

УДК 631.

В. П. ГОРДИЕНКО

**НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ  
ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ ПО КАПИЛЛЯРАМ**

В условиях лабораторных опытов установлено, что с увеличением плотности южного карбонатного чернозема от 0,95 до 1,45 г/см<sup>3</sup> скорость капиллярного поднятия воды снижается. При этом уменьшается количество воды поглощаемой почвой в единицу времени, и влажность почвы после капиллярного увлажнения. Найдены статистические модели зависимости названных показателей от плотности почвы.

Подвижность почвенной влаги способствует, с одной стороны, улучшению водоснабжения растений, а с другой — передвижению воды в зону испарения, что увеличивает ее потери.

Рассмотрим некоторые аспекты этого явления. Одним из основных механизмов передвижения почвенной влаги является ее капиллярное поднятие. Этот механизм становится преобладающим при влажности почвы, превышающей влажность разрыва капилляров. Величина и скорость передвижения воды в почве зависят как от количества капиллярных пор, так и от их диаметра. Известно, что высота подъема воды возрастает с уменьшением радиуса капилляра, однако скорость ее подъема при этом падает, поскольку возрастает трение о стенки капилляра.

Капиллярная подвижность почвенной влаги в земледелии регулируется соответствующим изменением строения почвы. Так, чтобы уменьшить испарение влаги (когда преобладает капиллярный механизм ее движения), верхний слой почвы разрыхляют. Это снижает капиллярную скважность и препятствует подтоку воды к поверхности. И наоборот, если необходимо усилить подток влаги к высеянным семенам, почву уплотняют. Однако никаких придержек относительно исходной плотности, свидетельствующей о необходимости рыхления или уплотнения, а также о желаемых изменениях этих показателей в рекомендациях обычно не приводится. Не известна и количественная характеристика капиллярной подвижности воды в почвах различной плотности. Недостаточная научная обоснованность приемов обработки почвы в этом плане является причиной частого отсутствия желаемого эффекта от их применения.

Экспериментальный материал, накопленный по данному вопросу, невелик по объему и противоречив. Так, Стейпл и Леген [5] установили, что при одной и той же влажности влагопроводность возрастает по мере уплотнения почвы. Однако в опытах Наумова [6] скорость передвижения влаги в серой лесной почве с уплотнением от 1,0 до 1,4 г/см<sup>3</sup> снижалась почти в 2,5 раза. На слабую подвижность влаги в уплотненной почве указывала и Соколовская [7].

Наши исследования [1] показали, что уплотнение южного карбонатного чернозема выше 0,95 г/см<sup>3</sup>, в котором преобладают мелкие агрегаты, происходит не только за счет некапиллярных, но и капиллярных пор, т. е. при этом часть капиллярных пор, очевидно, исчезает, а часть приобретает более мелкие размеры. Поэтому возникает сомнение, что при уплотнении таких почв безоговорочно будет повышаться капиллярная проводимость воды. Кроме того, было установлено, что капиллярное под-

нятие воды в плотной почве происходит значительно медленнее, чем в рыхлой. Это наблюдение и побудило нас провести специальные опыты для изучения качественной и количественной характеристик этого процесса.

Исследования проводили в модельных опытах. Создавали «монолиты» почвы плотностью от 1,0 до 1,6 г/см<sup>3</sup> с интервалом в 0,1 г/см<sup>3</sup>. Образцы почвы отбирали из пахотного слоя, просеивали через сито с диаметром отверстий 5 мм, увлажняли до 20% (по весу), засыпали в цилиндры высотой 10 см и емкостью 500 см<sup>3</sup> и уплотняли послойно через каждый сантиметр. Повторность опыта 5-кратная. Почва представлена южным карбонатным черноземом тяжелосуглинистого механического состава с содержанием гумуса около 3,5% (опытное поле Крымского СХИ).

Капиллярное насыщение проводили по методике Долгова [4]. Нижняя часть «монолита» находилась в непосредственном соприкосновении с водой. Влажность почвы перед насыщением была в пределах 13,7—15,1%. При насыщении водой заданная плотность несколько изменилась (уменьшалась). Новая устойчивая плотность и принималась для дальнейших расчетов.

Наблюдения показали, что скорость капиллярного поднятия с уплотнением почвы уменьшалась. Особенно низкой она была в колонках с плотностью почвы 1,6 г/см<sup>3</sup>, на увлажнение которых требовалось несколько суток (точное время установить не удалось). Результаты опытов с образцами исходной плотностью от 1,0 до 1,5 г/см<sup>3</sup> подвергали корреляционному и регрессионному анализу [2, 3]. Оказалось, что между скоростью капиллярного поднятия воды на высоту 10 см и плотностью почвы существует логистическая зависимость (рис. 1), которая в данном интервале плотности приближенно может быть выражена уравнением Ферхюльста

$$y = \frac{A}{1 + 10^{a+bx}}, \quad (1)$$

где  $x$  — независимая переменная,  $y$  — зависимая переменная,  $A$  — максимальная величина признака,  $a$  и  $b$  — параметры уравнения, определяющие характер логистической кривой. Однако для более точного описания кривой пришлось рассчитать поправку к уравнению, зависимость которой от плотности оказалась близкой к параболической, описываемой уравнением

$$y = a + bx + cx^2, \quad (2)$$

где  $x$  — независимая переменная,  $y$  — зависимая переменная,  $a$  — свободный член уравнения,  $b$  и  $c$  — параметры, определяющие поведение функции при различных значениях аргумента.

Остаточная функция приобрела вид

$$y = \frac{A}{1 + 10^{a+bx}} + a_1 + b_1x + cx^2, \quad (3)$$

статистической моделью которой для южного карбонатного чернозема предгорной зоны Крыма является уравнение регрессии

$$y = \frac{20}{1 + 10^{-6,5765+5,462 \cdot x}} + 133,2 \cdot x - 57 \cdot x^2 - 75,8 \quad (4)$$

$$(\eta \pm s_\eta = 0,99 \pm 0,0007),$$

где  $x$  — объемный вес почвы, г/см<sup>3</sup>,  $y$  — скорость капиллярного поднятия, см/час,  $\eta$  — корреляционное отношение,  $s_\eta$  — статистическая ошибка корреляционного отношения.

Из рис. 1 и расчетов, сделанных по уравнению (4) и приведенных в табл. 1, видно, что в интервалах плотности 0,95—1,1 г/см<sup>3</sup> подвижность

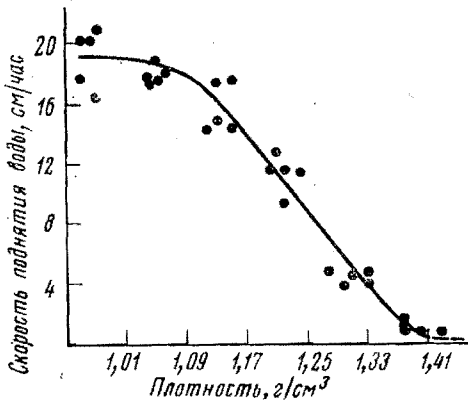


Рис. 1. Скорость поднятия воды в почве

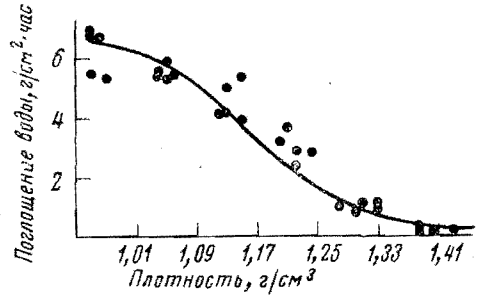


Рис. 2. Зависимость поглощения воды почвой от ее плотности

воды снижается незначительно. Затем скорость ее передвижения резко уменьшается; это уменьшение начинает замедляться при плотности около 1,38 г/см<sup>3</sup>. Очевидно, места, в которых заметно изменяется кривизна линии регрессии, свидетельствуют о существенных изменениях в поровом пространстве почвы.

Количество воды, поглощаемое почвой в колонке в единицу времени, при капиллярном поднятии с уплотнением почвы также снижается (рис. 2, табл. 2). Эта зависимость может быть описана формулой (1), статистической моделью которой для данных почв будет уравнение регрессии

$$y = \frac{7}{1 + 10^{-6,8064 + 5,8708 \cdot x}} \quad (5)$$

( $\eta \pm s_\eta = 0,98 \pm 0,035$ ),

где  $x$  — объемный вес, г/см<sup>3</sup>,  $y$  — количество поглощенной воды при капиллярном промачивании на высоту 10 см, г/час·см<sup>2</sup>.

Таблица 1  
Скорость капиллярного поднятия воды в почве  
различной плотности

Плотность, г/см <sup>3</sup>	Скорость поднятия, см/час	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Скорость поднятия, см/час
0,95	19,2	1,20	12,0
1,00	19,0	1,25	8,8
1,05	18,7	1,30	5,6
1,10	17,5	1,35	2,9
1,15	15,3	1,40	0,5

Влажность рыхлой почвы после капиллярного промачивания была выше влажности более плотной почвы (табл. 2). Эта зависимость близка к гиперболической, выражаемой функцией

$$y = \frac{a}{x} + b \quad (6)$$

где  $x$  — независимая переменная,  $y$  — зависимая переменная,  $a$  и  $b$  — параметры, определяющие поведение функции при различных значениях аргумента. Ее статистической моделью будет уравнение регрессии

$$y = \frac{64,28}{x} - 17,8 \quad (7)$$

( $\eta \pm s_\eta = 0,97 \pm 0,046$ ),

Таблица 2

Влияние плотности почвы на капиллярную влагоемкость насыщения

Плотность, $г/см^3$	Поглощение воды, $г/час.см^2$	Влажность почвы, %		Содержание влаги, % от объема пор, занятых водой	
		весовая	объемная	при капиллярной скважности	при полевой влагоемкости
0,95	6,611	49,9	47,4	85,2	154,3
1,00	6,272	46,5	46,5	85,6	147,1
1,05	5,700	43,4	45,6	85,4	139,8
1,10	4,833	40,6	44,7	86,1	133,4
1,15	3,721	38,1	43,8	86,3	126,6
1,20	2,562	35,8	43,0	86,8	121,1
1,25	1,589	33,6	42,0	87,1	114,7
1,30	0,910	31,6	41,1	87,4	109,6
1,35	0,494	29,8	40,2	87,7	104,4
1,42	0,261	28,1	39,3	88,3	99,7
1,45	0,135	26,5	38,4	88,6	94,8

где  $x$  — объемный вес почвы,  $г/см^3$ ,  $y$  — влажность почвы после капиллярного промачивания, % от веса.

Снижалось при этом количество воды и в единице объема почвы. Сравнение объемной влажности с определенной нами ранее скважностью (I) показывает, что заполненность капиллярных пор после увлажнения в образцах различной плотности была близкой и колебалась в пределах 85,2—88,6%. В то же время в рыхлой почве объем пор, заполненных водой после капиллярного увлажнения, был значительно выше, чем при влажности, соответствующей полевой влагоемкости. С уплотнением почвы эти различия уменьшались, и при плотности, равной  $1,4 г/см^3$ , практически исчезали. При большей плотности почвы, увлажненной до уровня полевой влагоемкости, не все поры заполнялись водой.

Итак, мы разобрали один из многочисленных случаев передвижения почвенной влаги. Оказалось, что с уплотнением южного карбонатного чернозема от 0,95 до  $1,45 г/см^3$  скорость капиллярного поднятия воды уменьшалась. При этом уменьшалось количество воды, поглощаемой в единицу времени, и влажность почвы после капиллярного увлажнения. Зависимость названных показателей от плотности почвы довольно сложна.

#### Литература

1. Гордиенко В. П. Водно-физические свойства южных карбонатных черноземов и некоторые особенности их обработки под озимую пшеницу. Научн. тр. УСХА, вып. 66. Киев, 1972.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. «Колос», 1973.
3. Лакин Г. Ф. Биометрия, «Высшая школа», 1973.
4. Методическое руководство по изучению почвенной структуры. Под ред. И. Б. Ревута и А. А. Роде. «Колос», 1969.
5. Мичурин Б. Н. Энергетика почвенной влаги. Л., Гидрометеониздат, 1975.
6. Наумов С. А. Оптимальная плотность серой лесной почвы для полевых культур и роль механической обработки в ее регулировании. В кн.: Теоретические вопросы обработки почв, вып. 2. Л., Гидрометеониздат, 1969.
7. Соколовская Н. А. О роли плотности почвы в усвоении доступной влаги растениями. Сб. тр. по агрономической физике, вып. 22. Физ. проблемы мелиорации и обработки почвы. «Колос», 1970.

Крымский СХИ

Дата поступления  
22.IV.1976 г.