УДК 631.432

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЗАУРАЛЬЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ И РАСЧЕТНЫМ МЕТОДАМИ

А. В. ЧЕЛОВЕЧКОВА,
аспирант, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т. С. Мальцева
(641300, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково; тел.: 89225722362; e-mail: chelovechkova_2011@mail.ru)

Ключевые слова: *почвенная влага, термодинамический потенциал, основная гидрофизическая характеристика, капиллярно-сорбционное давление, влажность, поровое пространство почвы, максимальная адсорбционная влагоемкость.*

Одной из важнейших зависимостей для почв является основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) — зависимость между капиллярно-сорбционным давлением влаги и влажностью. ОГХ —количественная характеристика водоудерживающей способности почв. Водоудерживание можно определить как способность почвы удерживать влагу в основном капиллярно-сорбционными силами; это влажность почвы при определенном давлении. Зависимость между капиллярно-сорбционным давлением и влажностью неоднозначна вследствие явления гистерезиса: ОГХ, полученная при иссушении образца, имеет более высокую влажность при одном и том же давлении влаги, чем ОГХ, полученная при увлажнении образца. Для экспериментального определения ОГХ во всей области давлений влаги приходится использовать несколько групп методов: капилляриметрический и тензиометрический для давлений (в единицах pF) от 0 до 2,9, метод мембранного пресса — от 0 до 4–5 и метод сорбционного равновесия — от 4,2 до 6,5. Информация, содержащаяся в ОГХ, сама по себе и в сочетании с дополнительными данными играет существенную роль в описании динамики поля влагосодержания почвы, осуществляющейся за счет потоков влаги. Кривые ОГХ позволяют определять возможное направление передвижения влаги между компонентами системы «почва – растение – атмосфера»; измерять градиент потенциала влаги между точками почвенного профиля — один из необходимых параметров для расчета потока влаги в почве; рассчитывать влагопроводность почвы при разной влажности; рассчитывать распределение влажности над уровнем грунтовых вод; определять границы между полутвердым, пластичным, текучим состоянием почвы и соответственно влажность, оптимальную для механической обработки и т. д. Изменения ОГХ позволяют количественно охарактеризовать эффективность мелиорации, направленной на улучшение водно-воздушного режима почвы. Поскольку данная характеристика позволяет прогнозировать водный режим почв и влагообеспеченность растений, то она получает все более широкое распространение в различных областях почвоведения и смежных дисциплинах.

PLOTTING OF WATER-RETAINING CURVES OF LIXIVIOUS CHERNOZEMS OF THE TRANS URALS BY INSTRUMENTAL AND ESTIMATED METHODS

A. V. CHELOVECHKOVA,
graduate student, Kurgan state agricultural academy of T. S. Maltsev
(Lesnikovo, Ketovsky area, 641300, Kurgan reg.; tel: +7 922 572-23-62; e-mail: chelovechkova_2011@mail.ru)

Keywords: *soil moisture, thermodynamic potential, main hydrophysical characteristic, capillary-sorbcial pressure, moisture, porous filling of the soil, maximum adsorbcial moisture capacity.*

One of the most important dependencies for soil is a basic hydrophysical characteristics (BHC) that is a relationship between capillary-sorption pressure of moisture and humidity. BHC is a quantitative characteristic of water-holding capacity of the soil. Water holding can be defined as the capacity of the soil to hold moisture by capillary-sorption forces; that is soil moisture under a certain pressure. The relationship between capillary-sorption pressure and humidity is ambiguous, due to the hysteresis effect: BHC, received at the desiccation of the sample has a higher humidity at one and the same moisture pressure than the BHC, obtained under the sample moistening. Several groups of methods like capillarymetric and tensiometric for pressure (in units pF) from 0 to 2.9, a method of membrane press — from 0 up to 4–5 and method of sorption equilibrium — from 4.2 to 6.5 are used for the experimental determination of the BHC in the whole pressure range of moisture. The information contained in the BHC, by itself and in combination with additional data plays a significant role in the description of the dynamics of soil moisture field realized due to moisture flows. The BHC curves allow to determine the possible direction of water movement between the system components “soil – plant – atmosphere”; to measure the potential slope of moisture between the soil section points (one of the required parameters for the calculation of moisture flow in the soil); to calculate moisture conduction of the soil under the different humidity; to calculate the distribution of humidity above the level of ground waters; to determine the boundaries between the semisolid, plastic, fluid soil and accordingly humidity, optimal for mechanical processing, etc. The BHC changes allow to characterize quantitatively the efficiency of land reclamation, aimed to improve a water-air regime of the soil. The characteristic is widespread in various fields of soil science and related disciplines because it allows to predict the soil water regime and moisture supply for plants.

Положительная рецензия представлена В. В. Евсеевым, доктором сельскохозяйственных наук, профессором кафедры ботаники и генетики Курганского государственного университета.

Прошло более 40 лет с того момента, как в отечественное почвоведение был введен термин «основная гидрофизическая характеристика» почвы (ОГХ) [2] для обозначения зависимости между матричным потенциалом воды и влажностью почвы. В зарубежной англоязычной литературе использовались синонимы «moisture characteristic» и «retentivity (function)» (последний даже был утвержден международным комитетом по терминологии в форме «кривая водоудерживаемости почвы» и применяется в отечественной литературе). Несмотря на это, термин ОГХ оказался жизнеспособным и широко используется специалистами, как в отечественной [2, 14], так и в зарубежной литературе.

Словосочетания «гидрофизика почв», «гидрофизические свойства почв» были впервые применены в монографии Воронина [2]. До этого были известны «Гидрофизика моря» акад. Шулейкина, «Гидрофизика болот» одного из учителей автора В. В. Романова [11]. Наиболее распространенным эквивалентом термина «гидрофизические свойства почв» были «водные свойства почвы» — выражение, используемое в настоящее время. Его употребление представляется обоснованным, когда речь идет о таких практически полезных понятиях, как полевая или наименьшая влагоемкость (НВ), влажность завядания (ВЗ), влажность разрыва капиллярной связи (ВРК).

В конце 50-х — начале 60-х гг. начинается бурное развитие вычислительной техники. Это открыло новые горизонты перед численными методами решения тех нелинейных уравнений в частных производных, которыми, как уже было к тому времени известно [7, 8], описывается динамика (и ее частный случай — статика) полей влажности W, температуры T и концентрации растворимых веществ C в почве. Позднее к ним прибавился математический аппарат, описывающий миграцию микроорганизмов, динамику микробного роста, развитие растений и их корневых систем, словом — те процессы, которые лежат в основе почвообразования. Стало очевидно, что использование этого физико-математического аппарата в тех случаях, которые затрагивают почвенную влагу, требует соответственных, строгих, физических характеристик, которые применительно к почвенно-гидрологическим процессам просто естественно было назвать гидрофизическими.

Особый интерес представляет структурно-функциональный термодинамический подход, развиваемый школой А. Д. Воронина [2]. Сущность подхода заключается в использовании базовых характеристик, оценивающих термодинамическое равновесие между твердой, жидкой и газовой фазами в почве, которому соответствует ее определенное физическое состояние. При этом подразумевается, что изменение соотношения фаз и их состава приводит к переходу почвенной физической системы из одного состояния в другое или к закономерной смене ее физических свойств и характеристик. Варьирование соотношения жидкой и газовой фаз в циклах иссушения-увлажнения сопровождается закономерными изменениями пористости, водно-воздушных, физико-механических, теплофизических и электромагнитных свойств, проницаемостей пористой среды, подвижности и доступности почвенной влаги. Поэтому, имея базовую характеристику термодинамического равновесия в почвенной физической системе, и располагая данными о связях такой характеристики с разнообразными показателями физических свойств и процессов, исследователь получает возможность осуществлять количественную оценку этих показателей, не прибегая к множеству экспериментов. Чаще всего при термодинамическом описании почвенных систем рекомендуется использовать удельную энергию Гиббса или изобарно-изотермический

Таблица 1

Систематический список почв Кетовского овощного сортоучастка КГСХА, 2010 г.

Индекс	Название почвы	Площадь		Гранулометрический состав	Почвообразующие породы	Залегание по рельефу	Агроэкологическая группа
		га	%				
I	Черноземы выщелоченные малогумусные среднемощные супесчанные	1,70	24,10	Супесчаный, легкосуглинистый	Делювиальные иловатые супеси	Наибольшие возвышенные участки с небольшими уклонами	II
II	Черноземы выщелоченные малогумусные маломощные легкосуглинистые	0,17	2,40	Супесчаный, легкосуглинистый	Делювиальные иловатые супеси	Пологие склоны	II
III	Черноземы выщелоченные слабогумусированные маломощные супесчаные	2,43	34,50	Супесчаный, легкосуглинистый	Делювиальные иловатые супеси	Пологие склоны	II
IV	Черноземы выщелоченные слабогумусированные маломощные супесчаные среднесмытые	0,35	5,00	Супесчаный, легкосуглинистый	Делювиальные иловатые супеси	Пологие склоны	II
V	Темно-серые лесные осолоделые среднемощные супесчаные	0,10	1,40	Супесчаный, легкосуглинистый	Делювиальные иловатые супеси	Широкие понижения и склоны	II
VI	Светло-серые лесные осолоделые маломощные супесчаные	2,30	32,60	Супесчаный, легкосуглинистый	Делювиальные иловатые супеси	Блюдцеобразные понижения	II

потенциал. Поскольку в состоянии равновесия потенциалы отдельных фаз равны, достаточно исследовать зависимость потенциала какой-либо одной фазы от ее содержания в почве и вещественного состава, и по этой зависимости судить о свойствах почвенной физической системы в целом.

Цель и методика исследований.

В нашей работе, для изучения свойств чернозема выщелоченного слабогумусированного среднемощного легкосуглинистого, используется основная гидрофизическая характеристика, отражающая зависимость матричного (Ψ_m) потенциала почвенной влаги от влажности (W). Так как определение ОГХ в полевых и лабораторных условиях требует постановки трудоемких опытов, то представляется мысль определения ОГХ аналитически, на основе экспериментальных данных о физических свойствах почвы.

Исследования проводились на овощном сортоучастке Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т. С. Мальцева. В соответствии с приведенным физико-географическим районированием [6], Курганская область расположена в пределах трех географических областей Западно-Сибирской географической страны. Структура почвенного покрова исследуемого овощного сортоучастка КГСХА сравнительно однородна (табл. 1).

Основной фон почвенного покрова представлен различными видами черноземов выщелоченных. В южной части землепользования в наиболее пониженных частях сформировались серые лесные осолоделые почвы, приуроченные к участкам давних раскорчевок лесной растительности.

Территория овощного сортоучастка КГСХА, как и вся территория Курганской области, расположена в условиях континентального климата. Для него характерны холодная зима, жаркое лето, неустойчивость метеорологических условий, периодически повторяющиеся засухи. В соответствии с существующим климатическим районированием данная территория относится к центральному агроклиматическому району.

Отбор почвенных образцов проводился в летний период 2012 г. В полевых условиях были определены генетические горизонты, их мощность в результате заложения почвенного разреза. Из каждого горизонта в четырехкратной повторности буром Качинского были отобраны образцы на плотность до глубины 100 см с интервалом 10 см.

В результате лабораторных исследований были определены гранулометрический состав (методом пипетки в варианте Качинского), плотность твердой фазы (методом пикнометров), пористость (расчетным методом), содержание гумуса (метод Тюрина в модификации Симакова).

Гранулометрический состав определяли по принципу метода пипетки, основанного на зависимости, существующей между скоростями падения частиц и их размером. Результаты гранулометрического анализа представлены в табл. 2.

Содержание физической глины (фракции < 0,01) на исследуемом участке колеблется от 19,91 до 31,7 %. Верхний гумусовый горизонт (слой 0–40 см) содержит в среднем 23,2 % физической глины. По шкале Качинского данный слой можно оценить как легкосуглинистый. Вниз по профилю содержание фракции физической глины слегка увеличивается до 31,7 %.

В табл. 3 приведены основные физические свойства выщелоченного чернозема исследуемого участка. В пахотном слое чернозема плотность твердой фазы составляет 2,62 г/см^3, с незначительным уве-

Таблица 2

Гранулометрический состав чернозема выщелоченного овощного сортоучастка КГСХА, 2012 г.

Горизонт	Глубина, см	< 0,01, %	< 0,001, %
А	0–10	22,64	13,42
	10–20	23,31	12,48
	20–30	19,91	11,19
АВ	30–40	26,98	17,80
	40–50	34,25	21,71
В	50–60	26,17	20,14
	60–70	30,05	12,61
	70–80	31,70	22,85
ВС	80–90	13,67	11,32
	90–100	23,58	11,74

Таблица 3

Физические свойства чернозема выщелоченного овощного сортоучастка КГСХА, 2012 г.

Горизонт	Глубина, см	Плотность твердой фазы, г/см^3	Плотность, г/см^3	Общая пористость, %
А	0–10	2,63	1,11	57,8
	10–20	2,59	1,33	48,7
	20–30	2,63	1,39	47,1
АВ	30–40	2,63	1,13	57,0
	40–50	2,66	1,39	47,7
В	50–60	2,70	1,21	55,2
	60–70	2,70	1,26	53,3
	70–80	2,70	1,62	40,0
ВС	80–90	2,70	1,42	47,4
	90–100	2,90	1,50	48,3

личением в подпахотном горизонте — до 2,67 г/см^3. Такая плотность твердой фазы характерна для малогумусных почв.

Плотность почвы в верхней части профиля имеет наименьшее значение — 1,11 г/см^3, вследствие более высокого содержания органического вещества. При оценке плотности по Н. А. Качинскому данная величина соответствует культурной свежевспаханной пашне. Средняя плотность гумусового слоя (0–40 см) составила 1,36 г/см^3, что позволяет оценить пашню как сильно уплотненную.

В соответствии с показателями плотности профиля и плотности твердой фазы почвы находится величина общей пористости — суммарного объема всех пор в единице объема почвы. Ее уровень изменяется от 40,0 % в слое 70–80 см, до 57,8 % в слое 0–10 см. Среднее значение пористости в пахотном слое 0–30 см составило 47,9 %. По шкале Н. А. Качинского, такая пористость для пахотного слоя является неудовлетворительной.

По содержанию общего гумуса установили, что исследуемый участок относится к слабогумусированным почвам с содержанием гумуса в верхнем 30-сантиметровом слое 3,6 %. С увеличением глубины, содержание органического вещества уменьшается до 2 % в слое 30–40 см.

Основные физические свойства почвы (гранулометрический состав, плотность, пористость), которые были определены в работе, использовались для расчетного метода определения ОГХ. Достоинством этого метода является использование традиционной для отечественных почвоведов информации. В его основу положена концепция развитая Ворониным, согласно которой каждой почвенно-гидрологической константе на кривой водоудерживания соответствует давление влаги, определяемое одним из уравнений:

пористость:

$$\varepsilon = > P = 0;$$

предел текучести:

$$W_{пт} = > \mathrm{pF} = 2{,}17;$$

наименьшая влагоемкость:

$$W_{нв} = > \mathrm{pF} = 2{,}17 + W_{нв};$$

максимальная молекулярная влагоемкость:

$$W_{ммв} = > \mathrm{pF} = 2{,}17 + 3 \times W_{ммв};$$

максимальная гигроскопичность почвы:

$$W_{мг} = > \mathrm{pF} = 4{,}45.$$

Следовательно, задача восстановления ОГХ свелась к расчету почвенно-гидрологических констант (ПГК) из данных гранулометрического состава почвы. На обширном экспериментальном материале установлено, что значения ПГК связаны с плотностью (ρ), пористостью (ε) почвы и содержанием фракций гранулометрического состава (ω), регрессионными уравнениями:

$$\varepsilon = 0{,}805 - 0{,}183\omega_1 + 0{,}285\omega_2 + 0{,}057\omega_5 - 0{,}266\rho,$$
$$W_{пт} = 0{,}082 + 1{,}163\omega_2 - 0{,}287\omega_3 - 0{,}107\omega_6 + 0{,}312\varepsilon,$$
$$W_{нв} = 0{,}15 + 0{,}085\omega_1 + 0{,}514\omega_2 + 0{,}142\omega_4 - 0{,}145\omega_6,$$
$$W_{ммв} = 0{,}053 + 0{,}941\omega_2 - 0{,}139\omega_3 - 0{,}031\omega_6 + 0{,}165\varepsilon,$$
$$W_{мг} = -0{,}009 + 0{,}198\omega_1 - 0{,}059\omega_2 + 0{,}04\omega_4 + 0{,}078\omega_5,$$

где ω_1, ω_2 ... ω_6 — фракции гранулометрического состава почвы от ила до крупного песка по классификации Н. А. Качинского.

В представленных расчетных уравнениях не учитывается содержание органического углерода, и почвенный профиль не дифференцируется по глубине. Но этот недостаток компенсируется учетом значений плотности и пористости почвы, во многом зависящих от генетических особенностей почвенных горизонтов.

По данным формулам была рассчитана соответствующая влажность для каждого давления влаги. По результатам этих данных был построен график (рис. 1).

В качестве инструментального метода определения основной гидрофизической характеристики в нашей работе в области pF от 4,4 до 6,5 (область адсорбированной прочносвязанной и пленочной влаги) мы использовали метод десорбции паров воды над насыщенными растворами солей. Для этого в предварительно взвешенные бюксы, диаметром 3 см, помещалась навеска почвенного образца, массой 2–3 г в трехкратной повторности. Далее проводилось предварительное насыщение всех образцов водой. С этой целью все почвенные образцы увлажнялись с помощью пипетки. Затем почва перемешивалась и для достижения окончательного равновесия в почвенном образце, бюксы помещались в атмосферу насыщенных паров водой. По истечению недельного срока стаканчики взвешивались на аналитических весах. Для определения изотерм десорбции паров, взвешенные бюксы помещались в эксикаторы, в которых различные величины давлений создавались с помощью насыщенных растворов солей — $LiClH_2O$, $CaCl_2$, $NH4NO_3$, NH_4Cl, KCl, $CaSO_45H_2O$. Эксперимент проводился при нормальном атмосферном давлении и температуре воздуха 21 °С. Контроль наступления равновесия регистрировался по стабилизации веса образца почвы: достижение постоянной массы почвенного образца свидетельствовало о наступлении равновесия между потенциалом воды в почве и относительной упругостью пара, заданной соответствующим насыщенным раствором соли. Для этого почвенные образцы взвешивались через каждые две недели. Равновесие в образцах устанавливалось на протяжении шести недель. После этого стаканчики с почвой высушивались до постоянной массы при 105 °С и вычислялась влажность по формуле:

$$W = (m_2 - m_3)/(m_3 - m_1) \times 100(\%),$$

где m_1 — масса стаканчика, m_2 — масса стаканчика с почвой после установления равновесия при определенном давлении, m_3 — масса стаканчика с абсолютно сухой почвой. Все данные заносились в таблицу, по результатам которой строился график зависимости давления почвенной влаги от влажности почвы.

На точность определения десорбции паров воды образцами и время достижения равновесия влияние оказывает величина свободной поверхности насыщенного раствора соли, который помещается в эксикатор для создания нужного давления. Объем раствора и поверхность должны быть максимальными, так как чем больше объем раствора, тем меньше изменяется его концентрация. Кроме того, большая свободная поверхность способствует более интенсивному переносу воды из почвы в насыщенный раствор соли и наоборот. Также необходимо, чтобы раствор соли в эксикаторе по консистенции был близок к пастообразному состоянию. В этом случае достигается требуемое относительное давление паров, и гарантируется длительное использование эксикаторов с солями.

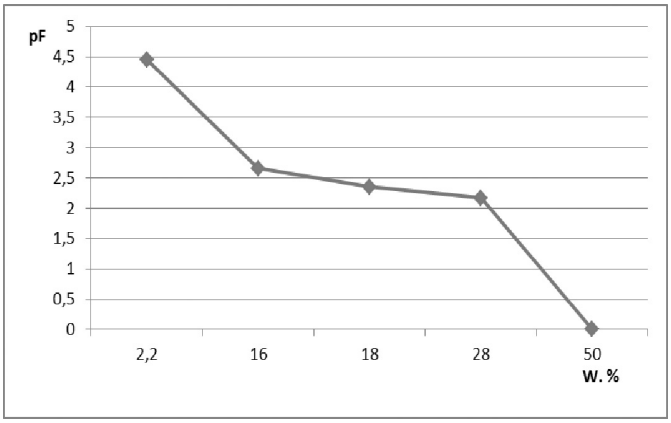

Рисунок 1
Кривая водоудерживающей способности (ОГХ) выщелоченных черноземов овощного сортоучастка КГСХА полученная расчетным методом, 2012 г.

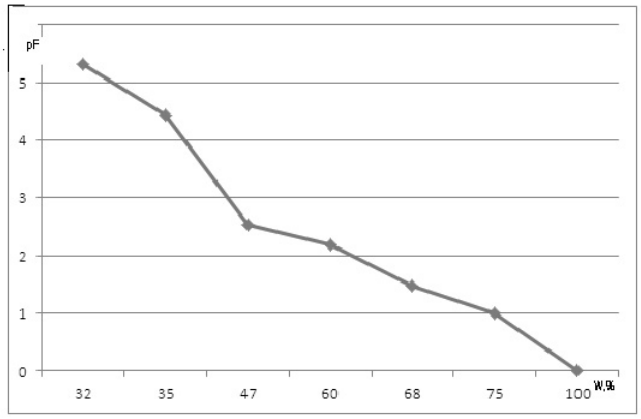

Рисунок 2
Кривая водоудерживающей способности (ОГХ) выщелоченных черноземов овощного сортоучастка КГСХА полученная инструментальным методом, 2012 г.

Для определения основной гидрофизической характеристики в области высоких давлений, pF до 3 (область пленочно-капиллярной и капиллярной влаги) в нашей работе использовался метод, приближенный к методу тензиостатов. Для этого образцы почвы ненарушенного сложения помещаются в обоймы. В качестве обойм использовались обычные алюминиевые бюксы для определения влажности, в дне которых были сделаны отверстия. Почвенные образцы объемом до половины бюксов помещали внутрь так, чтобы открытая часть бюкса была выровнена с поверхностью почвенного образца. Низ образцов накрывали тонкой сеткой. Сеточка привязывалась к поверхности бюкса. Бюксы с образцами ставились на песок, насыщенный водой и капиллярно насыщали образцы трое суток. После капиллярного насыщения образцы взвешивались и ставились на поверхность с песчаной мембраной, которая располагалась в эксикаторе, в котором разрежение достигалось при помощи вакуумного насоса и отслеживалось по вакуумметру. Через 10 суток образцы быстро взвешивались, и в эксикаторе создавалось следующее, уже большее, разрежение. По истечению 10 суток, после достижения равновесия, образцы вновь взвешивались и разрежение увеличивалось. Аналогичная процедура проводилась до разрежения 500 см. в. ст. После нахождения образцов при последнем созданном разрежении и достижении состояния равновесия, образцы взвешивались и высушивались по традиционной методике (описанной выше) для определения влажности. Зная влажность при последнем разрежении и массу абсолютно сухих образцов, рассчитали влажность при соответствующих разрежениях.

Данный метод удобно использовать при массовых определениях основной гидрофизической характеристики почв. Он позволяет проводить определения ОГХ для большого количества образцов. Но следует иметь в виду, что этот метод может давать ошибку.

По результатам, которые были получены при определении влажности инструментальными методами, построили график (рис. 2).

Таким образом, основные трудности экспериментального получения ОГХ следующие: (1) ограниченная область получения данных для определенных значений давления почвенной влаги, вследствие чего необходимо применять различные методы; (2) возможные погрешности в измерении влажности; (3) трудности в отборе и использовании ненарушенных образцов в лабораторных исследованиях.

Результаты исследований.

По формулам связи почвенно-гидрологических констант с плотностью, пористостью почвы и содержанием фракций гранулометрического состава была рассчитана соответствующая влажность для каждого давления влаги. По результатам этих данных был построен график (рис. 1).

На оси ординат откладывается давление влаги, выраженное в логарифмических единицах (pF), на оси абсцисс откладывается влажность почвы, выраженная в процентах (*w*, %).

По рис. 1 мы видим, что в области pF > 4 влажность почвы будет составлять около 2 %. Эта величина является недоступной для растений. В области pF 2,8–4 величина влажности будет изменяться от 2 до 16 %, что соответствует области пленочной влаги. В интервале pF 2,8–2,2 влажность будет изменяться от 16 до 28 %, что соответствует капиллярной области. Область насыщения почвы (28–50 % влажности) соответствует интервалу pF 0–2,2.

При этом кривая ОГХ на рис. 1 имеет ту же форму, что и кривая ОГХ, представленная на рис. 2, которая получена традиционными инструментальными методами.

В результате сравнения графиков ОГХ (рис. 1, 2), полученных инструментальным методом и расчетным методом, на основе восстановления почвенно-гидрологических констант в целом наблюдается хорошее соответствие полученных данных. Разница во влажности объясняется полным насыщением образцов в инструментальном методе, но при этом точки перегиба кривой соответствуют указанным точкам давления в координатах pF.

Выводы.

ОГХ — это количественная характеристика водоудерживающей способности почв. Чем выше влажность почвы при одном и том же давлении, тем выше водоудержание почвы. Зная влажность почвы и имея график ОГХ для конкретного участка, можно найти соответствующую ей почвенно-гидролитическую константу, что позволит осуществлять контроль за влажностью почвы и регулировать сроки и нормы полива растений, оценивать уплотнение почвы при выполнении технологических и мелиоративных мероприятий.

Литература

1. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М. : 1973. 399 с.
2. Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М. : МГУ, 1984. 206 с.
3. Глобус А. М. Экспериментальная гидрофизика почв. М. : Гидрометеоиздат, 1969. 355 с.
4. Глобус А. М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Л. : Гидрометеоиздат, 1987. 427 с.
5. Глобус А. М. Информативность основной гидрофизической характеристики почвы // Почвоведение. 2001. № 3. С. 315–319.
6. Егоров В. П., Кривонос Л. А. Почвы Курганской области. Курган : Зауралье, 1995. 174 с.
7. Мичурин Б. Н. Энергетика почвенной влаги. Л. : Гидрометеоиздат, 1975. 140 с.
8. Нерпин С. В., Чудновский А. Ф. Физика почвы. М. : Наука, 1967. 583 с.
9. Растворова О. Г. Физика почв. Л. : ЛГУ, 1983. 192 с.
10. Роде А. А. Методы изучения водного режима почв. М. : Изд-во АН СССР, 1960. 243 с.
11. Романов В. В. Гидрофизика болот. Л. : Гидрометеоиздат, 1961. 359 с.
12. Шеин Е. В. Курс физики почв. М. : МГУ, 2005. 432 с.
13. Шеин Е. В., Пачепский Я. А., Губер А. К., Чехова Т. И. Особенности экспериментального определения гидрофизических и гидрохимических параметров математических моделей влаго- и солепереноса в почвах // Почвоведение. 1995. № 12. С. 1479–1486.
14. Шеин Е. В. Об особенностях развития физики почв в России // Почвоведение. 1999. № 1. С. 49–53.

References

1. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. Research methods of physical properties of the soil. M. : 1973. 399 p.
2. Voronin A. D. Structural-functional hydrophysics of soils. M. : MSU, 1984. 206 p.
3. Globus A. M. Experimental hydrophysics of soils. M. : Hydrometeoizdat, 1969. 355 p.
4. Globus A. M. Soil-hydrophysical provision of agro-ecological mathematical models. L. : Hydrometeoizdat, 1987. 427 p.
5. Globus A. M. Self-descriptiveness of the main hydrophysical characteristics of the soil // Soil science. 2001. № 3. P. 315−319.
6. Egorov B. P., Krivonos L. A. Soil of Kurgan region. Kurgan : Zauralye, 1995. 174 p.
7. Michurin B. N. Energy of soil moisture. L. : Hydrometeoizdat, 1975. 140 p.
8. Nerpin S. V., Chudnovsky A.F. Physics of soil. M. : Nauka, 1967. 583 p.
9. Rastvorova O. G. Physics of soil. L. : Leningrad state University, 1983. 192 p.
10. Rode A. A. Research methods of soil water regime. M. : Publishing house of AS USSR, 1960. 243 p.
11. Romanov V. V., Hydrophysics of the marshes. L. : Hydrometeoizdat, 1961. 359 p.
12. Shein E. V. Course of soil physics. M. : MSU, 2005. 432 p.
13. Shein E. V, Pachepsky Ya. A., Guber A. K., Chekhova T. I. Features of the experimental determination of hydrophysical and hydrochemical parameters of mathematical models of moisture — salt transfer in soils // Soil science. 1995. № 12. P. 1479−1486.
14. Shein E.V. About the peculiarities of soil physics development in Russia // Soil science. 1999. № 1. P. 49−53.