

cultivator for shallow soil tilling KD-2.7; conic rotation tool for superface soil tilling KRO-2.5, and vibrating harrow for pre-sowing soil tilling VB-2.1. Their using is based on a fact that they have low specific resistivity because of sliding cut and respectively low fuel rate in comparison with plowshare tools. As a result of estimation of energetic efficiency of using base and new variants it was revealed that full energetic cost of machine-tractor aggregates using designed new soil-tilling tools is lower than of aggregates having serial machines except of aggregate for pre-sowing tilling with vibrating harrow at caring out of corresponding technological operations. Designed machines are recommended for use at cultivation of winter cereals after non-fallows predecessors and spring cereals after tilled crops with tilling depth 0.08-0.12 m; at cultivation of legumes and perennial grasses with tilling depth 0.12-0.16 m and at cultivation of tilled crops with tilling depth 0.20-0.28 m.

Keywords: environmental factors, tilling, energy-saving, soil tilling at different depth, classification of acting parts of machines, energetic efficiency.

References

1. Azzi G. Agricultural ecology. - Moscow, 1959. – 480 p.
2. Volodin, V.M. Ecological basis of estimation and use of soil fertility (estimation of potential and actual fertility and crop farming systems on bio-energetic base) / V.M. Volodin // All-Russian Research Institute of crop farming and soil protection from erosion. – Moscow. – 2006. – 334 p.
3. Zhuchenko, A.A. Adaptive plant growing // A.A. Zhuchenko – Kishineu: Shtiintsa.–1990.–432 p.
4. Zhuchenko, A.A., Nesterov V.S., Andryushenko V.K. Method of forecast of yield value and its quality for given levels of environmental factors (formulation of the problem and characteristics of initial data) // Breeding and genetics of vegetable crops: Abstracts of conference's papers. - Kishineu, 1975. – part II. – P. 19.
5. Mukhamadiarov, F.F. Improvement of optimization methods for production of agricultural goods on main criteria of effectiveness of technological processes [Text]: Thesis DSc in engineering / F.F. Ф.Ф. Mukhamadiarov – Kirov. – 2000. – 584 p.
6. Panov, I.M., Vetokhin, V.I. Physical basis of soil mechanics // I.M. Panov, V.I. Vetokhin – Kiev: Phoenix, – 2008. – 266 p.
7. Romanenko, G.A. Actual problems of crop farming development / G.A. Romanenko // Crop Farming. – 1986. –№7. – P. 2-6.
8. Sineokov, G.N. Theory and calculation of soil-cultivating machines / G.N. Sineokov, I.M. Panov. – Moscow: Mechanical engineering. – 1977. – 185 p.
9. Uskov I.B. Concept algorithm of dialog between science and industry // Herald of agricultural science. – 1986. – № 4.- P. 80.

Information about authors

1. **Mukhamadiarov Farzutdin Fatkutinovich**, Doctor of Technical Scienses, Professor, Vyatka State Agricultural Academy, 133, Oktyabr'sky ave., Kirov. Tel. (8332) 675490. E-mail: F_Muchamadjarov@mail.ru.

2. **Valiev Ayrat Rasimovich**, Candidate of Technical Scienses, Associate Professor, Kazan State Agrarian University, 65, Karl Marx Street, Kazan, e-mail: ayratvaliev@mail.ru.

УДК 631

ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ В СИСТЕМЕ РАСТЕНИЕ-ПОЧВА-ВОЗДУХ НА СКЛОНАХ

М.В. Семенов, И.И. Максимов

*Чувашская государственная сельскохозяйственная академия
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

Аннотация. Изучению вопросов инфильтрации воды на склоновых землях посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых и, соответственно, имеются различные и иногда противоречивые точки зрения на определение скорости впитывания. Полученные в большинстве исследований зависимости и расчетные формулы, описывающие процессы инфильтрации во многих случаях специализированы для определенных почв в конкретных условиях и далеко не всегда переносимы от почвы к почве. В статье рассмотрены вопросы моделирования частоты и интенсивности осадков по данным многолетних наблюдений, а также численных расчетов интенсивности впитывания воды в почву на склонах при естественных осадках и орошении. Такой подход позволяет планировать эрозионно-безопасные поливы, которые в сочетании с естественными осадками, обеспечивают благоприятный режим в системе растение-почва-воздух и, соответственно, получение высоких урожаев для рассматриваемых склоновых земель. Состояние почвы во многом определяет как, с одной стороны, долю впитываемой воды, так и, с другой стороны, долю воды стекающей по склону. И если первая часть напрямую связана с влагообеспеченностью растений, то вторая непосредственно определяет опасность возникновения эрозионных процессов. На скорость впитывания воды в почву комплексное влияние оказывают такие факторы как удельная поверхность, пористость почвы, ее начальная влажность, структурность и водопрочность агрегатов, корневая система и густота растений др.

Ключевые слова: *склон, влагообеспеченность, пористость, удельная поверхность, фильтрация, поверхностное впитывание воды, сток, эрозия почвы, безопасность, программные средства.*

Введение.

Интенсивность увлажнения и испарения воды из почвы зависят как от ее свойств, так и от внешних условий [1,2,3,12]. Факторы, определяющие испарение и скорость промачивания изучены недостаточно и поэтому при прогнозировании возникает ряд трудностей. Общих универсальных методов для описания испарения и увлажнения почвы в литературе не найдено, а имеющиеся модели ограничены применением только в определенных условиях из-за сделанных допущений [6,7,10].

Расход влаги из почвы условно можно разделить на два вида: производительный - потребление влаги растительным покровом и непроизводительный - испарение с поверхности почвы, инфильтрация, сток воды и т.п. [4,5,8,9]. После стока вод и инфильтрации наибольшая доля расхода приходится на испарение с поверхности почвы [11,13]. Почва при этом может иссушаться до глубины 20 см, а в засушливые годы 40 см и более. Кроме свойств почвы скорость испарения зависит от таких внешних условий, как температура, скорость ветра, форма поверхности и растительный покров.

Испарение воды во многом зависит от температуры, которая определяет энергетику почвенной влаги. При рассмотрении испарения, однако учтем дополнительные затраты энергии, связанных с тем, что в почве при уменьшении объема влаги величина поверхности конденсированной фазы увеличивается. Полученные в большинстве исследований отечественных и зарубежных ученых зависимости и расчетные формулы, описывающие процессы инфильтрации во многих случаях специализированы для определенных почв в конкретных условиях и далеко не всегда переносимы от почвы к почве. Впитывание воды в почву является сложным процессом. Поток влаги определяется как объем воды, впитавшийся в почву за единицу времени через единицу площади: $q = Q/St$. На скорость впитывания воды в почву комплексное влияние оказывают такие факторы как удельная поверхность, пористость почвы, ее начальная влажность, структурность и водопрочность агрегатов, корневая система и др.

Определение коэффициента фильтрации, часто проводят с помощью вертикальных почвенных монолитов. Измеряют объем впитавшейся воды, поддерживая постоянной толщину слоя воды на поверхности монолита. Различают безнапорную фильтрацию (с единичным гидравлическим градиентом) и напорную (градиент превосходит единицу).

Убывающую со временем интенсивность впитывания описывает известное уравнение А.Н. Костякова:

$$K_t = K_0 t^{-\alpha}, \quad (1)$$

где K_t - интенсивность впитывания в момент t , K_0 - интенсивность в начале впитывания, α - коэффициент.

Аверьяновым С.Ф. и др. формула (1) была усовершенствована путем добавления константы равной коэффициенту фильтрации K_ϕ , поскольку, через определенное время, после заполнения пор водой, поток стабилизируется и начинается фильтрация воды через почву, т.е. $K_t = K_\phi + K_0 t^{-\alpha}$. Однако такой тип модели не является стандартным и его линеаризация для статистической обработки нетривиальна, поэтому применение электронных таблиц с целью получения интересующих численных значений затруднено.

В ряде работ в формулу (1) добавляется множитель $e^{\beta i}$ (β - эмпирический множитель, i - уклон).

Невпитавшаяся вода обуславливает угрозу образования эрозионно-опасного стока. Поэтому многими исследователями для улучшения впитывания были предложены всевозможные решения: дискретный полив с регулированием интенсивности [А.Н. Костяков и др.]; использование кратковременного полива за определенное время до основного с целью увеличения коэффициента влагопроводности (предварительное смачивание) (Н.Н. Дубенок); омагничивание воды (Н.А. Волконский, Н.Ф. Бондаренко, М.Г. Мамаев и др.); механическое рыхление почвы и ее щелчевание (М.С. Григоров и др.); повышение структурности почвы с использованием полимерных материалов (Н.А. Качинский, И.Б. Ревут, А.А. Роде и др.).

Материалы и методы. Как упоминалось ранее, уравнение А.Н. Костякова степенного вида $K_t = K_0 t^{-\alpha}$ входит в набор стандартных функций современных электронных таблиц (степенная), по которым получают уравнения нелинейной регрессии. Поэтому поиск численных значений коэффициентов модели K_0 , и α не представляет трудностей при статистической обработке данных. Однако более точной является предложенная Аверьяновым С.Ф. формула $K_t = K_\phi + K_0 t^{-\alpha}$ (K_ϕ - коэффициент фильтрации). Она была усовершенствована путем добавления константы, равной коэффициенту фильтрации, поскольку, через некоторое время, после заполнения пор водой начинается фильтрация воды через почву.

Однако с позиции математической статистики тип модели, предложенной Аверьяновым С.Ф., не является стандартным и применение электронных таблиц для его обработки затруднено. При необходимости получения регрессионных зависимостей интенсивности впитывания от пористости и удельной поверхности почвы имеется следующее решение. В работе Алексеева В.В. [1] для вычисления коэффициента влагопроводности получена формула:

$$K = \frac{\pi^2}{\Omega_0 \eta S^2} \cdot \frac{\lambda \Pi_0^\alpha}{1 - \Pi_0} \left[1 - \left(1 - \frac{w}{\Pi_0} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где η - вязкость воды, Па с; S – площадь сечения образца почвы, м²; через которое протекает газ; α , λ – постоянные зависящие от вида трехмерной модели, Ω_0 - объемная удельная поверхность, м²/м³; w - объемная влажность, м³/м³, Π_0 – пористость, в долях.

Формула справедлива для случаев, когда вода протекает через частично заполненную водой почву. Уравнение (2) показывает зависимость между коэффициентом влагопроводности и влажностью в явном виде и дает возможность учитывать свойства почвы, поскольку оно зависит как от пористости, так и удельной поверхности твердой фазы почвы.

Результаты исследований и их обсуждение. При использовании приведенной формулы вычисления коэффициента влагопроводности (2), для величины ($K - K_0$) зависимость приводится к статистически легко обрабатываемому степенному виду, что позволяет определять численные значения. Использование разработанных программ позволяет изучать зависимость K_ϕ , K_0 , α от пористости, удельной поверхности и влажности.

При моделировании интенсивности впитывания воды в почву определяется максимально возможный объем впитываемой влаги для текущего момента времени при текущих условиях. Для этого задается постоянный нулевой потенциал ψ в верхнем слое почвы и по формуле Дарси рассчитывается возможный, при данных условиях, объем влаги, перешедший в нижележащий слой. Работа программного средства по расчету интенсивности впитывания показана на рисунке 1.

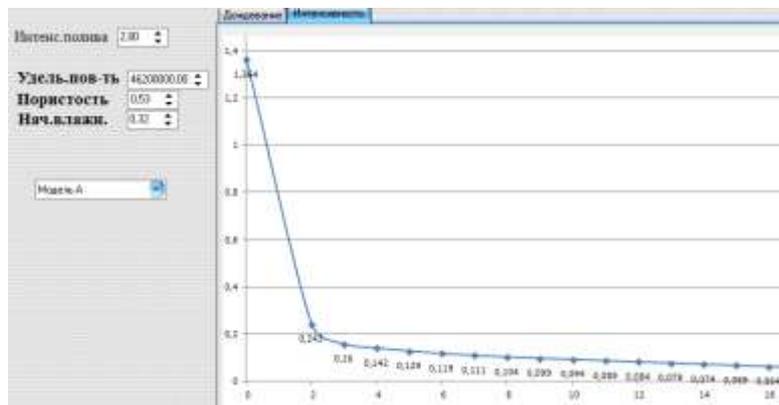


Рис. 1. Работа программного средства по расчету интенсивности впитывания

Задача определения профиля увлажнения при дождевании является одномерной, поэтому рассчитывался послойный (50 слоев) перенос влаги с толщиной слоя $\Delta h=5$ мм (рисунок 2). При вычислении разности потенциалов почвенной влаги в слоях добавлялся гравитационный потенциал $g\Delta h$.

Реализация программного средства расчета профиля увлажнения осуществлена заданием объема влаги, поступающей в верхний слой за единицу времени, массивов значений пористости, удельной поверхности, начальной влажности для каждого слоя, по которым вычислялись коэффициенты влагопроводности и давления почвенной влаги. По формуле Дарси рассчитывались объемы влаги, перетекшей из слоя в слой. Число циклов перерасчета примерно соответствует времени прохождения по участку дождевальной машины.

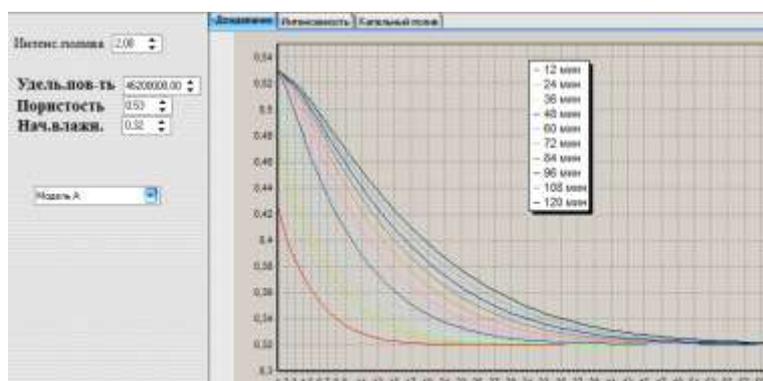


Рис. 2. Работа программного средства по расчету профилей увлажнения при дождевании и капельном поливе

Выводы

Проведенное сравнение полученных по формулам значений с экспериментальными данными

подтвердило статистическую значимость и, следовательно, оправданность использованной методики расчета и программных средств для описания процесса влагопереноса в почвах. Благодаря тому, что формулы получены с учетом физических и гидрофизических свойств почвы вполне оправданно их использование при проведении агрономических и культуртехнических мероприятий, а также для численного моделирования процессов впитывания воды в почву при дождевании и капельном орошении. Таким образом, предлагаемый подход позволяет обосновать экологически приемлемые и экономически эффективные агротехнические и мелиоративные мероприятия с детальным учетом гидрофизических свойств почвы на склоновых землях.

Литература

1. Алексеев, В.В. Исследование профилей увлажнения почвы с уплотненным слоем при дождевании и поверхностном поливе / В.В. Алексеев // Природообустройство, 2016. № 4. С. 92-96.
2. Алексеев, В.В. Уточненная оценка уплотненного состояния почв / В.В. Алексеев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова № 5, Саратов, 2013. - С. 49-51.
3. Алексеев, В.В. Использование последовательных измерений коэффициента фильтрации для оценки уплотненного состояния почв / В.В. Алексеев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 4 (102). С. 088-092.
4. Васильев, С.А. Результаты экспериментальных исследований гидрофизических и эрозионных свойств почв на территории СХПК «Труд» Батыревского района Чувашской Республики / С.А. Васильев, И.И. Максимов, Е.П. Алексеев, И.В. Сякаев, А.А. Васильев, А.А. Петров, В.В. Алексеев // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2013. № 4-2 (80). - С. 39-45.
5. Васильев, С.А. Определение эквивалентной шероховатости стокоформирующей поверхности для оценки противоэрозионных мероприятий на склоновых землях / С.А. Васильев, И.И. Максимов, В.В. Алексеев // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 4. - С. 32-34.
6. Максимов, И.И. Оценка эффективности функционирования системы машина-почва-растение / И.И. Максимов, В.И. Максимов, А.Н. Михайлов, В.В. Алексеев // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 11. С. 28-34.
7. Сысуев, В.А. Получение основной гидрофизической характеристики почв на основе трехмерных моделей / В.А. Сысуев, И.И. Максимов, В.В. Алексеев, В.И. Максимов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук № 5, 2013. - С. 63-66.
8. Сысуев, В.А. Водосборная площадь малых рек как объект антропогенного агроландшафта (на примере реки Цивиль) / Сысуев В.А., Максимов И.И., Максимов В.И., Алексеев В.В. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 5 (36). С. 59-65.
9. Михайлов А.Н., Максимов И.И., Мардарьев С.Н. В сборнике: Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса и социальной инфраструктуры села. Материалы международной научно-практической конференции (посвященной 85-летию ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА). ФГБОУ ВО "Чувашская государственная сельскохозяйственная академия". 2016. С. 450-453.
10. Максимов, И.И. Метод точечного источника при моделировании развития русла в подстилающей поверхности склоновых агроландшафтов / И.И. Максимов, В.И. Максимов, С.А. Васильев, В.В. Алексеев // Почвоведение № 4, 2016. - С. 514-519.
11. Васильев С.А., Максимов И.И., Васильев М.А. В сборнике: Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК. Материалы Международной научно-практической конференции . 2015. С. 575-579
12. Максимов И.И., Васильев С.А., Максимов В.И. Патент на изобретение RU 2292034 04.04.2005
13. Максимов И.И., Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Москва, 1996

Сведения об авторах

1. **Семенов Михаил Валерьевич**, магистрант кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, mikha-1992@inbox.ru, Телефон 89278645678;

2. **Максимов Иван Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29, e-mail: maksimov48@inbox.ru, тел. 8 937 383 10 88.

WATER HOLDING IN THE PLANT-SOIL-AIR SYSTEM ON AGRO SLOPES

M.V. Semenov, I.I. Maksimov
Chuvash State Agricultural Academy
 428003, Cheboksary, Russian Federation

Abstract. The study of water infiltration on sloping lands dedicated to the work of many domestic and foreign scholars and, accordingly, have different and sometimes conflicting points of view on definition of the rate of absorption. Obtained in most studies of dependency and the formulas describing the processes of infiltration in many cases are specialized for specific soils under specific conditions and is not always transferable from soil to soil. In the

article the questions of modeling the frequency and intensity of precipitation according to long-term observations and numerical calculations of intensity of water absorption in the soil on the slopes under natural rainfall and irrigation. This approach allows you to plan the erosion-safe glaze, which in combination with natural rainfall provide favorable treatment in the system plant-soil-air and consequently high yields for the considered slope lands. The condition of the soil largely determines how, on the one hand, the share of absorbed water, and, on the other hand, the share of water flowing down the slope. And if the first part is directly connected with the moisture supply of plants, the latter directly determines the risk of erosion. The rate of absorption of water in the soil complex may be influenced by such factors as specific surface area, soil porosity, initial moisture content, structural properties and water stability of aggregates, the root system and the plant density.

Key words: slope, moisture, porosity, specific surface, filtration, surface water absorption, runoff, soil erosion, security, software.

References

1. Alekseev, V. V. Study of the profiles of soil moisture with compacted layer under sprinkler irrigation and surface irrigation / V. V. Alexeev // Environmental engineering, 2016. № 4. Pp. 92-96.
2. Alekseev, V. V. Updated assessment of compacted soil / V. V. Alexeev // Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov № 5, Saratov, 2013. - Pp. 49-51.
3. Alekseev, V. V. Use of successive measurements of the filtration coefficient for evaluation of the compacted soil / V. V. Alexeev // Bulletin of Altai State Agrarian University. 2013. № 4 (102). Pp. 088-092.
4. Vasiliev, S. A. Results of experimental studies of hydrophysical and erosion properties of soils on the territory of APC Trud in Batyrevskiy district of the Chuvash Republic/ S. A. Vasiliev, I. I. Maximov, E. Alekseev, I. V. Syakaev, A. A. Vasiliev, A. A. Petrov, V. V. Alexeev // Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University named after. I. Y. Yakovlev. 2013. № 4-2 (80). - Pp. 39-45.
5. Vasiliev, S. A. Determination of the equivalent roughness of the surface stockformers to assess erosion control measures on sloping lands / S. A. Vasiliev, I. I. Maximov, V. V. Alexeev // Melioration and water economy. 2014. №4. – Pp. 32-34.
6. Maksimov, I. I. Assessment of the performance of machine-soil-plant / I. I. Maksimov, V. I. Maksimov, A. N. Mikhailov, V. V. Alexeev // Tractors and agricultural cars. 2013. №11. Pp. 28-34.
7. Sysuev, V. A. Obtaining of the main hydrophysical characteristics of soils on the basis of three-dimensional models / V. A. Sysuev, I. I. Maximov, V. V. Alekseev, V. I. Maksimov // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences №5, 2013. - Pp. 63-66.
8. Sysuev, V. A. Catchment area of small rivers as an object of anthropogenic landscapes (on the example of the river Tsvil) / Sysuev V. A., Maksimov I. I., Maksimov V. I., Alekseev V. V. // Agricultural science Euro-North-East. 2013. № 5 (36). Pp. 59-65.
9. Mikhailov A. N., Maksimov I. I., Margaret S. N. In the collection: Scientific-educational environment as a basis for the development of agro and industrial complex social infrastructure of the village. Materials of international scientific-practical conference (dedicated to the 85th anniversary of the Chuvash State Agricultural Academy). Chuvash State Agricultural Academy". 2016. Pp. 450-453.
10. Maksimov I. I. Method of spot source in modeling of river-bed development in the surface of agroslopes/ I. I. Maksimov, V. I. Maksimov, S. A. Vasil'ev, V. V. Alekseev // Soil science. 2016. №4. Pp. 514-519
11. Vasilyev S. A., Maksimov I. I., Vasiliev M. A. In the book: food security and sustainable agricultural development. Materials of International scientific and practical conference. 2015. Pp. 575-579
12. Maksimov I. I., Vasil'ev S. A., Maksimov V. I. The patent for invention RUS 2292034 04.04.2005
13. Maksimov I. I. Abstract of thesis... Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences, Moscow, 1996

Information about authors

1. **Semenov Michail Valeryevich**, Magistant of Department of Transportation-Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy (428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marks str., 29; mikha-1992@inbox.ru.; Phone 89278645678;

2. **Maksimov Ivan Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, 29, K. Marks str.; e-mail: maksimov48@inbox.ru, tel: 8 937 383 10 88.