

УДК УДК 631.43

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПОЧВЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Лазарев В.А. (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого),
Смирнов Н.С. (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

**Научный руководитель – Терлеев В.В., профессор,
доктор сельскохозяйственных наук, кандидат технических наук**
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

Введение. Наряду с изменением климата обостряется проблема обеспечения ирригационного земледелия достаточным количеством поливной воды. Возрастает потребность в разработке научно обоснованных подходов к определению таких норм орошения, при которых: непроизводительный расход поливной воды исключается, а риск загрязнения природных вод средствами химизации земледелия минимизируется. Например, увеличение содержания азота и фосфора в водной среде в результате вымывания минеральных удобрений с полей ведет к интенсивному размножению фитопланктона, особенно зеленых и сине-зеленых водорослей. Жизнедеятельность водорослей приводит к потере водой растворенного кислорода. При этом некоторые водоросли, разлагаясь, отравляют воду токсинами. Одним из наиболее эффективных подходов к расчету таких норм орошения является метод математического моделирования гидрофизических свойств почвы. Важнейшее гидрофизическое свойство почвы — это ее водоудерживающая способность, характеризующаяся зависимостью объемной влажности почвы θ [см³·см⁻³] от капиллярного давления влаги ψ [см H₂O] [1]. Природа этого свойства является гистерезисной.

Основная часть. Целью данного исследования является оценка перспективы применения математической модели гистерезиса для расчета прецизионных норм орошения.

Для достижения поставленной цели авторами была разработана математическая модель, предназначенная для описания десорбционных и сорбционных ветвей гистерезиса $\theta(\psi)$ [2]. Для проведения вычислительных экспериментов с данной моделью гистерезиса была разработана компьютерная программа «SoilHysteresis-v.1.0» [3]. Идентификация параметров модели проводилась методом точечной аппроксимации взятых из литературного источника опытных данных о главных (граничных) ветвях гистерезиса водоудерживающей способности почвы «*Silt Mont Cenis*» [4]. Для рассматриваемых ветвей был рассчитан коэффициент прямолинейной корреляции ($R=0.989$) между экспериментальными и вычисленными значениями объемной влажности исследуемой почвы для заданных значений капиллярного давления почвенной влаги.

Значение полученного коэффициента корреляции позволяет утверждать, что предложенная модель физически адекватна и точно описывает гистерезис водоудерживающей способности почвы, а программа, разработанная на основе данной модели, может быть рекомендована для расчета прецизионных норм орошения.

При поливе смена состояний почвенной влаги характеризуется не главной ветвью иссушения, а сканирующими ветвями увлажнения гистерезиса. По этой причине для расчета прецизионной нормы орошения требуются данные о сканирующей ветви увлажнения, которая начинается от точки, определяемой предполивной влажностью почвы, и заканчивается в точке пересечения этой сканирующей ветви с эмпирической зависимостью («секущей») Воронина [5]. Авторами был проведен вычислительный эксперимент, в котором были рассчитаны прецизионная норма орошения, а также норма, определяемая «традиционным» методом. Полученный результат показал, что для орошаемого участка площадью 1 га при увлажнении слоя почвы мощностью 50 см разность между вычисленными прецизионной нормой полива и «традиционной» нормой составляет 275 м³·га⁻¹.

Также стоит отметить, что при использовании «традиционной» нормы после достижения объемной влажности почвы избыточная влага стекает по сканирующей ветви иссушения за

пределы корнеобитаемого слоя. Для участка площадью 1 га при увлажнении почвенного слоя мощностью 50 см суммарный непроизводительный расход воды достигает $165 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

О потенциальных потерях воды практикам-мелиораторам известно. Однако до сих пор более точный расчет нормы полива не представлялся возможным, поскольку: во-первых, измерения сканирующих ветвей являются весьма трудоемкими; во-вторых, весьма затруднительно заранее предсказать, какие именно сканирующие ветви увлажнения понадобятся для расчета норм орошения в предстоящем сезоне вегетации. Поэтому применение математической модели гистерезиса водоудерживающей способности почвы в данном случае не имеет альтернативы.

Выводы.

1. Предложенная авторами модель гистерезиса водоудерживающей способности почвы физически адекватна.

2. Использование предложенной модели способствует предотвращению стекания избытка гравитационной влаги за пределы корнеобитаемого слоя почвы, что позволяет исключить непроизводительный расход воды для орошения сельскохозяйственных культур, а также минимизировать риск загрязнения агрохимикатами грунтовых вод и открытых водоемов.

Список использованных источников:

1. Лазарев В.А., Дунаева Е.А., Гарманов В.В. Моделирование гистерезиса водоудерживающей способности почвы для расчета нормы орошения в точном мелиоративном земледелии // Неделя науки ИСИ. – 2021. – С. 273-275.

2. Сергеева Т.А., Гиневский Р.С., Лазарев В.А. Модель гистерезиса водоудерживающей способности почвы: физико-статистическое обоснование//Политехническая неделя в СПб: материалы научного форума с международным участием. 2016. С. 396-399.

3. Гиневский Р.С., Терлеев В.В., Топаж А.Г., Лазарев В.А. SoilHysteresis-v.1.0 //Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019666861, 16.12.2019. Заявка № 2019662560 от 12.10.2019.

4. Mualem Y. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project 442. Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1976. 100 p.

5. Воронин А.Д. (1986) Основы физики почв, Москва: МГУ.