

А.А. ТЕРИПИГОРЕВ¹, М.С. ЗВЕРЬКОВ^{1,2}, А.В. ГРУШИН¹, С.А. ГЖИБОВСКИЙ¹¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация²Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экологии и строительства», г. Коломна, Российская Федерация

МИКРОДОЖДЕВАНИЕ: ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ИНФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ В ПОЧВУ

Цель данной работы заключалась в том, чтобы обосновать теоретический подход расчета кривой инфильтрации дождя в почву при выдаче дождевальной нормы для восполнения дефицита влажности. Рассмотрены особенности технологии микродождевания. проведен численный эксперимент исследования процесса инфильтрации воды в почву слабой проницаемости с коэффициентом фильтрации 0,04 мм/мин, проанализированы расчетные зависимости: А.Н. Костякова, R.E. Horton, Е.Г. Попова для определения скорости впитывания воды; статистически достоверно доказано (эмпирические g -критерии знаков находятся в диапазоне 0,027...0,395 при уровне значимости $p = 0,01$), что инфильтрационные возможности почвы до возникновения стока в моделях Е.Г. Попова и R.E. Horton будут исчерпаны раньше, чем по модели А.Н. Костякова. для условий микродождевания показано удобство применения зависимости Е.Г. Попова.

Микродождевание, орошение, инфильтрация, поливные нормы, дефицит влажности почвы, почва, водопроницаемость, скорость впитывания.

Введение. Мировая практика показывает, что в условиях все более возрастающего дефицита водных ресурсов высокая эффективность производства продукции растениеводства при орошении может быть достигнута только при переходе на водосберегающие комплексные технологии локального малоинтенсивного орошения, отвечающего требованиям «точного», «устойчивого» земледелия. К таким ресурсосберегающим технологиям относят микроорошение, включающее капельное, локально-импульсное орошение и микродождевание.

Технология последнего характеризуется низкоинтенсивной, непрерывной или прерывистой подачей оросительной воды и растворенных в ней элементов питания на орошаемую площадь. При обычном дождевании интенсивность искусственных осадков не должна превышать на тяжелых по гранулометрическому составу почвах 0,1...0,15 мм/мин., на средних – 0,1...0,2 мм/мин и на легких – 0,5...0,8 мм/мин [1].

Значение величин характеристик формируемого дождя при микродождевании находятся между нижними экологически допустимыми значениями обычного дождевания и верхними значениями формируемого дождя при мелкодисперсном (аэрозольном) дождевании: интенсивность

дождя – 0,016...0,1 мм/мин, диаметр формируемых капель $1 \pm 0,5$ мм. Параметры микродождевания определяют универсальность его экологически безопасного применения при выдаче разовых дождевальных норм на почвах слабой и пониженной водопроницаемости и при поддержании влагозапасов в почве на оптимальном уровне подачей разовых норм в объемах суточной эвапотранспирации.

Созданный запас влаги в почве при обычном дождевании расходуется на испарение с поверхности поля и на эвапотранспирацию растениями в течение межполивного периода, к которому обычно влажность корнеобитаемой зоны почвы снижается до недостаточного уровня, вызывая стрессовое состояние растений и снижение их урожайности [2, 3]. При микродождевании, основное назначение которого также заключается в поддержании оптимальной влажности в расчетном слое почвы (в среднем 0...60 см), орошение может начинаться при предполивной влажности, отличающейся от общепринятой при обычном дождевании.

Известно, что овощные и зеленые культуры наиболее требовательны к такому режиму орошения, который соответствует суточному ходу их водопотребления. Поэтому при микродождевании поливы проводят небольшими нормами, но более часто, чем

при обычном дождевании. Межполивные промежутки зависят от величины поданной поливной нормы и колеблются от одних до нескольких суток в зависимости от сложившихся погодных условий. Так, например, если нормы вегетационных поливов t овощных культур определяются местными условиями и не превышают, как правило, 250...300 м³/га, то при микродождевании t рассчитывают по нормам суточной эвапотранспирации, которая составляет в среднем от 10 до 100 м³/га. Причем сроки между поливами при обычном дождевании могут существенно отличаться. Так, например, для Московской области и среднесухого года режим орошения овощей включает в среднем 3...5 поливов. В целом сроки между поливами зависят главным образом от климатической зоны, гранулометрического состава и дефицита влажности (до наименьшей влагоемкости) почв орошаемого участка, поливной нормы и вида сельскохозяйственной культуры.

Современные агроэкологические, эксплуатационные и энергетические требования к технике полива определяют актуальность данной работы. Микродождевание обеспечивает, с одной стороны, снижение механического воздействия на почву при создании и поддержании в ней на оптимальном уровне влагозапасов, а с другой – необходимые микроклиматические параметры орошаемого поля. Верхняя граница диапазона варьирования среднего диаметра капель дождя при микродождевании не должна превышать 1...1,5 мм, что сопоставимо с короткоструйными насадками и дождевальными аппаратами, параметры дождя которых приведены, например, в [4]. Особенно важно теоретическое обоснование микродождевания, согласно которому энергетические параметры дождя (низкая интенсивность, спектр осадков) и малые нормы полива определяют возможность формирования увлажненного слоя почвы в пределах корнеобитаемой зоны путем сокращения возможных рисков на сток и эрозию. Последние особенно часто проявляются при обычном дождевании.

Однако технологам необходимо знать продолжительность t выдачи поливной нормы t для создания запасов влаги в нужном объеме без образования стока и эрозии на поверхности почвы. Выдача достоковой нормы определяется процессом инфильтрации воды в почву. Традиционный подход предполагает использование формул напорной инфильтрации с дополнительными

показателями. Широкое распространение в мелиоративной практике получила зависимости, предложенные А.Н. Костяковым, Г.А. Алексеевым [5], Е.Г. Поповым [6, 7], В.Я. Григорьевым [8], R.E. Horton [9, 10], Green-Ampt [10, 11], J.R. Philip [10-12], Kostiakov-Lewis [10], модифицированное уравнение А.Н. Костякова [10] и др.

Цель данной работы заключалась в том, чтобы обосновать теоретический подход расчета кривой инфильтрации дождя в почву при выдаче достоковой поливной нормы для восполнения дефицита ее влажности.

Материалы и методы исследований.

Особый научный и практический интерес представляет сопоставление теоретических и опытных данных впитывания воды в почву при микродождевании. M. A.N. Santos и др. [13] сопоставляли модели Kostiakov-Lewis, R.E. Horton и J.R. Philip. По данным [13] уравнение R.E. Horton наиболее адекватно соответствовало опытным данным инфильтрации. S. Mirzaee и др. [14] сопоставляли данные уравнений А.Н. Костяковым (также модифицированное) и R.E. Horton. По данным авторов [14] наиболее высокую связь с опытными данными для различных почв показало модифицированное уравнение А.Н. Костякова.

В России наибольшее распространение для описания процесса безнапорного впитывания получила зависимость А.Н. Костякова. Авторы предлагают применять ее с различными модификациями [15-17]. В [17] рассмотрена модификация зависимости А.Н. Костякова, справедливая при отсутствии напора воды на поверхности почвы:

$$k_t = k_0 t^{-a} + k_f \quad (1)$$

где k_t – скорость впитывания воды в почву (мм/мин) за время t , мин; k_0 – скорость впитывания воды в почву в первую единицу времени, мм/мин; k_f – установившаяся скорость впитывания в этой и других формулах (принята равной коэффициенту фильтрации воды в почву для обоснования величины этого показателя в численном эксперименте), мм/мин; a – показатель степени, изменяющийся в пределах 0,2...0,8 в зависимости от гранулометрического состава и влажности почв.

Также получили распространение экспоненциальные зависимости. R.E. Horton предложил следующее уравнение [10]:

$$k_t = (k_0 - k_f)e^{-gt} + k_f \quad (2)$$

где g – коэффициент аппроксимации, зависящий от типа почв, изменяется в широком диапазоне, мин⁻¹; e – основание натурального логарифма.

Формула Е.Г. Попова [6] для условий микродождевания может быть записана в следующем виде:

$$k_t = (i - k_f)e^{-it/m} + k_f, \quad (3)$$

где i – интенсивность дождевания, мм/мин; m – поливная норма (дефицит влажности), мм.

В рамках данной работы проведен численный эксперимент по сопоставлению результатов расчета скорости инфильтрации воды в почву по зависимостям (1) – (3). В качестве граничных условий приняты: интенсивность дождевания $i = 0,1$ мм/мин, поливная норма m для модельного эксперимента, которая составила 15, 30, 45 и 55 мм. Почвы по гранулометрическому составу представляют собой суглинки с коэффициентом фильтрации $k_f = 0,04$ мм/мин. Коэффициенты a и k в формулах (1) и (3) соответственно подбирались по результатам установления начальной скорости впитывания k_0 воды в почву, которая определялась по формуле (2) после 1 мин дождевания. В качестве критерия сопоставления был выбран коэффициент корреляции с опытными данными при обычном дождевании с интенсивностью 0,1 мм/мин. Средний диаметр капель дождя принят равным 1 мм. Эрозионно допустимая поливная норма $m_{\text{ЭДПН}}$ определена по зависимости Н.С. Ерхова:

$$m_{\text{ЭДПН}} = k_v / [(i^{1/2} e^{0.5d})],$$

где k_v – показатель, характеризующий впитывающую способность почвы, может быть определен, например, по [4], для условий исследования принята средняя впитывающая способность 30 мм; e – экспонента; d – диаметр капель, мм.

Расчеты и обработка данных проводилась в электронных таблицах MicrosoftOfficeExcel (ver. 16.10 Build 180124 (2018)). Принятый уровень статистической значимости $p = 0,05$. Проверка принадлежности генеральных совокупностей выборок нормальному распределению проводилась по критерию c^2 . Взаимосвязь выборок проверялась с помощью парного коэффициента корреляции r . Сравнение выборок проводилось с помощью непараметрического статистического показателя G -критерия знаков.

Результаты и обсуждение. В результате расчета по формулам (1)–(3) при определенных выше граничных условиях получены графики кривых впитывания. На рисунке 1 показаны кривые инфильтрации при поливной норме 15 мм ($m_{\text{ЭДПН}} = 57,5$ мм).

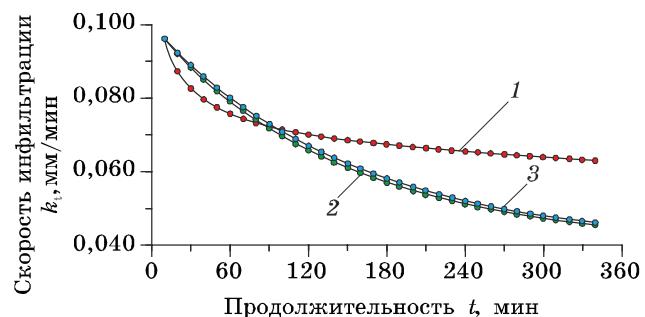


Рис. 1. Кривые инфильтрации дождевой воды в почву при дефиците влажности 15 мм:
1 – по А.Н. Костякову; 2 – по R.E. Horton;
3 – по Е.Г. Попову

В результате расчета установлены показатель степени в формуле А.Н. Костякова (1) $a = 0,25$ и коэффициент аппроксимации в формуле R.E. Horton (2) $g = 0,007$.

Начальная скорость впитывания k_0 во всех зависимостях (1)–(3) соответствовала интенсивности дождя i . Формулы (1) и (2) соответственно могут быть переписаны в виде:

$$k_t = it^{-a} + k_f; \quad (1^*)$$

$$k_t = (i - k_f)e^{-gt} + k_f, \quad (2^*)$$

Необходимо отметить, что технология дождевания предполагает, что интенсивность дождя i и скорость инфильтрации k_t влаги в почву должны совпадать, чтобы предотвратить появление поверхностного стока и снизить эродирующее воздействие капель. В действительности же совпадение i и k_t происходит в начальный непродолжительный промежуток времени (по сравнению с временем выдачи всей поливной нормы). Однако если интенсивность дождя постоянная (непрерывное дождевание), то скорость инфильтрации постоянно снижается (рис. 2). Такая редукция учитывается путем введения в зависимости (1^{*}) и (2^{*}) соответственно показателя степени a и коэффициента аппроксимации g , а в (2^{*}) и (3) учитываются физические показатели особенности процесса впитывания с помощью поправки $(i - k_f)$. В формуле Е.Г. Попова показатель степени it/m представляет собой соотношение подаваемого слоя осадков на почву и поливной нормы.

Таким образом, анализ формул (1)–(3) показывает, что все они соответствуют процессу, при котором отсутствует поверхностный

сток, то есть происходит безнапорное впитывание. Все формулы имеют вид:

$$k_t = f(t_n) + k_f,$$

где $f(t_n)$ – слагаемое уравнений впитывания на промежутке времени от 0 до t_n (времени наступления установившейся скорости инфильтрации), то есть:

$$\lim f(t_n) \rightarrow \approx 0.$$

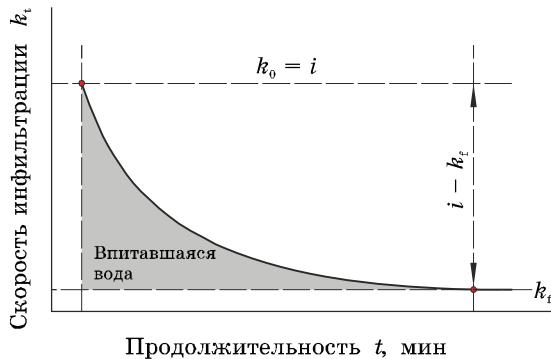


Рис. 2. Изменение ординат кривой впитывания во времени

Расчеты показали, что время наступления установившейся скорости впитывания во всех формулах разное. Для сравнения данных проведен статистический анализ, который выявил следующее.

Проверка гипотезы о нормальности распределения данных дала отрицательные результаты: во всех выборках критерий Пирсона расчетных данных $\Sigma(\chi_{\text{набл}})^2$ больше критического значения $\chi^2 = 18,31 (p=0,5)$. Например, в условиях дефицита влажности 15 мм выборка по уравнению (1) А.Н. Костякова критерий Пирсона равен $\Sigma(\chi_{\text{набл}})^2 = 100,46$, по (2) R.E. Horton – $\Sigma(\chi_{\text{набл}})^2 = 70,67$, по (3) Е.Г. Попова – $\Sigma(\chi_{\text{набл}})^2 = 60,42$.

Коэффициенты парной корреляции выборок скоростей инфильтрации воды в почву между результатами расчетов по уравнению (1) А.Н. Костякова и (2) R.E. Horton составляют $r_{1,2} \in [0,939; 0,954]$, (1) А.Н. Костякова и (3) Е.Г. Попова $r_{1,3} \in (0,916 \dots 0,951)$, (2) R.E. Horton и (3) Е.Г. Попова $r_{2,3} \in (0,995 \dots 1,0)$. Все выборки принадлежат одному виду распределения.

Поскольку генеральные совокупности скоростей впитывания не являются нормальным распределением и выборки имеют сильную прямую корреляционную связь, то для их сравнения неприменим t -критерий Стьюдента. Поэтому для их сравнения использовался непараметрический G -критерий

знаков (T -критерий Вилкоксона также не применим, так как значения сдвигов сравниваемых выборок $< 10 \dots 15\%$ от k_t и число элементов выборок > 30).

Наиболее высокие значения скоростей впитывания k_t на одной и той же верхней границе вмененного интервала дают расчеты по зависимости (1) А.Н. Костякова, наиболее близкие и низкие – по (2) и (3). Это согласуется с результатами расчета G -критерия знаков. При анализе тенденций изменения величин скоростей впитывания k_t установлено, что статистически достоверным являются типичные отрицательные сдвиги k_t , полученные по формуле (1) в сравнении с (2) и (3) при эмпирических критериях $G \in [0,027; 0,395]$ (для дефицитов влажности $m = 15 \dots 55$ мм, при критических значениях $G_{\text{крит}} = 9 \dots 50$ и уровне значимости $p = 0,01$). Это означает, что инфильтрационные возможности почвы до возникновения стока в моделях Е.Г. Попова и R.E. Horton будут исчерпаны раньше, чем по модели А.Н. Костякова. То есть расчеты по зависимостям (2) и (3) имеют более «жесткие», по сравнению с (1), граничные условия (прежде всего продолжительность выдачи поливной нормы без стока для покрытия дефицита влажности почвы).

Кроме того, формулы А.Н. Костякова и R.E. Horton требуют проведения полевых исследований для установления показателя степени a и коэффициентов аппроксимации g , что повышает трудозатраты при проведении мелиоративных работ.

Указанных недостатков в целом лишена формула Е.Г. Попова (3). Кроме того, зависимость (3) предполагает возможность ее использования непосредственно без проведения трудоемких почвенно-мелиоративных изысканий.

На рисунке 3 приведено семейство кривых впитывания, полученных по формуле (3) для интенсивности дождевания $i = 0,1$ мм/мин, при дефиците влажности до наименьшей влагоемкости при поливных нормах $m = 15, 30, 45$ и 55 мм, коэффициент фильтрации суглинков $k_f = 0,04$ мм/мин.

Корреляционный анализ средних значений скоростей впитывания по модели Е.Г. Попова от дефицита влажности выявил отрицательную средней силы корреляционную связь ($r_{3,i} = -0,611$). Аналогичный анализ m и k_t для зависимостей (1) и (2) выявил сильную отрицательную корреляционную связь ($r_{1,i} = -0,958$ и $r_{2,i} = -0,999$ соответственно). Такая разница обусловлена, вероятно, тем, что

поливная норма (дефицит влажности) является одним из элементов модели Е.Г. Попова (каждый элемент влияет на результат с определенным весовым коэффициентом).

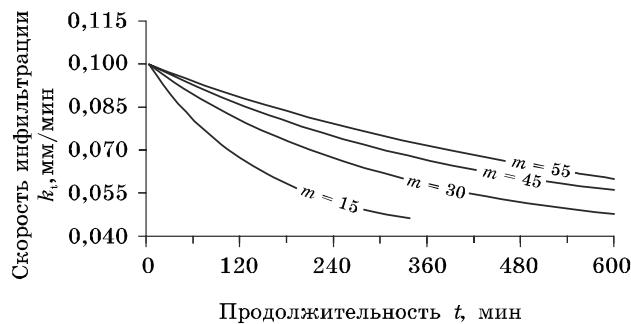


Рис. 3. Семейство кривых впитывания дождя по зависимости Е.Г. Попова при выдаче эрозионно допустимых поливных норм для покрытия дефицитов m влажности почвы

Выводы

В результате численного эксперимента установлено, что наиболее физически обоснованной является зависимость Е.Г. Попова. Кроме того, формула (3) предполагает возможность ее непосредственно использования без проведения полевых исследований впитывания дождя при дефиците влажности почвы, что повышает скорость и снижает трудоемкость проектных работ при предварительных расчетах. В формулу входят составляющие технологию микродождевания параметры интенсивности дождя, поливной нормы и времени ее выдачи.

Библиографический список

1. Лебедев Б.М. Дождевальные машины. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 244 с.
2. Лебедев Г.В. Импульсное дождевание и водный обмен растений. – М.: Наука, 1969. – 279 с.
3. Сидорова М.А. Влияние норм и интенсивности полива на распределение влаги в дерново-подзолистой суглинистой почве (модельный опыт). // Почвоведение. – 1980. – № 12. – С. 66-71.
4. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справочник. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.
5. Алексеев Г.А. Динамика инфильтрации дождевой воды в почву. // Труды ГГИ. – 1948. – Вып. 6/60. – С. 43-72.

6. Попов Е.Г. О приближенном расчете интенсивности промачивания воды в почву. // Метеорология и гидрология. – 1952. – № 2. – С. 8-13.

7. Гордон С.М., Бережнова В.Н. К вопросу о впитывании воды в почву при дождевании. / Новое в технике и технологии полива: сб. науч. трудов ВНИИМиП. Т. VIII. – Коломна: 1975. – С. 226-239.

8. Григорьев В.Я., Краснов С.Ф., Маккавеев Н.И. Интенсивность склонового стока в начальной стадии его формирования. // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. – 1983. – № 1. – С. 167-189.

9. Horton R.E. 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration – capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 5:399-417.

10. Thais E.M. dos Santos et al. Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems//R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 20, n. 6, p. 513-518, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agrabi.v20n6p513-518>.

11. Rostami A. et.al. Investigation of infiltration in center pivot irrigation system // Journal of Applied Hydrology. 1 (1) (2014) 33-43.

12. Philip J.R. 1964. An infiltration equation with physical significance. Soil Sci. 77:153-157.

13. Santos M.A.N.; Panachuki E.; Alves Sobrinho T.; Oliveira P.T.S.; Rodrigues D.B.B. Water infiltration in na Ultisol after cultivation of common bean. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.38, p. 1612-1620, 2014.

14. Mirzaee S.; Zolfaghari A.A.; Gorji M.; Dyck M.; Ghorbani Dashtaki S. Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes. Archives of Agronomy and Soil Science, v.60, p. 681-693, 2014.

15. Кузнецов М.С., Григорьев В.Я., Хан К.Ю. Ирригационная эрозия почв и ее предупреждение при поливах дождеванием. – М.: Наука, АН СССР, 1990. – 120 с.

16. Михеев Н.В., Шервашидзе М.Р. Расчет скорости впитывания воды в почву. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 4. – С. 27-29.

17. Голованов А.И., Корнеев И.В. Впитывание воды в почву из инфильтрометра с одиночным кольцом: теория и результаты. / Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России: сб. научн. тр. межд. научн.-прак. конф.: Ч. 2. – М.: МГУП, 2005. – С. 17-22.

Материал поступил в редакцию 07.05.2019 г.

Сведения об авторах

Терпигорев Анатолий Анатольевич, кандидат технических наук; заведующий отделом; ФГБНУ ВНИИ «Радуга»; 140483 Московская обл., Коломенский городской округ, пос. Радужный, д. 38.

Зверьков Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, ученый секретарь, старший научный сотрудник; ФГБНУ ВНИИ «Радуга»; 140483, Московская область, Коломенский городской округ, пос.

Радужный, д. 38; ООО «Научно-исследовательский центр экологии и строительства»; 140491, Московская область, Коломенский городской округ, с. Сергиевское, ул. Новая, д. 21; e-mail: mzverkov@bk.ru

Грушин Алексей Владимирович, старший научный сотрудник; ФГБНУ ВНИИ «Радуга»; 140483 Московская обл., Коломенский городской округ, пос. Радужный, д. 38.

Гжибовский Сергей Александрович, старший научный сотрудник; ФГБНУ ВНИИ «Радуга»; 140483 Московская обл., Коломенский городской округ, пос. Радужный, д. 38.

A.A. TERPIGOREV¹, M.S. ZVERKOV^{1,2}, A.V. GRUSHIN¹, S.A. GZHIBOVSKIJ¹

¹ Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga», Kolomna, Russian Federation

² Limited liability company «Scientific-research center of environmental engineering and construction», Kolomna, Russian Federation

MICRO SPRINKLING: TECHNOLOGY FEATURES AND NUMERICAL EXPERIMENT OF WATER INFILTRATION INTO THE SOIL

The purpose of this work was to justify a theoretical approach of the curve calculation of rain infiltration into the soil for filling a moisture deficit before the runoff irrigation norm. Technology features of micro sprinkling were considered, a numerical experiment of the research process of water infiltration into the soil of low permeability was performed with a filtration coefficient 0.04 mm/min., there were analyzed the rated dependencies: of A.N. Kostyakov, R.E. Horton, E.G. Popov for determination of the speed of water absorption; it was statistically proved (empirical G-criteria of signs were in the range 0.027...0.395 at the significance level $p = 0.01$) that infiltration soil capabilities before water runoff in the models of E.G. Popov and R.E. Horton will be exhausted earlier than in the model of A.N. Kostyakov, for the conditions of micro sprinkling there was shown the ease of using E.G. Popov's dependence.

Micro sprinkling, irrigation, infiltration, irrigation norms, deficit of soil moisture, soil, water permeability, rate of absorption.

References

1. **Lebedev B.M.** Dozhdevalnye mashiny. Izd. 2-е, pererab. i dop. M., «Mashinostroenie», 1977, 244 s.
2. **Lebedev G.V.** Impulsnoe dozhdevanie i vodnyj obmen rastenij. – M., Nauka, 1969. – 279 s.
3. **Sidorova M.A.** Vliyanie norm i intensivnosti poliva na raspredelenie vлаги v der-novo-podzolistoj suglinistoj pochve (modelnyj opyt) // Pochvovedenie. – 1980. № 12. – S. 66-71.
4. Resursosberegayushchie energoeffektivnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniya: sprav. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2015. 264 s.
5. **Alekseev G.A.** Dinamika infiltratsii dozhdevoj vody v pochvu. // Trudy GGI. 1948. Vyp. 6/60. S. 43-72.
6. **Popov E.G.** O priblizhennom raschete intensivnosti promachivaniya vody v pochvu // Meteorologiya i hidrologiya, 1952, № 2. S. 8-13.
7. **Gordon S.M., Berezhnova V.N.** K voprosu o vprityvanii vody v pochvu pri dozhdevanii. / Novoe v tehnike i tehnologii poliva: sb. nauchn. trudov VNIIMiTP. Kolomna, 1975. T. VIII. S. 226-239.
8. **Grigorjev V.Ya., Krasnov S.F., Makaveev N.I.** Intensivnost sklonovogo stoka v nachalnoj stadii ego formirovaniya. // Vestn. MGU. Ser. 5, Geografiya. 1983. № 1. S. 167-189.
9. **Horton R.E.** 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration – capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 5:399-417.
10. **Thais E.M. dos Santos et al.** Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems. // R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 20, n. 6, p. 513-518, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p513-518>.
11. **Rostami A. et.al.** Investigation of infiltration in center pivot irrigation system. // Journal of Applied Hydrology. 1 (1) (2014) 33-43.

12. Philip J.R. 1964. An infiltration equation with physical significance. *Soil Sci.* 77:153-157.

13. Santos M.A.N.; Panachuki E.; Alves So-brinho T.; Oliveira P.T.S.; Rodrigues D.B.B. Water infiltration in na Ultisol after cultivation of common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p. 1612-1620, 2014.

14. Mirzaee S.; Zolfaghari A.A.; Gorji M.; Dyck M.; Ghorbani Dashtaki S. Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.60, p. 681-693, 2014.

15. Kuznetsov M.S., Grigorjev V.Ya., Han K.Yu. *Irrigatsionnaya eroziya pochv i ee preduprezhdenie pri polivah dozhdevaniem*. M.: «Nauka», Akademiya nauk SSSR, 1990. 120 s.

16. Miheev N.V., Shervashidze M.R. Raschet skorosti vplivaniya vody v pochvu. // *Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo*. 2010. № 4. S. 27-29.

17. Golovanov A.I., Korneev I.V., Vplivaniye vody v pochvu iz infiltrometra s odinochnym kolcom: teoriya i rezul'taty. / Prirodootrojstvo i ratsionalnoe prirodopolzovanie – neobhodimye usloviya socialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossii: sb. nauchn. trd. mezhd. nauchn.-prak. konf.: Ch.2. M.: MGUP, 2005. S. 17-22.

Information about the authors

Terpigorev Anatolii Anatolevich, candidate of technical sciences, head of department; Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga»; 140483, Moscow region, Kolomna district, Raduzhnyj, 38.

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences, academic secretary, senior researcher; Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga», Raduzhnyj, 38, Kolomna district, Moscow region; 140483; Limited liability company «Scientific research center of environmental engineering and construction», 21 Novaya str., Sergievskoe, Kolomna district, Moscow region; 140491; e-mail: mzverkov@bk.ru

Grushin Aleksej Vladimirovich, senior researcher; Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga»; 140483, Moscow region, Kolomna district, Raduzhnyj, 38.

Gzhibovskij Sergej Aleksandrovich, senior researcher; Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga»; 140483, Moscow region, Kolomna district, Raduzhnyj, 38.

УДК 502/504:631.671, 631.675

DOI 10.34677/1997-6011/2019-3-27-32

А.Н. ДАНИЛЬЧЕНКО, И.В. КОРНЕЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, г. Москва, Российская Федерация

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БЛИЗКОГО ЗАЛЕГАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ДЕФИЦИТ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ КУКУРУЗЫ И СОИ ДЛЯ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ АЛЕЙСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В статье приводятся результаты расчетов водопотребления и обоснования природоохранных оросительных норм сельскохозяйственных культур, выполненных для обоснования необходимых мелиоративных мероприятий при реконструкции Алейской оросительной системы, расположенной на староорошаемых землях Рубцовского района Алтайского края. На основе расчетов водопотребления биоклиматическим методом определены расчетные значения дефицита водопотребления, которые составили для кукурузы от 70 мм в год 5% обеспеченности до 360 мм в год 95% обеспеченности при 185 мм в средний год, а для сои от 75 до 355 мм в аналогичные годы при 180 мм в средний год.

На основе результатов ранее проведенных лизиметрических исследований предложена корректировка расчетных оросительных норм нетто для учета близкого залегания пресных грунтовых вод и их влияния на влажность корнеобитаемого слоя,