

А. С. Штанько, В. Н. Шкура

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИМЕНЬШЕЙ ВЛАГОЕМКОСТИ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОЗЕМНЫХ И КАШТАНОВЫХ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Цель исследования – разработка способа инструментально-аналитического определения наименьшей влагоемкости черноземных и каштановых почв степной, сухостепной и полупустынной природно-климатических зон Ростовской области. Достижение поставленной цели обеспечено решением задачи по инструментальному определению физических характеристик почв и установлению экспериментальных зависимостей, описывающих функциональные связи между их параметрами и наименьшей влагоемкостью почвы. В качестве почвенных параметров, оказывающих определяющее влияние на величину наименьшей влагоемкости почвы, рассмотрены плотность сложения почвы и содержание в ней физической глины и гумуса. Полученные трехфакторные экспериментальные математические модели позволяют прогнозировать (определять) среднепрофильные и послойные значения наименьшей влагоемкости почвы по рассмотренным физическим почвенным характеристикам. На основе полученных многофакторных математических моделей разработана методика, позволяющая с приемлемой для практики точностью прогнозировать среднепрофильные и послойные значения наименьшей влагоемкости почвы по известным, определяемым при почвенно-мелиоративных изысканиях (обследованиях) значениям содержания в почве физической глины, гумуса и плотности ее сложения. Предложенный способ инструментально-аналитического прогнозирования значений наименьшей влагоемкости значительно упрощает и снижает трудоемкость работ по определению указанной водно-физической характеристики почв, используемой при проектировании и эксплуатации систем капельного полива растений и других видов орошения. Структура полученных функциональных связей и расчетных зависимостей может быть использована и для других природно-климатических зон почвообразования при соответствующей корректировке экспериментальных коэффициентов и параметров.

Ключевые слова: почвенный покров, черноземы, каштановые почвы, влагоемкость почв, плотность сложения, физическая глина, гумус.

A. S. Shtanko, V. N. Shkura

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

METHOD FOR LOWEST MOISTURE CAPACITY DETERMINATION BY THE EXAMPLE OF BLACK EARTH AND CHESTNUT SOILS OF ROSTOV REGION

The purpose of the research is to develop a method of instrumental and analytical determination of the lowest moisture capacity of chernozem and chestnut soils of the steppe, dry-steppe and semi-desert natural and climatic zones of Rostov region. The achievement of

this goal is provided by solving the problem of instrumental determination of soil physical characteristics and experimental dependencies describing the functional relationships between their parameters and the lowest soil moisture capacity. The bulk density and the content of physical clay and humus in it are considered as soil parameters having a decisive influence on the lowest soil moisture capacity value, The obtained three-factor experimental mathematical models help to predict (determine) the average profile and layer-by-layer values of the lowest soil moisture capacity by the considered physical soil characteristics. The technique allowing to predict the average profile and layer-by-layer values of the lowest soil moisture capacity by known values of physical clay, humus and bulk density content determined during soil-reclamation surveys (research) has been developed on the basis of obtained multifactoral mathematical models. The proposed method of instrumental and analytical predicting the lowest moisture capacity values greatly simplifies and reduces labour intensity to determine the specified hydrophysical soil characteristics used in design and operation of drip irrigation systems and other irrigation types. The structure of the obtained functional relationships and calculated dependencies can also be used for other natural-climatic zones of soil formation with appropriate adjustment of experimental coefficients and parameters.

Key words: soil cover, chernozem, chestnut soil, soil moisture capacity, bulk density, physical clay, humus.

Введение. Практика применения систем и технологий капельного орошения сельскохозяйственных угодий показала настоятельную необходимость более полного и точного учета почвенных факторов влияния на параметры контуров увлажнения почв при капельном поливе растений [1–4]. В качестве основных (определяющих параметры контура увлажнения подкапельного почвенного пространства) характеристик выделены: гранулометрический состав почвы, плотность ее сложения, содержание в почве гумуса и наименьшая влагоемкость [5]. Установление вышеуказанных почвенных параметров предусматривается нормативами и составом почвенных изысканий. Одним из наиболее трудоемких и времязатратных видов исследования почв является определение их водно-физических показателей, и в частности влагоемкости. В связи с этим отметим, что, несмотря на отработанность соответствующей методики исследования, разработки по совершенствованию и снижению трудозатратности определения значений наименьшей влагоемкости продолжают до настоящего времени [6].

В рамках решения указанной задачи была выдвинута рабочая гипотеза о возможности инструментально-аналитического прогнозирования (определения) значений наименьшей влагоемкости почв по известным ее

физическим характеристикам. Основой для выдвижения рабочей гипотезы являются известные сведения о влиянии различных показателей почвы на ее водно-физические характеристики, и на водоемкость почв в частности [7, 8]. Отметим, что известными исследованиями установлены преимущественно однофакторные связи между отдельными почвенными параметрами для определенных типов почв, сформировавшихся в определенных природно-климатических условиях. При этом установленные взаимосоотношения между отдельными почвенными характеристиками в реальной практике прогнозирования геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почв не использовались. Все возрастающая потребность в точности прогнозирования зон увлажнения, формирующихся в почвенном пространстве при капельном поливе, вызвала необходимость установления среднепрофильных ($\bar{W}_{\text{НВ}}$ в процентах от массы сухой почвы (% МСП)) и послойных ($(W_{\text{НВ}})_i$, % МСП) значений наименьшей влагоемкости почвы. Указанная потребность вызвала необходимость проведения точных, затратных по времени и трудоемких полевых и лабораторных измерений и исследований.

Реализация выдвинутой рабочей гипотезы предусматривает предварительное накопление опытного материала, получение соответствующих многофакторных экспериментальных зависимостей и разработку на их основе способа (методики) прогнозирования значений наименьшей влагоемкости почвы по известным физическим почвенным характеристикам. Разработка вышеуказанного способа определения среднепрофильных и послойных значений наименьшей влагоемкости почвы была поставлена целью экспериментально-аналитического исследования.

Материалы и методы. Основу для анализа и обобщения составили материалы авторских и экспериментальных исследований зональных почв Ростовской области и опытов по определению параметров зон (контуров) увлажнения почвенного пространства, формирующихся при капельном

поливе. Сбор исходного экспериментального материала проводился в типичных почвенных зонах области, почвенный покров которых представлен степными, сухостепными и полупустынными почвами: южными и обыкновенными черноземами степной зоны, темно-каштановыми и каштановыми почвами сухостепной зоны и светло-каштановыми почвами полупустынно-сухостепной природно-климатической зоны. Почвенные исследования на экспериментальных площадках совмещались с исследованиями контуров капельного увлажнения почвенного пространства. При проведении почвенных исследований в пределах метровой почвогрунтовой толщи определялись такие почвенные агрофизические характеристики, как содержание в почве физической глины (W_r , % МСП), наименьшая влагоемкость почвы ($W_{\text{НВ}}$, % МСП) и плотность ее сложения (γ , т/м³). Полевые измерения и последующий анализ почвенных характеристик осуществлялись по известным рекомендациям [9]. Исследование контуров капельного увлажнения почв заключалось в отборе почвенных проб, определении влажностных показателей, составлении матриц влажности и последующем построении контуров увлажнения и внутриконтурных разновлажностных линий – изоплет по методикам, приведенным в работах О. Е. Ясониди и др. [10–12]. Полученные результаты полевых исследований и их камеральной обработки анализировались и обобщались с использованием методик математической статистики. Экспериментальные зависимости, описывающие функциональные связи между отдельными почвенными характеристиками и параметрами контуров капельного увлажнения почвы, устанавливались в процессе их корреляционно-регрессионного анализа.

Результаты и обсуждение. На начальном этапе анализа экспериментального материала была проведена качественная оценка влияния установленных почвенных параметров на величину наименьшей влагоемкости почвы, в результате которой было установлено нижеследующее:

- определяющее влияние на величину наименьшей влагоемкости

почвы оказывает ее гранулометрический состав, характеризуемый в том числе и содержанием в почве физической глины (W_r , % МСП). При этом большему значению W_r соответствует бóльшая величина $W_{\text{НВ}}$;

- значимое влияние на величину наименьшей влагоемкости $W_{\text{НВ}}$ оказывает плотность сложения почвы (γ , т/м³). При этом при прочих равных условиях большему значению γ соответствует меньшее значение $W_{\text{НВ}}$;

- на величину наименьшей влагоемкости почвы влияет содержание гумуса ($g_{\text{гум}}$, %) и мощность перегнойно-аккумулятивного слоя ($h_{\text{гум}}$, м).

Отмеченные выше качественные взаимоотношения между характеристиками $W_{\text{НВ}} = f_1(W_r)$, $W_{\text{НВ}} = f_2(\gamma)$ и $W_{\text{НВ}} = f_3(g_{\text{гум}})$ подлежат учету при разработке структуры математической модели $W_{\text{НВ}} = f(W_r, \gamma, g_{\text{гум}})$.

На последующем этапе анализа и обобщения фактических данных исследования проведено сопоставление авторских опытных данных с известными данными, полученными специалистами-почвоведом, и в частности с данными, приведенными А. А. Роде ($W_{\text{НВ}} = f_1(W_r)$) [7]. Приведенные А. А. Роде [7] и авторские данные, проиллюстрированные на рисунке 1, аппроксимированы экспериментальной зависимостью:

$$(\bar{W}_{\text{НВ}})_{1,0} = 10,47 \cdot \ln(\bar{W}_r)_{1,0} - 15,6, \quad (1)$$

где $(\bar{W}_{\text{НВ}})_{1,0}$ – средняя по рассматриваемому метровому почвенному слою (среднепрофильная) величина наименьшей влагоемкости почвы, % МСП;

$(\bar{W}_r)_{1,0}$ – среднее содержание физической глины в пределах рассматриваемого метрового профиля почвогрунтовой толщи, % МСП.

Статистическая оценка данных аппроксимации показала практическую приемлемость экспериментальной зависимости (1), которая позволяет прогнозировать средние значения наименьшей влагоемкости почвы в пределах метровой почвогрунтовой толщи, в диапазоне изменения значений $(\bar{W}_r)_{1,0}$ от 25,0 до 75,0 % МСП при средней дисперсии $\delta_{(\bar{W}_{\text{НВ}})_{1,0}} = \pm 3,4 \%$.

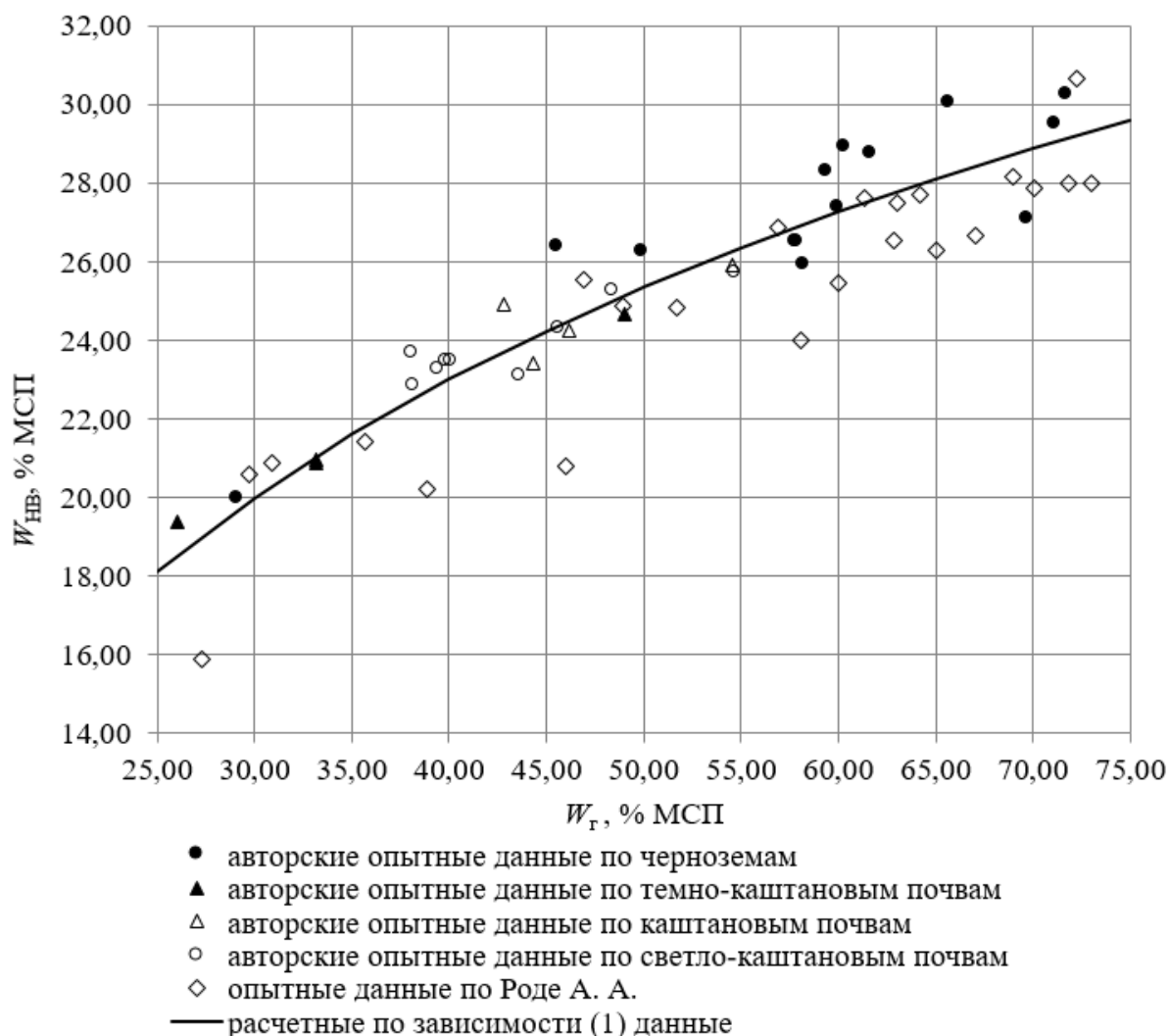


Рисунок 1 – Экспериментальные и расчетные данные по соотношению $W_{нв} = f_1(W_{г})$

Полученная зависимость (1) была апробирована на предмет возможности ее использования для расчета значений наименьшей влагоемкости по отдельным почвенным слоям ($W_{нв}$)_i мощностью 0,1 м. Примеры исходных данных и результаты расчетов наименьшей влагоемкости для черноземных, каштановых и светло-каштановых почв приведены в таблице 1.

Судя по данным таблицы 1, можно заключить нижеследующее:

- зависимость (1) приемлема для определения среднепрофильных значений наименьшей влагоемкости ($\bar{W}_{нв}$)_{1,0} для метрового слоя почвы с точностью, которая по результатам расчета составила 0,6–2,8 %;

- зависимость (1) неприемлема для расчета послойных значений

$(W_{\text{НВ}})_i$ в связи с наличием значительных отклонений расчетных по зависимости (1) значений наименьшей влагоемкости почвы от опытных значений.

Таблица 1 – Опытные почвенные параметры и расчетные по зависимости (1) значения наименьшей влагоемкости

Слой почвы h_i , см	Плотность сложения γ_i , т/м ³	Содержание гумуса $(g_{\text{гум}})_i$, %	Содержание физической глины $(W_{\text{Г}})_i$, % МСП	Наименьшая влагоемкость $(W_{\text{НВ}})_i$, % МСП		Отклонение $\delta_{(\bar{W}_{\text{НВ}})_{1,0}}$, %
				опытная	расчетная	
1	2	3	4	5	6	7
Обыкновенные среднесуглинистые тяжелосуглинистые черноземы (Багаевский район)						
0–10	1,12	4,1	58,80	30,10	27,06	+10,1
10–20	1,15	3,8	59,20	29,10	27,13	+6,8
20–30	1,21	2,5	60,70	29,30	27,39	+6,5
30–40	1,29	2,1	59,20	28,00	27,13	+3,1
40–50	1,28	1,2	60,20	26,50	27,30	–3,0
50–60	1,37	0,9	60,40	26,20	27,34	–4,3
60–70	1,39	0,7	59,90	25,70	27,25	–6,0
70–80	1,43	0,5	60,10	26,50	27,29	–3,0
80–90	1,40	0,0	60,30	25,90	27,32	–5,1
90–100	1,43	0,0	60,40	26,90	27,34	–1,6
Среднее	1,31	1,58	59,90	27,42	27,25	+0,6
Темно-каштановая тяжелосуглинистая слабосолонцеватая почва (Пролетарский район)						
0–10	1,22	2,8	45,20	30,90	24,30	+21,4
10–20	1,26	2,6	48,30	30,00	25,00	+16,7
20–30	1,36	1,8	48,50	27,00	25,04	+7,2
30–40	1,42	1,5	48,80	26,00	25,10	+3,5
40–50	1,52	1,0	49,20	24,40	25,19	–3,2
50–60	1,54	0,5	49,60	23,80	25,27	–6,2
60–70	1,55	0,0	49,80	22,00	25,32	–15,1
70–80	1,57	0,0	50,20	21,10	25,40	–20,4
80–90	1,58	0,0	50,40	20,80	25,44	–22,3
90–100	1,62	0,0	50,80	20,60	25,53	–23,9
Среднее	1,48	1,02	49,06	24,66	25,16	–2,0
Каштановая среднесуглинистая почва (Дубовский район)						
0–10	1,25	2,7	40,80	27,20	23,23	+14,6
10–20	1,29	2,6	42,10	26,00	23,56	+9,4
20–30	1,36	1,4	42,80	25,20	23,73	+5,8
30–40	1,46	0,5	43,80	24,20	23,97	+1,0
40–50	1,49	0,2	43,90	23,70	24,00	–1,3
50–60	1,53	0,0	44,80	22,10	24,21	–9,5
60–70	1,55	0,0	44,90	21,90	24,23	–10,6
70–80	1,64	0,0	45,50	21,70	24,37	–12,3
80–90	1,65	0,0	46,90	21,30	24,69	–15,9
90–100	1,67	0,0	48,00	21,10	24,93	–18,2
Среднее	1,49	0,74	44,35	23,44	24,09	–2,8

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Светло-каштановые среднесуглинистые почвы (Заветинский район)						
0–10	1,26	2,0	37,40	25,80	22,32	+13,5
10–20	1,34	1,6	42,90	25,60	23,76	+7,2
20–30	1,36	1,2	44,40	25,40	24,12	+5,1
30–40	1,38	0,6	44,80	24,70	24,21	+2,0
40–50	1,42	0,2	42,20	24,20	23,58	+2,6
50–60	1,46	0,0	39,90	23,00	23,00	±0,0
60–70	1,47	0,0	38,70	22,30	22,68	–1,7
70–80	1,49	0,0	38,60	21,80	22,65	–3,9
80–90	1,50	0,0	36,20	21,40	21,98	–2,7
90–100	1,52	0,0	35,40	20,70	21,74	–5,0
Среднее	1,42	0,56	40,05	23,49	23,00	+2,1

Имеющие место отличия между опытными и расчетными значениями $(W_{\text{НВ}})_i$ объясняются не учтенным зависимостью (1) значительным влиянием таких почвенных характеристик, как плотность сложения почвы и содержание в ней гумуса. После анализа и обобщения опытных данных была предложена четырехфакторная модель, которая позволяет учесть влияние всех почвенных факторов, предусмотренных рабочей гипотезой, на послойные значения наименьшей влагоемкости. Предложенная модель имеет вид:

$$(W_{\text{НВ}})_i = \left(0,988 + \frac{(g_{\text{гум}})_i}{100} \right) \cdot \left[10,47 \cdot \ln \left((W_{\text{г}})_i \cdot \frac{1,35}{\gamma_i} \right) - 15,6 \cdot \left(\frac{(W_{\text{г}})_i}{60,0} \right)^{0,1} \right] \times \left(\frac{\bar{\gamma}}{\gamma_i} \right)^{h_{\text{гум}} \cdot 1,45}, \quad (2)$$

где $(W_{\text{НВ}})_i$ – наименьшая влагоемкость i -го слоя почвы, % МСП;

$(g_{\text{гум}})_i$ – содержание гумуса в i -м слое почвогрунтовой толщи, %;

$(W_{\text{г}})_i$ – содержание физической глины в i -м слое почвы, % МСП;

γ_i – плотность сложения почвы в рассматриваемом слое почвы, т/м³;

$\bar{\gamma}$ – средняя по почвенному профилю плотность сложения почвы, т/м³;

$h_{\text{гум}}$ – мощность (глубина) перегнойно-аккумулятивного слоя почвы, м.

Работоспособность экспериментальной математической модели (2) и

точность прогнозирования послойных значений наименьшей влагоемкости ($W_{\text{НВ}})_i$ проиллюстрированы примерами сопоставления опытных и расчетных значений этой водно-физической характеристики почвы (таблица 2).

Таблица 2 – Данные сопоставления опытных и расчетных значений наименьшей влагоемкости черноземных почв

Слой почвы h_i , см	Плотность сложения γ_i , т/м ³	Содержание гумуса $(g_{\text{гум}})_i$, %	Содержание физической глины $(W_{\text{Г}})_i$, % МСП	Наименьшая влагоемкость $(W_{\text{НВ}})_i$, % МСП		Отклонение $\delta_{(\bar{W}_{\text{НВ}})_{1,0}}$, %
				опытная	расчетная	
1	2	3	4	5	6	7
Обыкновенный среднемошный карбонатный легкоглинистый чернозем (Веселовский район)						
0–10	1,20	5,4	58,00	33,90	30,69	+9,5
10–20	1,24	4,6	59,00	33,10	29,76	+10,1
20–30	1,25	4,1	60,90	32,00	29,71	+7,2
30–40	1,29	3,9	61,80	31,00	28,97	+6,5
40–50	1,30	3,6	61,90	29,10	28,76	+1,2
50–60	1,34	2,8	62,40	27,30	27,81	–1,9
60–70	1,34	2,2	62,00	26,20	27,59	–5,3
70–80	1,35	1,1	63,70	25,90	27,36	–5,6
80–90	1,37	0,6	63,90	25,20	26,89	–6,7
90–100	1,41	0,0	62,60	24,40	25,89	–6,1
Среднее	1,31	2,77	61,62	28,81	28,34	+1,6
Обыкновенный среднемошный карбонатный тяжелосуглинистый чернозем (Октябрьский район)						
0–10	1,20	4,4	54,06	29,77	29,83	–0,2
10–20	1,23	4,2	58,41	29,00	29,87	–3,0
20–30	1,28	3,7	56,05	28,10	28,32	–0,8
30–40	1,29	3,3	57,12	27,06	28,17	–0,4
40–50	1,31	3,0	58,79	26,80	28,10	–4,8
50–60	1,32	2,4	59,41	26,08	27,69	–6,2
60–70	1,36	2,2	58,08	25,22	26,75	–6,1
70–80	1,37	0,9	58,04	24,80	26,22	–5,7
80–90	1,39	0,0	58,31	24,62	25,68	–4,3
90–100	1,41	0,0	58,40	23,96	25,40	–6,0
Среднее	1,32	2,41	57,76	26,54	27,60	–4,0
Обыкновенный среднемошный тяжелосуглинистый чернозем (г. Новочеркасск)						
0–10	1,05	4,0	43,00	31,60	30,71	+2,2
10–20	1,07	3,2	44,60	31,00	30,47	+1,7
20–30	1,24	2,6	44,80	28,70	26,53	+7,6
30–40	1,26	1,8	44,90	27,70	25,96	+6,3
40–50	1,28	1,4	45,10	27,10	24,93	+8,0
50–60	1,33	1,2	45,50	26,10	24,66	+5,5
60–70	1,37	0,9	46,20	25,20	24,06	+4,5
70–80	1,42	0,5	46,70	24,10	23,29	+3,4
80–90	1,46	0,0	47,00	23,80	22,61	+5,0

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
90–100	1,49	0,0	47,60	22,90	22,31	+2,6
Среднее	1,30	1,56	45,54	26,43	25,55	+3,3
Южный среднемощный легкосуглинистый чернозем (Верхнедонской район)						
0–10	1,28	2,5	27,40	23,10	22,03	+4,6
10–20	1,30	2,0	28,20	22,20	21,84	+1,6
20–30	1,36	1,5	28,40	21,00	20,83	+0,8
30–40	1,40	1,0	28,50	19,90	20,16	–1,3
40–50	1,42	0,6	28,60	19,80	19,83	–0,1
50–60	1,44	0,4	29,40	19,60	19,76	–0,8
60–70	1,45	0,2	29,60	19,40	19,64	–1,2
70–80	1,46	0,0	29,90	18,80	19,54	–3,9
80–90	1,46	0,0	29,90	18,50	19,54	–5,6
90–100	1,47	0,0	30,60	17,90	19,61	–9,6
Среднее	1,40	0,82	29,05	20,02	20,28	–1,3

Судя по данным таблицы 2, отклонения расчетных значений наименьшей влагоемкости ($W_{\text{НВ}})_i$ от опытных в среднем не превышают $\delta_{(W_{\text{НВ}})_i} = 4,0 \%$, а максимальные значения отклонения не превышают 10,1 %.

О точности прогнозирования значений ($W_{\text{НВ}})_i$ по всему банку опытного материала можно судить по данным, представленным на рисунке 2.

Суть способа экспериментально-аналитического определения (прогнозирования) среднепрофильных и послойных значений наименьшей влагоемкости почвы по ее физическим характеристикам (содержанию физической глины, плотности сложения, содержанию гумуса и мощности гумусового слоя) заключается в нижеследующем.

1 Инструментально в общепринятом экспериментальном порядке устанавливаются погоризонтальные или послойные в пределах почвенного профиля значения: содержания в почве глинистых частиц ($W_r)_i$ в % МСП, плотности сложения почвенных слоев или горизонтов γ_i в т/м³, содержания в почве гумуса ($g_{\text{гум}})_i$ в % и мощности гумусированной почвенной толщи (перегнойно-аккумулятивного слоя) $h_{\text{гум}}$ в м.

2 По зависимости (2) аналитическим расчетом определяются послойные значения наименьшей влагоемкости почвы ($(W_{\text{НВ}})_i$, % МСП).

3 По рассчитанным значениям $(W_{\text{НВ}})_i$ определяются среднепрофильные (в пределах заданной глубины почвенной толщи) значения $(\bar{W}_{\text{НВ}})_j$:

$$(\bar{W}_{\text{НВ}})_j = \sum_{i=1}^n (W_{\text{НВ}})_i / \Pi,$$

в случае проведения измерений по слоям одинаковой мощности или средневзвешенное значение $(\bar{W}_{\text{НВ}})_j$ при проведении погоризонтных измерений $(W_{\text{НВ}})_i$ с разной мощностью генетических горизонтов по зависимости вида:

$$(\bar{W}_{\text{НВ}})_j = \frac{(W_{\text{НВ}})_1 \cdot h_{\text{горА}} + (W_{\text{НВ}})_2 \cdot h_{\text{горВ}_1} + (W_{\text{НВ}})_3 \cdot h_{\text{горВ}_2} + (W_{\text{НВ}})_4 \cdot h_{\text{горВс}}}{h_{\text{горА}} + h_{\text{горВ}_1} + h_{\text{горВ}_2} + h_{\text{горВс}}},$$

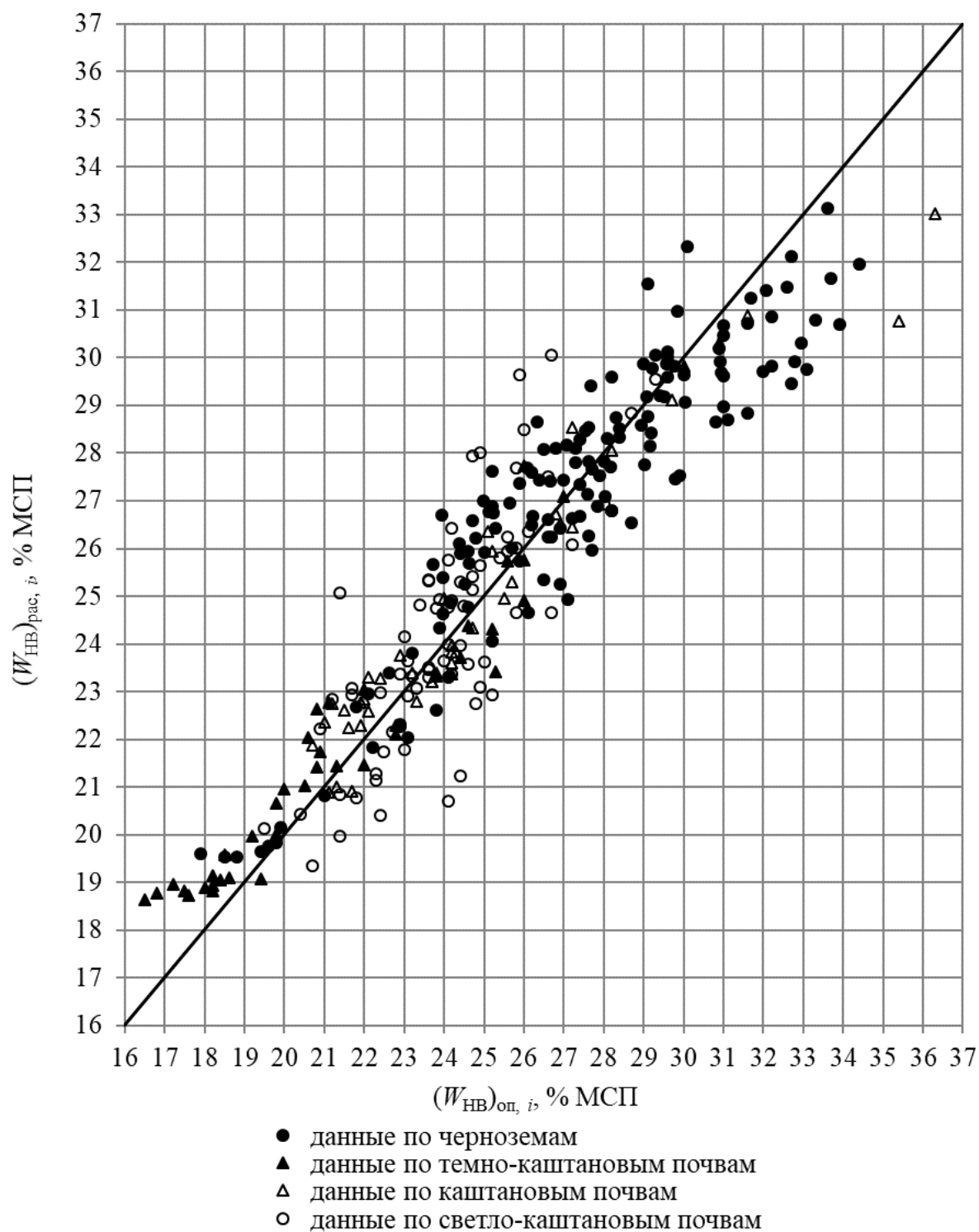
где $h_{\text{горА}}$, $h_{\text{горВ}_1}$, $h_{\text{горВ}_2}$, $h_{\text{горВс}}$ – мощность генетических горизонтов А, В₁, В₂ и Вс в пределах рассматриваемого метрового почвенного профиля, м.

4 Среднепрофильное значение наименьшей влагоемкости почвы по слою почвы 0,5–1,0 м $(\bar{W}_{\text{НВ}})_j$, % МСП, также может быть определено при известных средних или осредненных значениях $\bar{\gamma}$, $\bar{g}_{\text{гум}}$ и $\bar{W}_{\text{г}}$:

$$(\bar{W}_{\text{НВ}})_j = \left(0,988 + 0,01 \cdot (\bar{g}_{\text{гум}})_j\right) \cdot \left[10,47 \cdot \ln\left(1,35 \cdot (\bar{W}_{\text{г}})_j \cdot \bar{\gamma}_j^{-1,0}\right) - 15,6 \cdot \left(0,0167 \cdot (\bar{W}_{\text{г}})_j\right)^{0,1}\right]. \quad (3)$$

Зависимость (3) получена из зависимости (2) подстановкой в нее средних по глубине 0,5–1,0-метрового j -го почвенного профиля значений $(\bar{W}_{\text{г}})_j$, $(\bar{g}_{\text{гум}})_j$ и $\bar{\gamma}_j$ и позволяет определять среднепрофильные значения $(\bar{W}_{\text{НВ}})_j$ с погрешностью менее 5 %.

Отметим, что предложенный способ не только дает возможность прогнозировать значения наименьшей влагоемкости почвы аналитически (без полевых изысканий и лабораторного анализа их результатов), но и позволяет не делать ряд повторностей при непосредственных измерениях этого водно-физического почвенного параметра в условиях полевых исследований.



$(W_{\text{HB}})_{\text{рас}, i}$ – расчетные значения наименьшей влагоемкости почвы;

$(W_{\text{HB}})_{\text{оп}, i}$ – опытные значения наименьшей влагоемкости почвы

Рисунок 2 – Данные сопоставления опытных и расчетных значений наименьшей влагоемкости по почвенным слоям

Методика и расчетные зависимости апробированы на данных исследований специалистов в области капельного орошения. Пример апробации

предлагаемого способа проиллюстрирован на данных о почвенных условиях, полученных Ю. С. Уржумовой [13], и представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Данные сопоставления опытных значений наименьшей влагоемкости почвы по Ю. С. Уржумовой [13] с расчетом по зависимости (2)

Слой почвы h_i , см	Плотность сложения γ_i , т/м ³	Содержание гумуса $(g_{гум})_i$, %	Содержание физической глины $(W_r)_i$, % МСП	Наименьшая влагоемкость $(W_{нв})_i$, % МСП		Отклонение $\delta_{(\bar{W}_{нв})_{1,0}}$, %
				опытная	расчетная	
0–10	1,25	3,6	52,2	30,1	29,08	+3,4
10–20	1,36	2,2	56,7	28,1	27,35	+2,7
20–30	1,40	1,7	57,3	26,2	26,61	–1,6
30–40	1,40	1,2	57,6	24,8	26,52	–6,9
40–50	1,43	0,7	58,6	24,3	26,04	–7,2
50–60	1,47	0,6	59,8	24,1	25,56	–6,0
60–70	1,51	0,4	60,1	24,0	24,94	–3,9
Среднее	1,40	1,49	57,47	25,94	26,59	–2,5

Судя по данным таблицы 3, максимальное отклонение послойных расчетных значений $(W_{нв})_i$ от опытных составляет $\delta_{(\bar{W}_{нв})_{1,0}} = 7,2$ %.

При этом отклонение среднепрофильных опытных значений наименьшей влагоемкости от расчетных составило 2,5 %, что является допустимым.

Отметим, что зависимость (3) дает значение $(\bar{W}_{нв})_{0,7} = (0,988 + 0,015) \times [10,47 \cdot \ln(1,35 \cdot 57,47 \cdot 1,4^{-1,0})] - 15,6 \cdot (0,0167 \cdot 57,47)^{0,1} = 26,63$ % МСП. При опытном значении $(\bar{W}_{нв})_{0,7} = 25,94$ % МСП отклонение составляет $\delta_{(\bar{W}_{нв})_{0,7}} = 2,7$ %, что близко к значению этой величины по таблице 3 (2,5 %).

Выводы

1 В процессе почвенных изысканий установлены физические и водно-физические характеристики наиболее распространенных в районах орошаемого земледелия зональных почв Ростовской области: обыкновенных и южных черноземов, сформировавшихся в степной части региона; темно-каштановых и каштановых почв, характерных для сухих степей, и светло-каштановых почв сухостепной и полупустынной природно-климатических зон. При наличии типовых и (или) видовых отличий иссле-

дованные почвы имеют определенные генетически обусловленные общности и устойчивые соотношения между характеризующими их почвенными характеристиками, и в частности между наименьшей влагоемкостью почвы с одной стороны и ее гранулометрическим составом, плотностью сложения и содержанием гумуса с другой. В результате корреляционно-регрессионного анализа экспериментальных данных установлены достоверные эмпирические зависимости между наименьшей влагоемкостью почвы и указанными физическими почвенными параметрами.

2 На основе полученных многофакторных математических моделей разработан способ, позволяющий с приемлемой для практики точностью прогнозировать среднепрофильные и послойные значения наименьшей влагоемкости почвы по относительно просто определяемым значениям содержания в почве физической глины, гумуса и плотности сложения. Апробация предложенного способа и расчетных зависимостей на данных исследований специалистов в области капельного орошения показала, что максимальное отклонение послойных расчетных значений $(W_{\text{НВ}})_i$ от опытных составляет $\delta_{(\bar{W}_{\text{НВ}})_{1,0}} = 10,1 \%$, а в среднем не превышает 4,0 %. При этом отклонение среднепрофильных расчетных значений наименьшей влагоемкости от опытных не превышает 4,0 %, что является допустимым для практических расчетов.

3 Предложенный способ экспериментально-аналитического определения наименьшей влагоемкости не исключает опытного определения этой характеристики, но позволяет упростить и снизить трудоемкость и времязатратность установления указанной почвенной характеристики. Указанное обстоятельство дает возможность более полного, точного и оперативного учета значений этого параметра при прогнозировании геометрических и влажностных параметров контуров капельного увлажнения почв.

4 Структура полученных функциональных связей и расчетных зависимостей может быть использована и для других природно-климатических

зон при соответствующей корректировке экспериментальных коэффициентов и параметров.

Список использованных источников

1 Ахмедов, А. Д. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении / А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3. – С. 183–188.

2 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 197 с.

3 Ovchinnikov, A. S. Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse / A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, M. P. Meshcheryakov // Environmental Engineering. – 2012. – № 4. – P. 29.

4 Ah Koon, P. D. Influence of drip irrigation emission rate on distribution and drainage of water beneath a sugar cane and a fallow plot / P. D. Ah Koon, P. J. Gregory, J. P. Bell // Agricultural Water Management. – 1990, Jan. – Vol. 17, iss. 1–3. – P. 267–282.

5 Шкура, В. Н. Об учете почвенных водно-физических характеристик при определении параметров контуров капельного увлажнения почвы / В. Н. Шкура, А. С. Штанько // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 4(28). – С. 137–153. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=506&id=517>.

6 Определение наименьшей влагоемкости почв ускоренным методом в полевых условиях / Г. Н. Гасанов, К. М. Гаджиев, З. Н. Ахмедова, Н. И. Рамазанова, Р. Р. Баширов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 2. – С. 11–15.

7 Роде, А. А. Почвоведение / А. А. Роде, В. Н. Смирнов. – М.: Высш. шк., 1972. – 480 с.

8 Шейн, Е. Ф. Теория и методы физики почв / Е. Ф. Шейн, Л. О. Карпачевский. – М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.

9 Практикум по почвоведению / под ред. И. С. Кауричева. – М.: Колос, 1980. – 272 с.

10 Ясониди, О. Е. Капельное орошение / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

11 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

12 Штанько, А. С. Способ графоаналитического построения очертания контуров капельного увлажнения почв / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 67–85. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=531>.

13 Уржумова, Ю. С. Технологические и конструктивные элементы локального низконапорного орошения садов для условий южных черноземов Ростовской области: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Уржумова Юлия Сергеевна. – Новочеркасск, 2004. – 24 с.

References

1 Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., 2012. *Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii* [Soil moisture contours under drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3. pp. 183-188. (In Russian).

2 Vasil'ev S.M., Korzhova T.V., Shkura V.N., 2016. *Tekhnicheskie sredstva kapel'nogo oroseniya: ucheb. posobie* [Technical Means of Drip Irrigation: study guide]. Novocherkassk, RosNIIPM, 197 p. (In Russian).

3 Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P., 2012. Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse. *Environmental Engineering*, no. 4, p. 29. (In English).

4 Ah Koon P.D., Gregory P.J., Bell J.P., 1990. Influence of drip irrigation emission rate on distribution and drainage of water beneath a sugar cane and a fallow plot. *Agricultural Water Management*, vol. 17, iss. 1-3, pp. 267-282. (In English).

5 Shkura V.N., Shtan'ko A.S., 2017. *Ob uchete pochvennykh vodno-fizicheskikh kharakteristik pri opredelenii parametrov konturov kapel'nogo uvlazhneniya pochvy* [Consideration of soil hydro-physical characteristics in determining the contours parameters of drip irrigation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 4(28), pp. 137-153, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=506&id=517>. (In Russian).

6 Hasanov G.N., Gadzhiev K.M., Akhmedova Z.N., Ramazanova N.I., Bashirov R.R., 2017. *Opredelenie naimen'shey vlagomkosti pochv uskorennyim metodom v polevykh usloviyakh* [Determination of lowest soil moisture capacity by the accelerated method in field conditions]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 2, pp. 11-15. (In Russian).

7 Rode A.A., Smirnov V.N., 1972. *Pochvovedenie* [Soil Science]. Moscow, Higher School Publ., 480 p. (In Russian).

8 Shein E.F., Karpachevskiy L.O., 2007. *Teoriya i metody fiziki pochv* [Theory and Methods of Soil Physics]. Moscow, Grief and K Publ., 616 p. (In Russian).

9 Kauricheva I.S., 1980. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Laboratory Course on Soil Science]. Moscow, Kolos Publ., 272 p. (In Russian).

10 Yasonidi O. E., 2011. *Kapel'noe orosenie* [Drip Irrigation]. Novocherkassk, Lick Publ., 322 p. (In Russian).

11 Shkura V.N., Obumakhov D.L., Ryzhakov A.N., 2014. *Kapel'noe orosenie yabloni* [Drip Irrigation of Apple Trees]. Novocherkassk, Lick Publ., 310 p. (In Russian).

12 Shtan'ko A.S., Shkura V.N., 2018. *Sposob grafoanaliticheskogo postroeniya ochertaniya konturov irrigation*. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(29), pp. 67-85, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=531>. (In Russian).

13 Urzhumova Yu.S., 2004. *Tekhnologicheskie i konstruktivnye elementy lokal'nogo nizkonapornogo oroseniya sadov dlya usloviy yuzhnykh chernozemov Rostovskoy oblasti. Avtoreferat diss. ... kand. tekhn. nauk* [Technological and constructive elements of local low-pressure irrigation of gardens for the conditions of the southern black soils of Rostov Region. Abstract of diss. ... cand. tech. sci.]. Novocherkassk, 24 p. (In Russian).

Штанько Андрей Сергеевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Shtanko Andrey Sergeevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Шкура Виктор Николаевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Shkura Viktor Nikolaevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru