.

Тогда
$$\Delta y = \frac{2Kt}{f} \cos\theta. \quad (5)$$

При изучении параметров кривой депрессии, при неустановившемся движении грунтовых вод было учтено взаимодействие теплового и радиального потока, фазы развития корневой системы и роста сельскохозяйственных культур, уплотненность верхнего слоя почвенной толщи, интенсивность фильтрационного потока влаги в зоне действия дренажа. Параметры кривой депрессии при неустановившемся движении грунтовых вод приводятся ниже (Рис. 1). На схеме представлены изменения теплового потока от толщи почвогрунтов, где уплотненный слой меняется в следующих пределах $f = 0 < 1$.

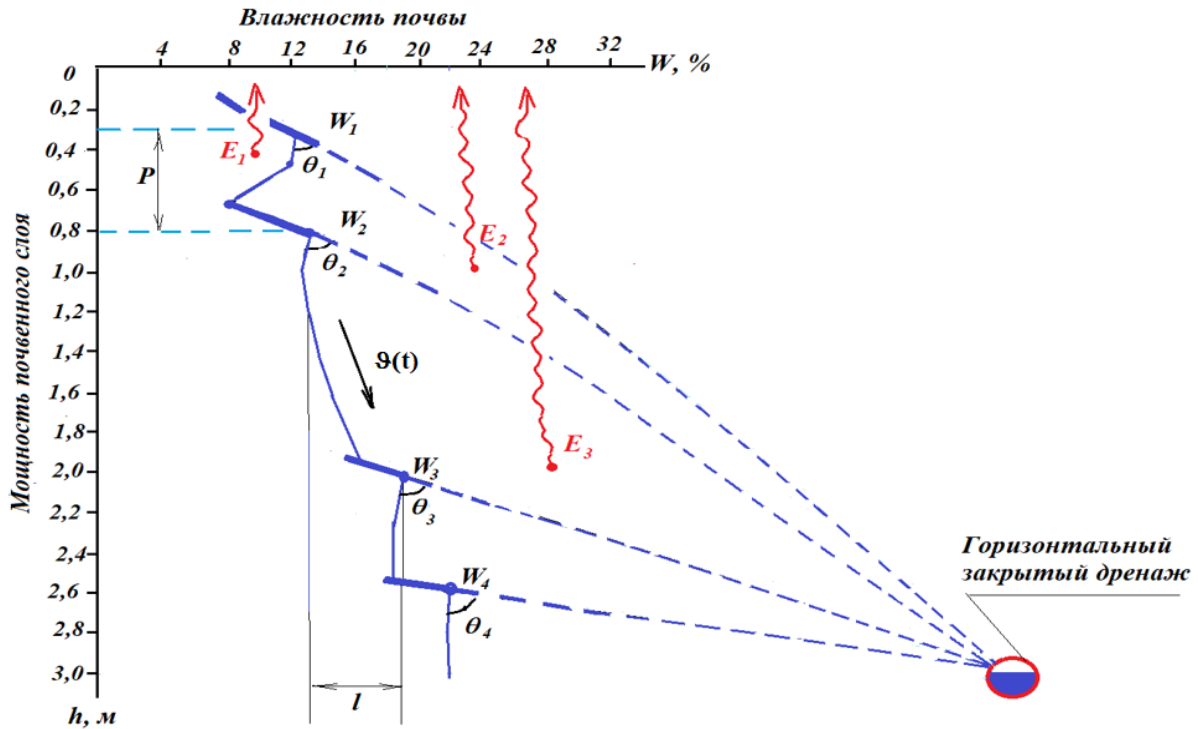


Рис. 1. Схема изменения влажности почвогрунтов в зоне действия дренажа.

При этом, E – суммарное испарение (тепловой поток), которое было измерено на глубинах 0,5 м, 1,0 м и 2,0 м. Причем от слоя к слою величина испарения уменьшается $E_1 > E_2 > E_3$, и ниже 2,0 м испарение не наблюдается. Угол выклинивания кривой депрессии изменяется в следующей последовательности $\theta_1 > \theta_2$, соответственно влажность грунта уменьшается - $W_2 < W_3$, P – толщина уплотненного грунта. Скорость движения фильтрационного потока в координатах кривой депрессии $\vartheta(t)$ приближается к скорости движения радиального потока. В зависимости от фазы развития сельскохозяйственных культур оптимальная интенсивность понижения грунтовых вод $\Delta y/t$ известна и представлена с учетом характера движения радиального потока в зоне действия дренажа $f(x, y, z)$. На Рис. 2 показана схема изменения кривой депрессии на расстоянии 200 м между дренажными трубами и указаны углы θ в характерных точках кривой, где $W_1 > W_0$.

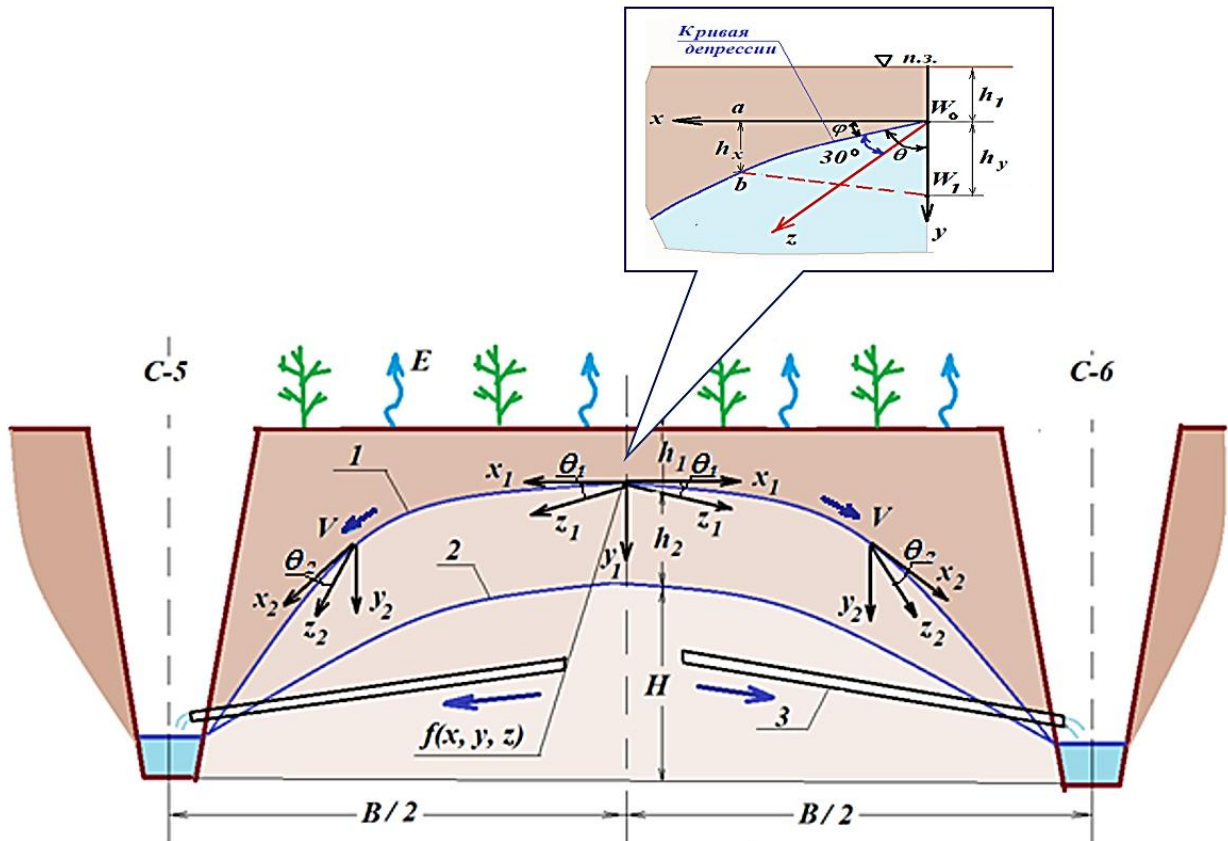


Рис. 2. Характер изменения параметров кривой депрессии в зоне действия дренажа: 1- линия кривой депрессии после полива; 2- линия кривой депрессии перед поливом; 3- закрытый горизонтальный дренаж.

Из рисунка видно, что на глубине h_1 в точке соприкосновения влажность почвы W_0 кривой депрессии меньше, чем на глубине h_1+h_y , при влажности W_1 . Например, от точки W_0 до точки «а» с углом ϕ составляет глубину h_x в точке «б» между кривой депрессии. Тогда получим при влажности W_1 с глубиной h_y с углом θ до точки «в» на расстоянии «в»- W_1 . Параметры кривой депрессии при движении почвенного раствора от оси W_0 - W_1 и W_0 - «а» выглядит в следующем виде, где: $W_1 > W_0$

$$\frac{h_x}{W_0 - "a"} = \operatorname{tg} \phi \quad \operatorname{tg} \phi + \operatorname{tg} \theta = 90^\circ$$

$$\frac{"b" \cdot W_0}{h_y} = \operatorname{tg} \theta \quad \text{тогда} \quad \operatorname{tg} \phi = 90^\circ - \operatorname{tg} \theta \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \theta = 90^\circ - \operatorname{tg} \phi$$

Если $\operatorname{tg} \phi \leq 30^\circ$, то получится значение угла между точками b, W_0, Z составляет $\leq 30^\circ$, так как радиальный поток почвенного раствора движется по направлению W_0, Z . Ниже представлен график изменения значения углов θ между направлением радиального потока и кривой депрессии в зависимости от глубины и расстояния до дрен.

Рассмотрен залегающий уровень грунтовых вод с одинаковым расстоянием между горизонтальным дренажом, находящимся в однородной почве. Уравнение неразрывности, основанное на допущениях Дюпюи, может быть написано в соответствии с уравнением теплового потока:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = \frac{f}{KD} \cdot \frac{\partial z}{\partial t} \quad (7)$$

В следующей формуле показано изменение кривой депрессии грунтового потока в течение времени:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{KD}{m} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (8)$$

Здесь m - пористость грунта, значение коэффициента пористости увеличивается пропорционально величине глубины толщи почвогрунта. D - средняя толщина водоносного слоя. Гловер определил значение D в следующей форме:

$$D = d + \frac{y_0}{2}, \quad \text{где возможно } d=0.$$

На рис. 3 представлены графики изменения угла между кривой депрессии и радиальным потоком грунтовых вод в зависимости от толщины почвы.

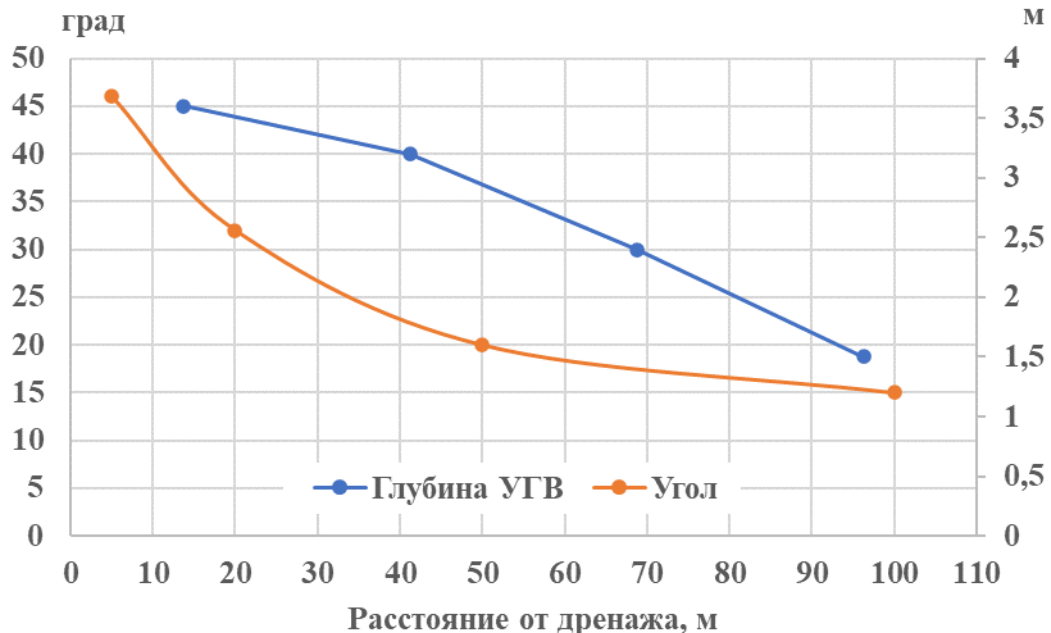


Рис. 3. Изменение угла и глубины почвогрунтов в зависимости от расстояния от дренажа.

Из рисунка видно, что с увеличением глубины почвогрунтов значение угла θ увеличивается.

Максимальные показатели влажности почвы наблюдаются на небольшом расстоянии от дренажа 15-20 м при глубине в диапазоне от 3,5 до 4 м. Минимальные значения наблюдаются на расстоянии 100 м от дренажа, при глубине 1,5 м.

Выводы. При неустановившемся движении грунтовых вод на орошаемых землях решение уравнения Буссинеска целесообразно изучить с участием теплового потока и радиального движения грунтовых вод в зоне действия дренажа. Установлено, что в верхних слоях почвы кривая депрессии имеет меньшую кривизну чем в более глубоких слоях почвы, уплотнение почвы в зоне аэрации на глубине 0,4÷0,8 м уменьшает движение почвенной влаги в нижние горизонты почвенной толщи за счет увеличения плотности грунта. Интенсивность фильтрации в зоне действия горизонтальных дренажных систем выше, чем между дренами. Полученные результаты позволяют оценить влияние дренажных систем на процесс фильтрации и количество влаги в грунте в зависимости от расстояния до дренажа, что позволит уточнить нормы полива растений в зависимости от первоначальной влагозарядки почвы.

Список литературы / References

1. *Leng G., Huang M., Tang O.* Modeling the Effects of Groundwater-Fed Irrigation on Terrestrial Hydrology over the Conterminous United States. *Hydrometeorology*. Volume 15: Issue 3. 01 June 2014.
2. *Lopez J., Winter J., Elliott J.* et al. Sustainable Use of Groundwater May Dramatically Reduce Irrigated Production of Maize, Soybean, and Wheat. *Earth's Future*, Vol. 10, Issue 1, January 2022, e2021EF002018.
3. *Wang Sh., Zhang Z., Wei S., et al.* Seasonal recharge mechanism of the upper shallow groundwater in a long-term wastewater leakage and irrigation region of a river alluvium aquifer. *Hydrology and Earth System Sciences*. 31 January 2023.
4. *Tulip B., et al.* The impact of irrigation return flow on seasonal groundwater recharge in northwestern Bangladesh. *Agricultural Water Management*, Volume 266, 31 May 2022, 107593.
5. *Налойченко А.О., Атаканов А.Ж.* Применение подпочвенного орошения на фоне осушительно-увлажнительного горизонтального дренажа. (субирригация). Монография. 2009 г. 261 с.

6. *Ахмеджанов Г.* Поливной режим хлопчатника при близком уровне грунтовых вод // Хлопководство. - 1987. - № 5. - С. 41-43.
7. *Хамидов М., Исаев С., Бараев Ф.А., Мурадов Р.А.* Субирригация – действенный прием повышения эффективности использования оросительной воды на поливных участках. Материалы конференции «Современные средства и технологии в сельскохозяйственном производстве», Выпуск № 4(60)/2015. С.135-142
8. *Полубаринова-Кочина П.Я.* Теория движения грунтовых вод. Гостехтеориздат. Москва, 1952.
9. *Шестаков В.М.* Теоретические основы оценки подпора, водопонижение и дренажа. Москва. 1965.
10. *Махмудов И. и др.* Развитие теории и методов определения депрессионной кривой при неустановившихся безнапорных фильтрационных течениях. Журнал «Ўзбекистон кишлок ва сув хўжалиги». Ташкент, №8, 2020 г.
11. *Кенесарин Н.А.* Формирование режима грунтовых вод орошаемых районов. Ташкент 1959 г.
12. *Walker W.R.* 1989. Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 45, FAO, Rome.