

УДК 631.171

МОДЕЛЬ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ВЛАГИ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ПОЧВЫ

Е.В. Золотовская, канд. техн. наук, А.С. Миронов, канд. техн. наук
Днепропетровский ГАУ

У статті наводяться експериментальні дані, на підставі яких було вивчено вплив різних чинників на кількість води у ґрунті. Приведена регресійна модель впливу цих чинників на вказаний показник, за допомогою яких можна прогнозувати його властивості.

Ключові слова: ґрунт, теплофізичні властивості, волога, модель.

Постановка проблеми. На современном этапе развития человечества одной из актуальных проблем является способность почвы поглощать и удерживать достаточное количество влаги, для нормального роста и развития растений. Вода находится в почве в разных состояниях и в зависимости от этого имеет неодинаковое значение для питания растений [1]. Также имеет свойство переходить из одной формы в другую. При переувлажнении почвы все промежутки между ее частицами заняты водой. При высыхании почвы расходуется, в первую очередь, свободная (некапиллярная) вода, а затем капиллярная. Если запасы капиллярной и некапиллярной воды исчерпаны, то растения не могут получать ее из почвы через корневую систему, так как в почве остается только вода, недоступная растениям. Количество воды, которую почва прочно удерживает, а растения не могут использовать, составляет мертвый запас воды, обычно равный максимальной гигроскопичности.

В глинистых почвах, водоудерживающая способность которых очень велика, мертвый запас влаги составляет 10...15% массы почвы, а в песчаных почвах - меньше 1%. Это значит, что при одинаковой влажности (допустим, 23%) глинистая и песчаная почвы имеют различное количество доступной растениям воды: глинистая 6...11%, песчаная 22%. [1,2].

В тепловом режиме почвы наблюдается механизм распространения

© Е.В. Золотовская, А.С. Миронов.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 96. 2012.

тепла. Тепловые свойства почвы определяют изменение температуры почвы в процессе поглощения тепла деятельной поверхностью и его перераспределения в активном слое почвы. Следовательно, определение закономерностей образования почвенной влаги, прогнозирование водных и тепловых свойств почвы является значительной предпосылкой получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Цель работы – изучить влияние теплофизических факторов на количество влаги в почве.

Результаты исследований. Анализ литературных источников [1–3], в которых в основном приводится информация о составе и свойствах почвы, показал, что исследование особенностей режимов различных почв, связанных с прогнозированием функционирования почв, определяется исследованием теплофизических характеристик и водного режима почвы. Поэтому, важно знать, как взаимосвязаны почвенная влага и теплофизические свойства, в частности – теплопроводность, плотность, глубина перепада температур.

Распределение температуры в почвенном профиле зависит от интенсивности теплообмена почвы с окружающей средой. Следовательно, темп изменения температуры в почве определяется не только внутренними тепловыми характеристиками, но и условиями на поверхности почвы. При отсутствии препятствий для теплообмена на поверхности интенсивность теплообмена почвенного профиля со средой определяется его внутренними свойствами. Поэтому коэффициент перепада температур на глубине и на поверхности зависит от тепловых свойств и пропорционален температуропроводности.

Следует отметить, что температуропроводность почвы, так же как и теплопроводность, существенно зависит от влажности. В области низких влажностей вода прочно связана, и процессы теплообмена определяются кондуктивным механизмом переноса тепла в почве. При увеличении влажности происходит рост температуропроводности. В данном диапазоне пленочно-стыковая рыхлосвязанная вода может относительно свободно перемещаться внутри порового пространства, испаряясь на теплых поверхностях и конденсируясь на холодных. В области насыщения по мере перехода пленочно-стыковой влаги в пленочно-капиллярную и возникновения сплошных водяных пробок в части пор пародиффузионный перенос тепла ослабляется, и теплообмен сводится к кондуктивной теплопередаче. Теплопроводность почвы замедляет рост, соответственно, температуропроводность –

уменьшается. Также необходимо учесть, что температуропроводность почвы незначительно связана с физической характеристикой – плотность почвы.

Для оценки влияния теплофизических свойств на количество воды в почве разработана лабораторная установка (рис. 1) и после обработки данных эксперимента получена регрессионная модель.

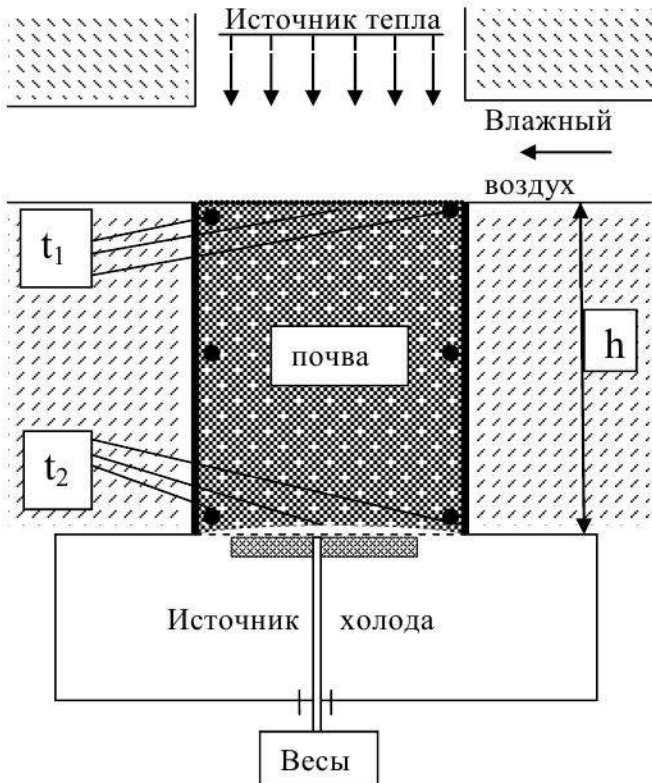


Рис. 1. Схема лабораторной установки

В качестве показателя процесса, характеризующего водный и тепловой режимы почвы было взято количество влаги, образованной за определенный промежуток времени – Y . В качестве факторов, влияющих на данный показатель, использованы отношение температуры t_2 почвы на глубине к температуре t_1 на поверхности почвы – X_1 , относительная влажность воздуха на поверхности почвы – X_2 , плотность почвы – X_3 и глубина измерений температуры в почве – X_4 .

Данные, полученные в ходе экспериментов, приведены в таблицах 1,2. Для построения моделей использовался ортогональный центральный композиционный план второго порядка с ядром 2^4 [4,5].

Таблица 1. Уровни варьирования факторов

Фактор	Уровни варьирования					Шаг варьирования
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	Δ
Отношение температур t_2/t_1 , X_1	0,75	0,6625	0,575	0,4875	0,4	0,0875
Относительная влажность воздуха, %, X_2	38	51	64	77	90	13
Плотность почвы, $г/м^3$, X_3	1,295	1,145	0,995	0,845	0,695	0,15
Глубина измерений температур, мм, X_4	45	83,75	122,5	161,25	200	38,75

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента

№ опыта	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
1	1	1	1	1	3
2	-1	1	1	1	2
3	1	-1	1	1	1,5
4	-1	-1	1	1	0,5
5	1	1	-1	1	2
6	-1	1	-1	1	1,5
7	1	-1	-1	1	1
8	-1	-1	-1	1	0,5
9	1	1	1	-1	1
10	-1	1	1	-1	0,3
11	1	-1	1	-1	0,4
12	-1	-1	1	-1	0,2
13	1	1	-1	-1	0,4
14	-1	1	-1	-1	0,2
15	1	-1	-1	-1	1

16	-1	-1	-1	-1	0,01
17	-1,414	0	0	0	1
18	1,414	0	0	0	2
19	0	-1,414	0	0	0,8
20	0	1,414	0	0	2,2
21	0	0	-1,414	0	0,6
22	0	0	1,414	0	1,4
23	0	0	0	-1,414	0,7
24	0	0	0	1,414	1,7
25	0	0	0	0	1,5

После проведенных расчетов по алгоритму метода были получены следующие оценки коэффициентов в моделях, приведенные в табл. 3.

Таблица 3. Оценки коэффициентов в моделях, характеризующие степень влияния факторов и их взаимодействий на показатель Y

Факторы и их взаимодействия	Y
X_1	0,305
X_2	0,043
X_3	-0,025
X_4	0,325
X_1^2	0,14
X_2^2	0,149
X_3^2	0,1625
X_4^2	0,1625
X_1X_2	0,0938
X_1X_3	-0,0687
X_1X_4	0,0812
X_2X_3	0,2187
X_2X_4	0,381
X_3X_4	0,2187

Для проверки зависимости влияния факторов и их взаимодействий на показатели, а также адекватности полученных ошибок наблюдений S^2 . Для этого показатель в «нулевой» точке $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0$

были проведены четыре повторных опыта. Их результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4. Значения повторных опытов и дисперсий ошибок для показателя У.

Показатель	Значения показателя в повторных опытах				Дисперсия ошибок наблюдений
	1	2	3	4	
У	3,3	0,09	3,1	3,1	0,03

Оценку дисперсии ошибок наблюдений можно представить следующим образом:

$$S^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^4 (Y_i - \hat{Y})^2, \quad (1)$$

где Y_i – наблюдаемое значение показателя У в i-ом повторном опыте; \hat{Y} – среднее значение У в «нулевой» точке, получили дисперсии ошибок наблюдений (табл. 4).

«Пороги значимости» для оценок коэффициентов, характеризующих силу влияния факторов и их эффектов взаимодействия, находились как $h_i \cdot S$, где S – среднее квадратичное отклонение ошибки наблюдения; $h_i = t_{кр}(\alpha; \varphi) \cdot \sqrt{c_j}$, $t_{кр}(\alpha; \varphi)$ – критическое значение распределения Стьюдента для уровня значимости α и числа степеней свободы φ . В проведенных исследованиях $\varphi=3$, $c_1=0,05$ для x_1 , $c_2=0,125$ для x_1^2 , $c_3=0,0625$ для $x_i \cdot x_j$, $i, j=1, \dots, 4$ [4,5]. В результате расчетов получены «пороги значимости» для показателя У (табл. 5).

Таблица 5. «Пороги значимости» для факторов и их взаимодействий

Показатель	«Пороги значимости»		
	X_1	X_1^2	$X_1 X_1$
У	0,022	0,1624	0,053

Исключив из модели факторы и их взаимодействия, величина коэффициентов которых по модулю меньше указанных «порогов значимости», для уровня значимости $\alpha=0,5$ получили следующую зависимость:

$$Y = 0,26 + 0,305X_1 + 0,043X_2 - 0,025X_3 + 0,325X_4 + 0,094X_1X_2 - 0,069X_1X_3 + 0,081X_1X_4 + 0,219X_2X_3 + 0,381X_2X_4 + 0,219X_3X_4 \quad (2)$$

Проверка адекватности полученной модели проводилась по критерию Фишера. Расчетное значение F статистики находили по формуле:

$$F_p = \frac{S_{ocm}^2}{S^2} \quad (3)$$

Для полученных моделей остаточную дисперсию определяли как

$$S_{ocm}^2 = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^n (Y_i - \widehat{Y}_i)^2, \quad (4)$$

где $n=25$ – число опытов; m – число коэффициентов в модели.

Полученные остаточные дисперсии, расчетные и табличные значения статистики Фишера приведены в табл. 6.

Таблица 6. Расчетное и табличные значения статистики Фишера

Показатели	Значения		
	S_{ocm}^2	F_p	$F_{табл}$
Y	0,006	0,2	8,703

Так как расчетное значение статистики Фишера F_p для полученной модели меньше табличного значения $F_{табл}$, следовательно, модель адекватна с надежностью 0,95 истинной зависимости и может использоваться для технологического анализа процесса в почве и прогноза значения показателя Y.

Влияние исследуемых факторов показано на диаграмме (рис.2)

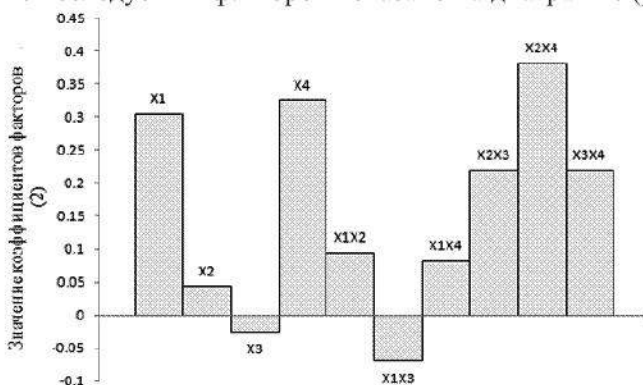


Рис. 2. Диаграмма значимости факторов модели

Выводы. Таким образом, основным фактором, определяющим количество влаги в почве за определенный промежуток времени яв-

ляется перепад температур X_1 и глубина измеряемых температур X_4 . Очевидно, что температура поверхности почвы периодически меняется, соответственно в почве устанавливаются колебания температуры и амплитуда колебаний с глубиной уменьшается. При увеличении фактора X_2 , уменьшении X_3 - параметр Y увеличивается. В эффектах взаимодействий X_2X_4 отметим, что теплоперенос в почве на глубину определяется влажностью, которая, в свою очередь, изменяется во времени и на глубине измерения температур.

Следовательно, выполненные исследования позволяют решить регрессионную модель, с помощью которых можно определить Y и влияние факторов $X_1...X_4$. Проверка на адекватность уравнение физического процесса подтверждает достоверность расчетных результатов в пределах изменений влияющих факторов (табл. 1).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Гордієнко В.П.* Грунтова вологість. – Сімферополь: ЧП «Предприятие Феникс», 2008. – 368 с.
2. *Шейн Е.В., Карпачевский Л.О.* Теории и методы физики почв. – М.: «Гриф и К», 2007. – 616 с.
3. *Качинский Н.А.* Физика почвы. – М.: Высшая школа, 1970. – 358 с.
4. *Хартман К.* Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов – М.: Мир, 1977. – 552 с.
5. *Адлер Ю.П., Е.В Маркова, Ю.В. Грановский.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – М.: Наука, 1976. – 279 с.

МОДЕЛЬ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ВЛАГИ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ПОЧВЫ

В статье представлены экспериментальные данные, на основании которых было изучено влияние разных факторов на количество воды в почве. Показана регрессионная модель влияния данных факторов на показатель, с помощью которых можно прогнозировать его свойства.

Ключевые слова: почва, теплофизические свойства, влажность, модель.

MODEL OF THE QUANTITATIVE MOISTURE AT CHANGING THERMAL PARAMETERS OF GROUND

In article experimental data on the basis of which influence of different factors on amount of water in ground has been investigated are presented. It is shown regression model of influence of the given factors on a parameter by means of which it is possible to predict its properties.

Key words: ground, heat its properties, humidity, model.