

Information about the author

Vasiljev Sergey Anatolievich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Transport-technological machinery and

complexes», FSBEI HE «The Chuvash state agricultural academy»; 428003 Cheboksary, ul. K. Marxa, d. 29; e-mail: vsa_21@mail.ru; tel.: 89278432290.

УДК 502/504:631.43:631.67

В.В. АЛЕКСЕЕВ

Чебоксарский кооперативный институт (филиал) АНОО ВО Центросоюза РФ «Российский университет кооперации», г. Чебоксары, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ С УПЛОТНЕННЫМ СЛОЕМ ПРИ ДОЖДЕВАНИИ И ПОВЕРХНОСТНОМ ПОЛИВЕ

Наличие уплотненного слоя в почве оказывает существенное влияние на скорость впитывания воды и образование поверхностного стока. Для обеспечения наилучших мелиоративных режимов при использовании современных приемов мелиорации актуально экспрессное получение профилей увлажнения почвы при наличии в ней уплотненного слоя. Использование в качестве индикатора уплотнения коэффициента фильтрации, а не плотности почвы позволяет изучать непосредственно сами профили и, имея большую информативность и точность, позволяет моделировать процессы влагопереноса в почвах. Созданы программные средства для численного определения интенсивности впитывания почвой влаги, расчета профилей увлажнения. Для определения впитывающей способности почв проведены опыты на серых лесных почвах Чувашской Республики, не обладающих высоким плодородием и требующих внешнего регулирования водного режима. Расхождение экспериментальных данных с результатами численного решения по какой-либо конкретной модели порового пространства достаточно низко (15–17%). Однако если рассматривать полученную ОГХ в разрезе педотрансферных функций и гибко подбирать параметры модели, расхождение снижается до 4–7%.

Орошение, дождевание, впитывание воды, моделирование, уплотненный слой.

Введение. Впитывание воды в почву является сложным процессом. 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.

Изучению вопросов инфильтрации посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых, и соответственно имеются различные 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.

Материалы и методы. На орошаемых землях достаточно часто имеет место появление уплотненного слоя почвы, который оказывает существенное влияние

на впитывание воды. К появлению и накоплению в почве уплотнения ведет воздействие ходовых систем машинно-тракторных агрегатов. Исследование динамики накопления деформаций в почве и их влияние на впитывающую способность затруднены тем, что показатели, характеризующие уплотнение, вычисляются через значения плотности почвы. В большинстве случаев изменение значений плотности сравнимо с ошибкой ее измерения или статистическим разбросом, вызванным пространственной вариабельностью в почвах. Повышение чувствительности оценки уплотненного состояния проводится использованием коэффициента фильтрации вместо плотности. Если dK – относительное изменение коэффициента фильтрации, а dr – относительное изменение плотности, то dK/dr показывает во сколько раз отличается чувствительность измерений. Таблица показывает, как изменяется dK/dr с увеличением плотности [1].

Таблица
Сравнительная оценка уплотненного состояния почв [1]

Почва	$\delta K/\delta r$		
	$r = 1,3 \text{ г/см}^3$	$r = 1,5 \text{ г/см}^3$	$r = 1,7 \text{ г/см}^3$
Светло-серая лесная	3,69	4,18	5,65
Темно-серая лесная	3,71	4,56	5,61

С увеличением плотности чувствительность оценки уплотнения почвы по значениям коэффициента фильтрации по сравнению с оценкой, основанной на измерениях плотности почвы, возрастает, что делает предлагаемый подход оправданным.

Использование трехмерной модели почвенного порового пространства [2] позволило получить обобщенную зависимость для потенциала почвенной влаги (1) и функции влагопроводности почв (2), описывающих способность почв удерживать и проводить почвенную влагу. Аргументами функций влагопроводности служат влажность, удельная поверхность и пористость почв, а также параметры, неявно задающие гранулометрический состав:

$$\phi = \frac{\dot{U}_0 \gamma}{\dot{n}} \cdot \left(\frac{1}{w^3} - \frac{1}{\Pi_0^3} \right) + \frac{\dot{U}_0 \delta}{\dot{n}} \cdot D(w, \Pi_0); \quad (1)$$

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

где Ω_0 – удельная поверхность почвы, $\text{м}^2/\text{г}$; η – вязкость воды, Па с ; S – площадь сечения образца почвы, м^2 , через которое протекает газ; s – коэффициент поверхностного натяжения поверхности контакта воды с воздухом, Дж/м^2 ; Π_0 – пористость; w – объемная влажность; α, λ – постоянные зависящие от вида трехмерной модели; g – постоянная; $D(w, P_0)$ – функция, определяемая числом, ориентацией и структурой пор.

Поскольку прочносвязанная вода не участвует в процессе влагопереноса, в формуле (1) записано значение влажности, уменьшенное на w^* , соответствующее максимальной адсорбционной влагоёмкости.

Совместное использование (1) и (2) в законе Дарси (3) позволяет рассчитывать профили увлажнения при дождевании и поверхностном поливе

$$\Delta V = K(w) \frac{\Delta p(w) + \rho g \Delta h}{\Delta h} S \Delta t, \quad (3)$$

где ΔV – объем влаги, перетекающей из слоя в слой; K – коэффициент влагопроводности; Δp – разность капиллярных давлений почвенной влаги в соседних вертикально расположенных элементах почвы; S – площадь основания элемента почвы; t – время; Δh – высота элемента почвы.

Планирование и проведение лабораторных экспериментов позволяют при моделировании сделать следующие приближения: концентрация солей пренебрежимо мала, твердая фаза почвы не деформируется и не смывается, температуры воды в почве и поливной воды равны, всасывание воды корнями растений и испарение малы.

При дождевании в отличие от поверхностного полива в течение некоторого времени имеет место безнапорное впитывание. Задача определения профиля увлажнения при дождевании является одномерной, поэтому с помощью разработанной программы (рис. 1) рассчитывался послойный (80 слоев) перенос влаги с толщиной слоя $\Delta h = 5$ мм. При вычислении разности потенциалов почвенной влаги в слоях добавлялся гравитационный потенциал $g\Delta h$. В случае поверхностного полива для верхнего слоя добавляется потенциал gH , связанный с напором, создаваемым слоем воды (H) на поверхности.

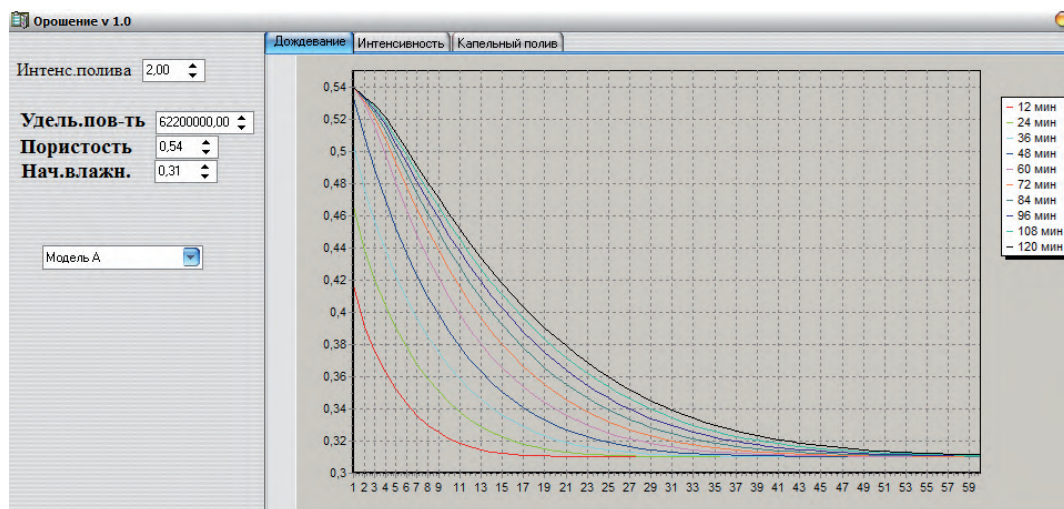


Рис. 1. Работа программы по построению профилей увлажнения

Если интенсивность начального впитывания воды почвой меньше q , в самом начале дождя может появиться сток. Сток появляется через некоторое время после начала дождя, после насыщения почвы влагой и снижения ее впитывающей способности.

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, перетекавшей из слоя в слой за время, равное 1 мин. Произведено 120 циклов перерасчета, что по времени примерно соответствует прохождению по участку дождевальная машины.

Для моделирования и расчетов интенсивности впитывания был задан постоянный нулевой потенциал ψ в верхнем слое. Отличный от нуля потенциал в соседних точках приводит к появлению градиента потенциала и, как следствие, – к перемещению влаги в почве. Одновременно рассчитываются объемы влаги, проходящей через верхний слой за единицу времени.

Согласно формуле А.Н. Костякова интенсивность K впитывания воды почвой ме-

няется со временем по мере выпадения дождя и насыщения почвы влагой:

$$K_t = K_0 t^{-\alpha}, \quad (4)$$

где K_t – интенсивность впитывания воды почвой через интервал времени t , прошедший от начала дождя, мм/мин.; K_0 – интенсивность в начале впитывания; α – коэффициент.

Уравнение вида (4) входит в набор стандартных функций современных электронных таблиц (степенная). Поэтому поиск коэффициентов модели K_0 , и α не представляет трудностей при статистической обработке данных.

С.Ф. Аверьяновым формула (4) была усовершенствована путем добавления константы, равной коэффициенту фильтрации, поскольку через определенное время, после заполнения пор водой, начинается фильтрация воды через почву:

$$K_{\phi} = K + K_0 t^{-\alpha}, \quad (4)$$

где $K_t - K_0$ – начальная интенсивность впитывания, мм/мин.; α – эмпирический коэффициент. Однако такой тип модели, как (5), не является стандартным, и применение электронных таблиц затруднено. Одним из вариантов выхода из данной ситуации служит использование формулы (2), поскольку рассчитываемое по ней значение коэффициента фильтрации и использование в (4) приводят зависимость к статистически легко обрабатываемому степенному виду.

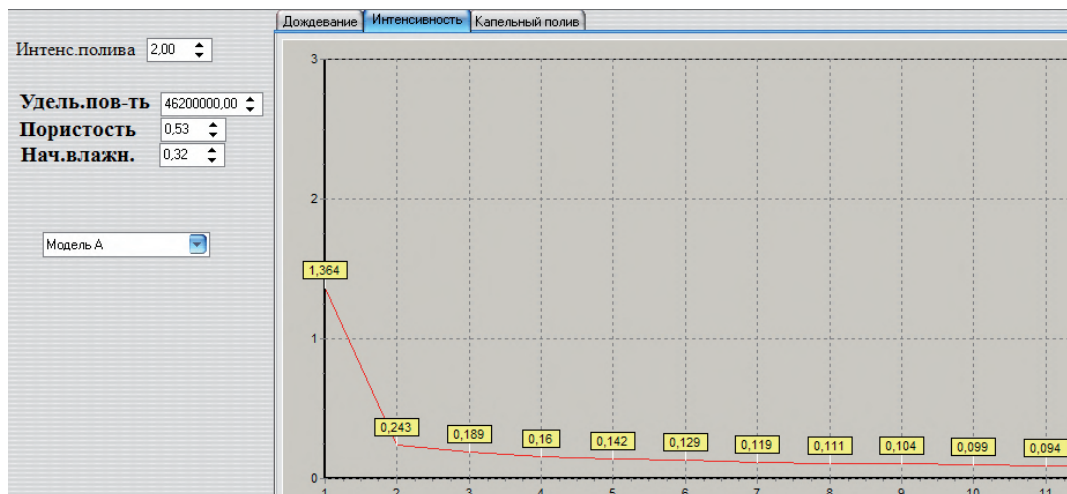


Рис. 2. Работа программного средства по расчету интенсивности впитывания

Использование разработанных программ позволяет определять K_{ϕ} , K_0 , α и изучать их зависимость от пористости, удельной поверхности и влажности.

Результаты и обсуждение. Антропогенное уплотнение на землях, отведенных под зерновые, и ряд других сельскохозяйственных культур, в большинстве своем по-

является при прохождении машинно-тракторных агрегатов. На рисунке 3 представлено распределение по глубине значений коэффициентов фильтрации и плотности до и после прохождения тракторов с различными ходовыми системами и весовых параметров (Агромаш 90 ТГ, К-701, Т-150, почва темно-серая лесная: удельная поверхность

$\Omega_0=62,2 \text{ м}^2/\text{г}$, плотность твердой фазы почвы $\gamma_{sf}=2,61 \text{ г}/\text{см}^3$, первоначальная средняя плотность $\gamma=1,03 \text{ г}/\text{см}^3$). Из рисунка следует, что по значениям коэффициента фильтрации можно точнее выявить параметры уплотненного слоя.

Использование коэффициента фильтрации позволяет выявить значимые изменения, произошедшие в почве и касаю-

щиеся впитывания воды. Влияние появления уплотненного слоя можно наблюдать даже после прохождения трактора Агромаш 90 ТГ, оказавшего в рассматриваемом случае наименьшее воздействие на почву. На рисунке 4 приведены профили увлажнения почвы при дождевании на участках, подвергшихся и не подвергшихся проходу техники.

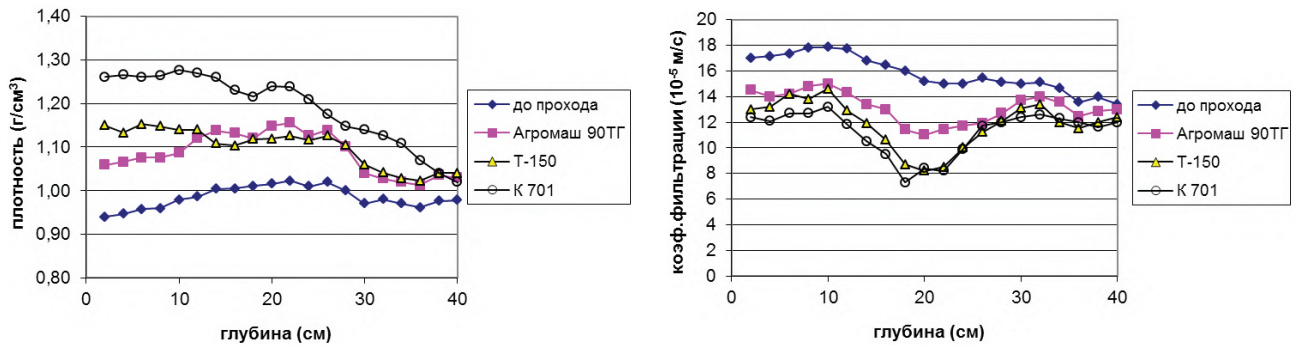


Рис. 3. Значения коэффициентов фильтрации и плотности

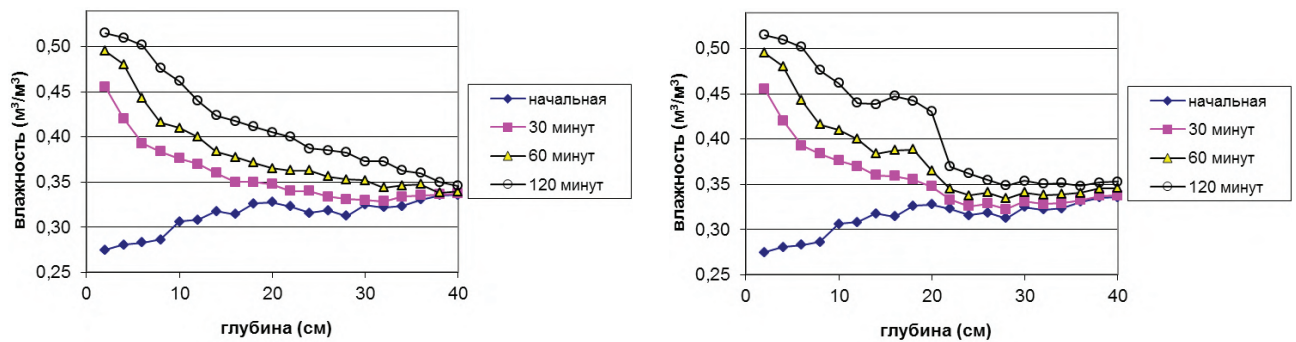


Рис. 4. Влияние уплотненного слоя на параметры впитывания воды

Выводы

Использование формул для основной гидрофизической характеристики и функции влагопроводности позволило связать впитывающую способность почвы с наличием в ней уплотненного слоя. Обоснование дождевальной техники имеет лимитирующий фактор в виде допустимой интенсивности дождя. Выбор путей решения в виде снижения интенсивности дождя, величины поливной нормы и т.п. должен основываться на учете конкретных условий, в которых находится почва. Предложенный метод позволяет исследовать закономерности формирования контуров увлажнения для почв, имеющих уплотненные слои. Разработано и составлено программное средство, позволяющее проводить расчеты для почв с разными начальными влажностями, удельными по-

верхностями и пористостями. Приведен пример изучения уплотняющего воздействия тракторов Агромаш 90 ТГ, К-701, Т-150 на интенсивность впитывания воды при дождевании.

Библиографический список

1. 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. 88–92.
2. Алексеев В.В. Аэродинамический метод получения основной гидрофизической характеристики почв / В.В. Алексеев, И.И. Максимов // Почвоведение. – 2013. – № 7. – С. 822–828.

Материал поступил в редакцию 17.06.2016.

Сведения об авторе

Алексеев Виктор Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные технологии и математика»; Чебоксарский кооперативный ин-

ститут (филиала) АНОО ВО Центросоюза РФ «Российский университет кооперации»; 428025, Чувашская республика, г. Чебоксары, пр. М. Горького, д. 24; тел.: 7927864-92-14; e-mail: Av77@list.ru

V.V. ALEXEEV

The Cheboksarsky cooperative institute (branch) VO Centrosojuz RF «Russian university of cooperation», Cheboksary

INVESTIGATION OF PROFILES OF SOILS MOISTENING WITH A COMPACTED LAYER UNDER OVERHEAD AND SURFACE IRRIGATION

The availability of the compacted layer in the soil has a significant impact on the rate of water absorption and formation of surface runoff. For providing best ameliorative regimes when using modern melioration techniques an expressive obtaining of soil moisture profiles is actual in the compacted layer availability. Using a coefficient of filtration but not soil density as an indicator of compaction allows us to study directly the profiles and having great information content and accuracy allows simulating processes of moisture transfer in soils. Software is created for a numerical determination of the intensity of absorption of soil moisture, calculation of moisture profiles. For measuring the absorbent capacity of soils experiments were conducted on gray forest soils of the Chuvash Republic which do not possess a high fertility and require an external regulation of the water regime. The discrepancy between the experimental data and results of the numerical solution on any particular model of the pore space is low enough (15–17%). However, when the obtained WRC is considered in the section of pedotransfer functions and if to flexibly select parameters of the model the discrepancy is reduced to 4–7%.

Irrigation, overhead irrigation, water absorption, simulation, compacted layer.

Reference

1. Alexeev V.V. Ispolzovanie posledovatel'nyh izmerenij koefitsienta filjtratsii dlya otsenki uplotnennogo sostoyaniya pochv / V.V. Alexeev // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 4 (102). – S. 88–92.

2. Alexeev V.V. Aerodinamicheskij metod polucheniya osnovnoj gydrofizicheskoj harakteristiki pochv / V.V. Alexeev, I.I. Maximov // Pochvovedenie. – 2013. – № 7. – S. 822–828.

The material was received at the editorial office
17.06.2016.

Information about the author

Alexeev Victor Vasiljevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Information technologies and mathematics»; Cheboksarsky cooperative institute (branch) ANOO VO Centrosoyuz RF «Russian university of cooperation»; 428025, Chuvash republic, Cheboksary, pr.M. Gorjkogo, d. 24; tel.: 7927864–92–14; e-mail: Av77@list.ru.

УДК 502/504:629.113–592.6

Г.С. ЕРИЦЯН

Национальный политехнический университет Армении, г. Ереван

В.А. ЕВГРАФОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ АВТОТРАКТОРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Объектом изучения является вспомогательная тормозная система (ВТС), ее характеристики, типы и правила их использования, а также графическое определение потребной эффективности данного механизма. Основной ценностью исследования