



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИВЫХ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЗАУРАЛЬЯ

А. В. ЧЕЛОВЕЧКОВА,

аспирант, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т. С. Мальцева
(641300, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково)

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

Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) почв является одной из наиболее информативных, широко используемых функций как в научных почвенно-физических исследованиях, так и в практических задачах. С целью уменьшения объема работ при описании состояния воды в почве, а также сокращения времени их экспериментального проведения, все чаще осуществляются попытки найти связи ОГХ с почвенными гидрологическими, физико-механическими константами, а также с традиционными, широко используемыми свойствами (гранулометрический, агрегатный составы, содержание органического вещества, плотность и др.). Цель исследования нашей работы стало построение и изучение ОГХ выщелоченных черноземов Зауралья инструментальным методом и расчетным методом, на основе восстановления почвенно-гидрологических констант. Достоинством этого метода является использование традиционной для отечественных почвоведов информации. В его основу положена концепция развитая А. Д. Ворониным, согласно которой каждой почвенно-гидрологической константе (ПГК) на кривой водоудерживания соответствует определенное давление влаги. Следовательно, задача восстановления ОГХ свелась к расчету почвенно-гидрологических констант из данных гранулометрического состава почвы. На обширном экспериментальном материале установлено, что значения почвенно-гидрологических констант связаны с плотностью, пористостью почвы и содержанием фракций гранулометрического состава, регрессионными уравнениями, которые позволяют быстро производить расчеты влажности для определенного давления влаги. По проведенным исследованиям были построены графики ОГХ, полученные инструментальным и расчетным методами. В результате сравнения графиков в целом наблюдается хорошее соответствие полученных данных. Разница во влажности объясняется полным насыщением образцов в инструментальном методе. 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 границы между полутвердым, пластичным, текучим состоянием почвы и соответственно влажность, оптимальную для механической обработки и т. д. Изменения ОГХ позволяют количественно охарактеризовать эффективность мелиорации.

THE USING OF WATER-HOLDING CURVES FOR CHARACTERISTICS THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF LEACHED BLACK SOILS OF NORTHERN URALS

A. V. CHELOVECHKOVA,

graduate student, Kurgan State Agricultural Academy of T. S. Maltsev
(Lesnikovo, 641300, Kurgan reg., Ketovsky area)

Keywords: soil moisture, thermodynamic potential, main hydrophysical characteristic, capillary-sorbic pressure, moisture, porous filling of the soil, maximum adsorbic moisture capacity, pressure moisture, tightness, porosity.

Basic hydrophysical characteristics (BHC) of soils are the most informative, widely used function both in scientific soil-physical researches, and in practical tasks. The efforts to find connections of BHC with soil hydrological, physical and mechanical constants and also with traditional, widely used features (granulometric, aggregate structure, organic matter content, density and others) are often used in the purpose to decrease quantity of work during description of water condition in soil and also cutting time of their experimental handling. The goal of research of our work is construction and observation of BHC of leached black earth in Northern Urals with the help of instrumental control and calculation method on the base of soil hydrological constants recovery. Advantage of the method is using of traditional information for native soil scientists. Its base consists of the conception of A. D. Voronin by which every soil hydrological constant in the curve of water retention corresponds to specified moistness pressure. Therefore the task of reconstruction of BHC is calculation of soil hydrological constants from figures of soil granulometric structure. The values of soil hydrological constants connect with density, porosity of soil and content of fraction of granulometric structure, regressive equation that allows making calculations fast of moistness for specific moistness pressure. That pattern was found out on the wide experimental material. Diagrams of BHC getting with the help of instrumental control and calculation method were made due to research. In the results of diagrams comparison there is good figures correspondence. The difference in moistness is caused by full saturation of patterns in instrumental control. The information that consists in BHC as itself and in combination with additive figures plays a great role in description of soil moisture field that is realized by moistness streams. BHC curves allow defining borders between semisolid, plastic, fluid soil conditions and also moistness that is optimal for mechanical cultivation and so on. Change of BHC allows characterizing effectiveness of land reclamation numerically.

Положительная рецензия представлена В. В. Немченко, доктором сельскохозяйственных наук, профессором, главным научным сотрудником Научно-исследовательского института сельского хозяйства.



Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) почв является одной из наиболее информативных, широко используемых функций как в научных почвенно-физических исследованиях, так и в практических задачах. В последние десятилетия гидрофизика почв характеризуется развитием количественных методов исследования свойств почвенной влаги. Основой этих методов является термодинамический подход описания состояния воды в почве. Этому посвящены работы А. Д. Воронина, А. М. Глобуса, Н. А. Муромцева, А. А. Роде, И. И. Судницина, L. A. Richardsa, W. R. Gardnera и многих других. С целью уменьшения объема экспериментальных работ, а также сокращения времени их проведения, все чаще осуществляются попытки найти связи ОГХ с почвенными гидрологическими, физико-механическими константами, а также с традиционными, широко используемыми свойствами (гранулометрический, агрегатный составы, содержание органического вещества, плотность и др.). Такая задача актуальна при исследовании больших территорий с разными почвами [5].

Состояние почвенной влаги (количество, активность, вязкость, подвижность и доступность для растений) является фактором, в значительной степени определяющим большинство почвенных процессов. Отсюда, в частности, вытекает очень важное положение о том, что движение и накопление в почвах влаги и химических веществ необходимо изучать с использованием единой методологической основы, каковой и является гидрофизический подход. Суть его состоит в том, что закономерности формирования, движения и трансформации влаги и химических веществ в почве оцениваются с позиций неравновесной термодинамики, а именно: с использованием термодинамического (химического) потенциала почвенной влаги [1]. Он позволяет количественно оценить ее состояние одновременно и раздельно во всех частях единой экологической системы «приземный воздух — растительный покров — почва — грунтовые воды».

Цель и методика исследований.

Целью исследования стало построение и изучение ОГХ выщелоченных черноземов Зауралья инструментальными и расчетными методами, а также использование кривых водоудерживающей способности для характеристики физико-механических свойств выщелоченных черноземов Зауралья на

примере овощного сортоиспытательного участка Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т. С. Мальцева.

Территория исследуемого овощного сортоучастка Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т. С. Мальцева расположена в пределах Кетовского района Курганской области.

Курганская область расположена на юго-западной окраине Западно-Сибирской низменности, в бассейне реки Тобол, перерезывающей ее территорию почти посередине, занимает удобное географическое положение и входит в состав Уральского экономического района. Это хорошо освоенная в сельскохозяйственном отношении территория, обладающая богатыми природными ресурсами. Область расположена в черноземной полосе лесостепной зоны Зауралья, отличающейся пестротой природных условий, в том числе и почв как функции природных и антропогенных факторов почвообразования.

Основной фон почвенного покрова представлен черноземами выщелоченными различной мощностью. В южной части землепользования в наиболее пониженных частях сформировались серые лесные осолоделые почвы, приуроченные к участкам давних раскорчевок лесной растительности [6].

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.

Объектом исследований стал чернозем выщелоченный слабогумусированный среднемощный легкосуглинистый. Характерной особенностью черноземов Зауралья является языковатость и маломощность гумусового горизонта.

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. А также дополнительно были отобраны образцы для определения основных агрономических свойств.

Таблица 1

Гранулометрический состав и физические свойства чернозема выщелоченного овощного сортоучастка КГСХА, 2012 г.

| Горизонт | Глубина, см | Гранулометрический состав | | Плотность твердой фазы, г/см ³ | Плотность, г/см ³ | Общая пористость, % |
|----------|-------------|---------------------------|-----------|---|------------------------------|---------------------|
| | | <0,01, % | <0,001, % | | | |
| А | 0–10 | 22,64 | 13,42 | 2,63 | 1,11 | 57,8 |
| | 10–20 | 23,31 | 12,48 | 2,59 | 1,33 | 48,7 |
| АВ | 20–30 | 19,91 | 11,19 | 2,63 | 1,39 | 47,1 |
| | 30–40 | 26,98 | 17,80 | 2,63 | 1,13 | 57,0 |
| В | 40–50 | 34,25 | 21,71 | 2,66 | 1,39 | 47,7 |
| | 50–60 | 26,17 | 20,14 | 2,70 | 1,21 | 55,2 |
| | 60–70 | 30,05 | 12,61 | 2,70 | 1,26 | 53,3 |
| | 70–80 | 31,70 | 22,85 | 2,70 | 1,62 | 40,0 |
| ВС | 80–90 | 13,67 | 11,32 | 2,70 | 1,42 | 47,4 |
| | 90–100 | 23,58 | 11,74 | 2,90 | 1,50 | 48,3 |



В результате лабораторных исследований были определены гранулометрический состав по принципу метода пипетки в варианте Качинского, основанного на зависимости, существующей между скоростями падения частиц и их размерами, плотность твердой фазы (методом пикнометров), пористость (расчетным методом), содержание гумуса (методом Тюрина в модификации Симакова) (табл. 1).

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 пахотном слое чернозема плотность твердой фазы составляет 2,62 г/см³, с незначительным увеличением в подпахотном горизонте — до 2,67 г/см³. Такая плотность твердой фазы характерна для малогумусных почв.

Плотность почвы в верхней части профиля имеет наименьшее значение — 1,11 г/см³, вследствие более высокого содержания органического вещества. При оценке плотности по Н. А. Качинскому данная величина соответствует культурной свежеспаханной пашне. Средняя плотность гумусового слоя (0–40 см) составила 1,24 г/см³, что позволяет оценить пашню как 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 изменится 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 51,2 %. По шкале Н. А. Качинского, такая пористость для пахотного слоя является удовлетворительной.

По определению содержания 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 А. Д. Ворониным [2], согласно которой каждой почвенно-гидрологической константе (ПГК) на кривой водоудерживания соответствует определенное давление влаги. Следовательно, задача восстановления ОГХ свелась к расчету почвенно-гидрологических констант из данных гранулометрического состава почвы. На обширном экспериментальном материале установлено, что значения почвенно-гидрологических констант связаны с плотностью (ρ), пористостью (ϵ) почвы и содержанием фракций гранулометрического состава (ω), регрессионными уравнениями:

$$\begin{aligned} \epsilon &= 0,805 - 0,183\omega_1 + 0,285\omega_2 + 0,057\omega_5 - 0,266\rho; \\ W_{mm} &= 0,082 + 1,163\omega_2 - 0,287\omega_3 - 0,107\omega_6 + 0,312\epsilon; \\ W_{нег} &= 0,15 + 0,085\omega_1 + 0,514\omega_2 + 0,142\omega_4 - 0,145\omega_6; \\ W_{ммв} &= 0,053 + 0,941\omega_2 - 0,139\omega_3 - 0,031\omega_6 + 0,165\epsilon; \end{aligned}$$

$W_{mm} = -0,009 + 0,198\omega_1 - 0,059\omega_2 + 0,04\omega_4 + 0,078\omega_5$, где $\omega_1, \omega_2 \dots \omega_6$ — фракции гранулометрического состава почвы от ила до крупного песка по классификации Н. А. Качинского [9].

В представленных расчетных уравнениях не учитывается содержание органического углерода, и почвенный профиль не дифференцируется по глубине. Но этот недостаток компенсируется учетом значительной плотности и пористости почвы, во многом зависящих от генетических особенностей почвенных горизонтов [9].

Результаты исследований.

По формулам, представленным выше, 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 $pF 0-2,2$.

В результате сравнения графиков ОГХ, 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.

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 (ПГК). Но с областями перехода воды между категориями почвенной влаги связаны не только так называемые ПГК, но и ряд других важнейших в агротехническом и почвенно-мелиоративном смысле показателей.

Целесообразность разделения на категории, содействующей в почве воды, обусловлена не только

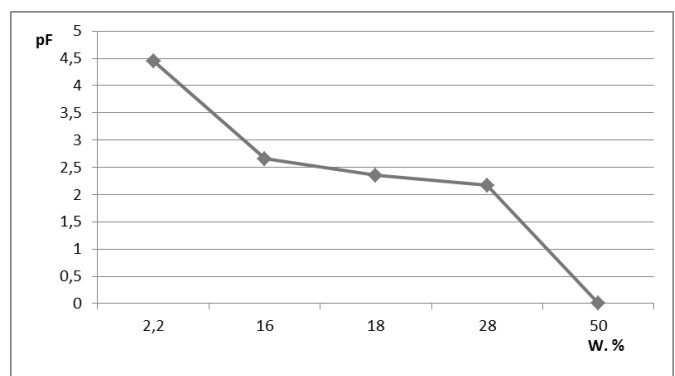


Рисунок 1
Кривая водоудерживающей способности (ОГХ) выщелоченных черноземов овощного сорта участка КГСХА, полученная расчетным методом, 2012 г.



практическими потребностями, но и реально существующими различиями в их поведении. Известно, что зависимость энергетического состояния воды от влажности почвы аппроксимируется различными математическими функциями в разных интервалах влажностей. Участие воды в определении важнейших физико-механических свойств почв тоже зависит от интервала влажностей. Все это связано как с изменением характера и величины сил, определяющих энергетическое состояние воды в почвах, так и с особенностями расположения воды в поровом пространстве почв.

Так, первую область переход, влажность которой составляет менее 2,2 % (рис. 1), на кривых водоудерживающей способности почв можно определить как переход воды из адсорбированной прочносвязанной в пленочную рыхлосвязанную. При потенциалах воды ниже адсорбированной влаги вода находится под сильным влиянием молекулярных и электростатических сил, возникающих на поверхности твердой части почвы, и поэтому, свойства воды изменены по сравнению с теми, которые наблюдаются в объеме. Величины потенциалов адсорбированной воды закономерно смещаются в сторону более низких значений по мере утяжеления гранулометрического состава почв и в координатах логарифм потенциала воды — влажность почвы лежат на прямой, которая аппроксимируется уравнением

$$pF_{ac} = 5,21 + 3W,$$

где W — содержание воды в почве в г/г.

На основании наблюдений за динамикой усадки почв было установлено, что с этой областью совпадает влажность предела усадки почв, которая играет существенную роль в формировании почвенной структуры и оказывает влияние на ряд важнейших производственных характеристик почв.

В следующей области перехода на кривых водоудерживающей способности влажность изменяется от 2,2 до 16 %. Это переход пленочно-стыковой воды в пленочно-капиллярную. Этот переход описывается уравнением вида

$$pF_c = 2,18 + 3W,$$

где W — содержание воды в почве в г/г.

Уравнение зависимости между потенциалом влаги и влажностью вида $pF_c = 2,18 + 3W$ соответствует состоянию «спелости» почвы, то есть состоянию, отвечающему минимуму энергетических затрат при обработке почвы. При физической спелости происходит не только оптимальное крошение, но и отмечается минимальной удельное сопротивление вспашке, которое с изменением (увеличением или уменьшением) влажности увеличивается. Минимум удельного сопротивления почвы при пахоте приходится на влажность, близкую к влажности, соответствующей потенциалу максимальной молекулярной влагоемкости.

Появление липкости у почвы, то есть способности прилипать к другим предметам при минимальной нагрузке, тоже связано с областью перехода от пленочно-стыковой влаги к пленочно-капиллярной. При потенциалах ниже Ψ_c липкость у почвы отсутствует из-за сравнительно небольшой доли смоченной поверхности, приходящейся на всю поверхность

контактирующего с почвой предмета. Однако эта площадь резко возрастает при слиянии менисков и заполнении пор водой, что приводит к появлению у почвы липкости при влажности, близкой к влажности Ψ_c . Влажность почвы, при которой проявляется липкость, является важным арготехническим показателем, так как позволяет оценивать уплотняющее воздействие сельскохозяйственной и транспортной техники.

Расчетно-экспериментальный метод определения зависимости $\Psi(W)$ позволяет найти на кривой водоудерживающей способности почвы область перехода пленочно-капиллярной воды в капиллярную. Это считается там, где зависимость $\Psi(W)$ начинает отклоняться от расчетной вследствие того, что определяющее влияние на удержание воды в почве начинают оказывать капиллярные силы, чутко реагирующие на неоднородность в распределении пор по размерам. Влажность почвы, при которой происходит смена капиллярно-сорбционного механизма удерживания воды на капиллярный, можно назвать максимальной капиллярно-сорбционной влагоемкостью. Потенциалы воды, соответствующие максимальным капиллярно-сорбционным влагоемкостям, лежат на прямой, соответствующей уравнению

$$lq|\Psi_{\text{мксв}}| = 1,17 + W.$$

В тех случаях, когда зависимость $\Psi(W)$ определяют на образцах с ненарушенной структурой, величина максимальной капиллярно-сорбционной влагоемкости достаточно хорошо совпадает с полевой влагоемкостью при условии, что горизонт, в котором определяют эту величину, не подстилается малопроницаемыми плотными горизонтами или слоями почвы.

С областью перехода капиллярной воды в капиллярно-гравитационную связаны влажность предела текучести и порозность инфильтрации.

Кроме того, по кривым ОГХ можно рассчитать такие важные структурные характеристики, как распределение объемов по размерам пор и зависимость ненасыщенной гидравлической проводимости от влажности, и дифференцированно, то есть с учетом конкретных структур, классифицировать поры по функциям.

Выводы.

Таким образом, 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. Так, при влажности почвы нашего участка начиная с 16 % включительно и до 18 %, можно говорить о состоянии физической спелости почвы, а, следовательно, о ее готовности к обработке. При влажности 18 % начинает проявляться липкость, которая будет оказывать отрицательное влияние на условия обработки. При влажности 28 % наблюдается проявление пластичности и при влажности 50 % почва переходит в состояние текучести.

Ввиду фундаментального значения основной гидрофизической характеристики почв, эта зависимость получает все более широкое распространение в самых различных областях почвоведения и смежных дисциплинах.



Литература

1. Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М. : Изд-во МГУ, 1984. 206 с.
2. Воронин А. Д. Основы физики почв. М., 1986. 244 с.
3. Глобус А. М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Л. : Гидрометеоздат, 1987. 427 с.
4. Глобус А. М. Информативность основной гидрофизической характеристики почвы // Почвоведение. 2001. № 3. С. 315–319.
5. Дембовецкий А. В. Основная гидрофизическая характеристика : связь с почвенными константами и расчет по физическим свойствам : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1998. 19 с.
6. Егоров В. П., Кривонос Л. А. Почвы Курганской области. Курган : Зауралье, 1995. 174 с.
7. Мичурин Б. Н. Энергетика почвенной влаги. Л. : Гидрометеоздат, 1975. 140 с.
8. Роде А. А. Методы изучения водного режима почв. М. : Изд-во АН СССР, 1960. 243 с.
9. Шейн Е. В., Архангельская Т. А., Гончаров В. М. и др. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. М. : Изд-во МГУ, 2001. 199 с.
10. Шейн 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.
11. Gander R. A method of measuring capillary tension of soil moisture over a wide moisture range. SS, 1937. Vol. 43. P. 238–277.

References

1. Voronin A. D. Structural and functional hydrophysics soils. M. : Publishing office of Moscow State University, 1984. 206 p.
2. Voronin A. D. Fundamentals of Soil Physics. M., 1986. 244 p.
3. Globus A. M. Soil and hydrophysical providing agro-ecological mathematical models. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1987. 427 p.
4. Globus A. M. Informative water retention curve of the soil // Soil science. 2001. № 3. P. 315–319.
5. Demboveckiy A. V. Basic hydrophysical characteristics : connection with soil constants and calculation due to physical features : author. dis. ... cand. of biol. sc. M., 1998. 19 p.
6. Egorov V. P., Krivonos L. A. Soils Kurgan region. Kurgan : Publishing office of Northern Urals, 1995. 174 p.
7. Michurin B. N. Energy soil moisture. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1975. 140 p.
8. Rode A. A. Methods of studying the soil water regime. M. : The Academy of Sciences of the USSR, 1960. 243 p.
9. Shein E. V., Arkhangelskaya T. A., Goncharov V. M. et al. Field and experimental methods of research of soil physical features and modes. M. : MGSU, 2001. 199 p.
10. Shein E. V., Pachepskiy Ya. A., Guber A. K., Chekhova T. I. Features of experimental determination of hydrophysical and hydrochemical parameters of mathematical models of moisture and salt transport in soils // Soil science. 1995. № 12. P. 1479–1486.
11. Gander R. A method of measuring capillary tension of soil moisture over a wide moisture range. SS, 1937. Vol. 43. P. 238–277.