

## ВОДОУДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

Исследованы некоторые физические свойства и водоудерживающая способность почв степной зоны (Воронежская область). Выявлены особенности водоудерживания почв во всем диапазоне влажностей для чернозема, солонца и солоди на циклах иссушения-увлажнения. Дана оценка степени проявления гистерезиса основной гидрофизической характеристики этих почв в единицах влажности и интегральной энергии водоудерживания. Установлено, что основным фактором, определяющим степень капиллярно-сорбционного гистерезиса, является дисперсность. Показано, что процессы набухания и усадки усиливают гистерезис основной гидрофизической характеристики (ОГХ) в капиллярной области. В сорбционной области различия влажностей при одном значении потенциала воды колеблется в пределах от 0,005 г/г в горизонте E солоди до 0,018 г/г в нижних горизонтах солонца. В капиллярной области гистерезис ОГХ выражен в пределах от 0,053 г/г в горизонте ВССа чернозема до 0,102 г/г в ВСа горизонте солонца. Интегральная энергия водоудерживания наиболее полно отражает влияние состава и свойств почв на степень проявления капиллярно-сорбционного гистерезиса. Максимальные значения разность энергий водоудерживания на циклах иссушения-увлажнения принимает в области адсорбированной влаги и колеблется от 701 джоуль/кг в горизонте E солоди до 3182 джоуль/кг в ВNa горизонте солонца. В области пленочной влаги разница энергий водоудерживания принимает более низкие значения – от 1 джоуль/кг в горизонтах ВNa и ВСа солонца до 24 джоуль/кг в горизонте АВ чернозема. В области капиллярной влаги энергия водоудерживания принимает свои минимальные значения и ее разность на циклах иссушения и увлажнения колеблется от 0,2 джоуль/кг в горизонте А чернозема до 1,2 джоуль/кг в горизонте Вg солоди.

**Ключевые слова:** почвы степной зоны, основная гидрофизическая характеристика почв (ОГХ), гистерезис ОГХ, интегральная энергия водоудерживания.

Среди физических свойств почв, определяющих почвенное плодородие степных почв, ведущее место занимают водные свойства, в т. ч. их водоудерживающая способность.

В современной гидрофизике почв большое теоретическое и практическое значение имеет зависимость влажности почв от капиллярно-сорбционного потенциала воды [1], или основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) [2, 3]. Эта зависимость позволяет определять важнейшие гидрологические константы, широко используемые при расчетах в гидротехнических мелиорациях почв.

Однако в реальных условиях эта зависимость носит гистерезисный характер, т. е. неоднозначна в зависимости от предыстории процесса, от предшествующих циклов иссушения-увлажнения [5, 7].

И в этих условиях влажность почв неоднозначна при одном и том же значении потенциала воды [11, 12, 14].

Учет гистерезиса ОГХ важен при использовании математического моделирования для прогноза изменения водного режима почв и ландшафтов.

Для практических целей оценка гистерезиса ОГХ важна для почв степной зоны, в которой

интенсивно развито земледелие с широким применением мелиоративных мероприятий. [4].

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись почвы степной зоны Воронежской области: чернозем типичный, мощный, тяжелосуглинистый (А 0–52 см; АВ 52–80 см; ВСа 80–140 см; ВССа 140–147 см), солодь луговая, обычная, мелкодерновная, среднемошная, среднесуглинистая (Ad 0–5 см; E 5–29 см; Вg 29–56 см; ВСg 56–94 см; ВССа 94–124 см), солонец лугово-черноземный, глубоко-солончаковатый, глубоко-карбонатный, среднеореховатый, легко-среднесуглинистый (АЕ 0–14 см; ВNa 14–60 см; ВСа 60–80 см; ВС 80–108 см).

Гранулометрический состав почв определяли на лазерном дифрактометре ANALYSETTE 22 Comfort, общую удельную поверхность рассчитывали по методу БЭТ по методу десорбции паров воды, объемные усадку и набухание определяли методом Васильева. Зависимость капиллярно-сорбционного потенциала почв от влажности на циклах иссушения и увлажнения определялась тремя методами. В диапазоне низких влажностей – методом сорбционного равновесия над насыщенными растворами со-

лей с относительным давлением паров воды  $P/P_0$ , равным 0,15; 0,32; 0,55; 0,86; 0,98.

В капиллярной области – капилляриметрическим методом [15]. Среднюю часть кривой вододерживания почв определяли расчетно-экспериментальным методом [1].

### Результаты и обсуждение

Исследуемые почвы имеют значительные различия в гранулометрическом составе. Наиболее тяжелый состав у чернозема.

При этом содержание физической глины вниз по профилю возрастает от 53,9 до 64,9 % (табл. 1) Наиболее легкий состав у солоди. В верхних E и Bg горизонта содержание физической глины не превышает 39,9 % (среднесуглинистые).

Вниз по профилю у солоди наблюдается утяжеление состава до тяжелого суглинка (47,7–50,0 %). Солонец по гранулометрическому составу занимает промежуточное положение между черноземом и солодью.

Другим показателем степени дисперсности почв является удельная поверхность [7]. Исследуемые почвы имеют значительные различия в величинах удельной поверхности. Более легкая по гранулометрическому составу луговая солодь характеризуется относительно низкими величинами удельной поверхности от 33 в горизонте E до 111 м<sup>2</sup>/г в горизонте Bg (табл. 1).

В глинистом по составу черноземе полная удельная поверхность высока и составляет от

92 м<sup>2</sup>/г в горизонте BCa до 149 м<sup>2</sup>/г в горизонте A.

В солонце лугово-черноземном величины полной удельной поверхности также высоки и колеблются в от 73 м<sup>2</sup>/г в горизонте BC до 136 м<sup>2</sup>/г в горизонте BNa.

Механизмы процессов набухания и усадки оказывают значительное влияние на вододерживающую способность почвы. В наименьшей степени эти процессы выражены в солоди. В этой почве значения набухания в горизонте E– составляет 5,8 % , а усадка 10,3 %. Вниз по профилю у солоди эти параметры возрастают благодаря утяжелению гранулометрического состава (табл. 1). В черноземе и солонце процессы набухания и усадки выражены сильнее, чем в солоди, но имеют некоторые особенности. Так набухание в солонце в целом по профилю несколько выше чем у чернозема, однако, усадка, наоборот, сильнее выражена в генетических горизонтах чернозема (табл. 1). Причиной этих особенностей является различие в величинах внутридоменной и междоменной усадки [6]. Среди исследованных почв содержание илистой фракции максимально в черноземе. Следовательно, величина внутридоменной усадки в черноземе максимальна. .

Поскольку энергетическое состояние воды в почве в зависимости от её влажности изменяется в очень широких пределах, её условно делят на три диапазона [3]: область низких влажностей (при величине рF 6,4–4,5), область

Таблица 1. Некоторые физические свойства исследуемых почв

Горизонт, глубина, см	Ил <0,001 мм	Физ.глина <0,01 мм	Объемное набухание, %	Объемная усадка, %	Полная удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
Солодь луговая					
E (5-29)	3,2	34,3	5,8	10,3	33
Bg (29-56)	7,8	39,9	12,6	23,5	111
BCg (56-94)	9,3	47,7	13,8	25,0	108
BCCa (94-124)	11,2	50,0	15,3	27,5	99
Чернозем типичный					
A (0-52)	7,4	53,9	13,6	24,5	149
AB (52-80)	10,2	60,5	15,0	27,8	122
BCa (80-140)	12,8	63,0	16,3	30,2	92
BCCa (140-147)	13,6	64,9	16,5	30,8	106
Солонец лугово-черноземный					
AE (0-14)	10,9	50,7	14,5	22,8	105
BNa (14-60)	10,1	45,8	19,6	26,0	136
BCa (60-80)	9,6	44,3	15,3	21,7	127
BC (80-108)	14,5	53,0	17,8	26,5	73

средних влажностей (pF 4,5–3) и область высоких влажностей (pF 3–1).

Поскольку механизмы проявления капиллярно-сорбционного гистерезиса различны в областях различного влагосодержания [9, 10, 14], оценка степени его проявления рассмотрена в отдельности (табл. 2).

В области гигроскопической влаги величина сорбционного гистерезиса колеблется от 0,005 г/г в горизонте E солоди до 0,018 г/г в нижних горизонтах солонца. (табл. 2).

Эти различия обусловлены гранулометрическим составом и величинами удельной поверхности (табл. 1). В области пленочной влаги (pF 4,5–3) величина гистерезиса растет.

Здесь она принимает значения от 0,007 г/г в горизонте E солоди до 0,062 г/г в горизонтах АВ чернозема и ВСа солонца (табл. 2). В наибольшей степени разница равновесных влажностей на циклах иссушения-увлажнения при одном значении потенциала выражена в капиллярной области.

Она колеблется от 0,053 г/г в горизонте ВССа чернозема до 0,102 г/г в горизонте ВСа солонца. На величину гистерезиса ОГХ в капиллярной области накладываются процессы набухания и усадки, а также гидрофильность или гидрофобность поверхности почвенных частиц и связанные с этим явления смачивания.

Площадь петли капиллярно-сорбционного гистерезиса характеризует изменение свобод-

ной энергии в почве по величине объема влаги в процессах сушки-увлажнения, и, следовательно, ее можно использовать для количественной оценки этого явления [2, 3, 9]. Площадь петли гистерезиса оценивается по разности интегральной энергии водоудерживания [8] на циклах иссушения и увлажнения.

Максимальные значения разность энергий водоудерживания принимает в области адсорбированной влаги и колеблется от 701 джоуль/кг в горизонте E солоди до 3182 джоуль/кг в ВNa горизонте солонца (табл. 3).

В области пленочной влаги разница энергий водоудерживания принимают более низкие значения – от 1 джоуль/кг в горизонтах ВNa и ВСа солонца до 24 джоуль/кг в горизонте АВ чернозема. В области капиллярной влаги энергия водоудерживания принимает свои минимальные значения и ее разность на циклах иссушения и увлажнения колеблется от 0,2 джоуль/кг в горизонте А чернозема до 1,2 джоуль/кг в горизонте Вg солоди.

Столь значительные различия в разнице интегральных энергий водоудерживания на циклах иссушения и увлажнения объясняются природой сил удерживающих влагу.

Если в капиллярной области давления порядка 0,01–1,0 атмосфер, то в адсорбционной оно достигает тысяч атмосфер. Учет гистерезиса ОГХ почв важен для практической области. Если режим орошения контролируется по

Таблица 2. Средние значения абсолютного гистерезиса  $\Delta W$  (г воды/г почвы) в исследуемых почвах

Почва, горизонт, глубина, см	$\Delta W$ , г/г		
	Область низких значений влажности (pF 6,4-4,5)	Область средних значений влажности (pF 4,5-3)	Область высоких значений влажности (pF 3-1)
<b>Чернозем типичный</b>			
A (0-52)	0,013	0,038	0,078
AB (52-80)	0,012	0,062	0,097
BCa (80-140)	0,013	0,045	0,076
BCCa (140-147)	0,014	0,042	0,053
<b>Солодь луговая</b>			
E (5-29)	0,005	0,007	0,057
Bg (29-56)	0,013	0,023	0,062
BCg (56-94)	0,013	0,043	0,058
BCCa (94-124)	0,012	0,047	0,077
<b>Солонец лугово-черноземный</b>			
AE (0-14)	0,016	0,046	0,083
BNa (14-60)	0,018	0,047	0,072
BCa (60-80)	0,018	0,062	0,102
BC (80-108)	0,018	0,044	0,086

Таблица 3. Степень проявления гистерезиса интегральной энергии вододерживания ( $\Delta E$ , джоуль/кг почвы) в различных областях влажности исследуемых почв

Почва, горизонт, глубина, см	Область низкой влажности (адсорбированной влаги)	Область средних значений влажности (пленочной влаги)	Область высоких значений влажности (капиллярной влаги)
Чернозем типичный			
A (0-52)	1277	9	0,2
AB (52-80)	1421	24	0,5
BCa (80-140)	1269	7	1,0
BCCa (140-147)	1188	17	0,3
Солодь луговая			
E (5-29)	701	7	0,5
Bg (29-56)	1928	15	1,2
BCg (56-94)	1550	8	0,4
BCCa (94-124)	1424	7	0,3
Солонец лугово-черноземный			
AE (0-14)	2276	4	0,5
BNa (14-60)	3182	1	0,9
BCa (60-80)	2010	1	0,5
BC (80-108)	1915	8	0,4

Таблица 4. Влажность почвы при гидрологических константах (ВРК-влажность разрывов капиллярной связи, НВ – наименьшая влагоемкость), рассчитанных по кривым ОГХ на циклах иссушения («исс») и увлажнения («увл»)

Почва, горизонт, глубина, см	ВРК		НВ	
	увл	исс	увл	исс
Чернозем А (0-52)	0,26	0,28	0,30	0,37
Солодь Е (5-29)	0,16	0,20	0,19	0,24
Солонец АЕ (0-14)	0,21	0,25	0,29	0,35

работе тензиометров, то при иссушении почв до нижнего предела влажности (значение ВРК) необходимо учитывать содержание влаги на цикле иссушения.

В данном случае, для исследуемого чернозема это значение влажности равно 0,28 г/г (28 %). При поливе цикл иссушения сменяется увлажнением. Влажность почвы соответствующая давлению влаги при НВ на цикле увлажнения равная 0,30 г/г (30 %) будет явно занижена. Поэтому для определения верхнего предела влажности (НВ) необходимо внести поправки в калибровку режима орошения. Полив дол-

жен довести влажность чернозема до 0,37 г/г (37 %) (табл. 4). Проведенные исследования показали, что вододерживающая способность почв степной зоны имеет гистерезисный характер во всем диапазоне влажностей. Основным фактором, определяющим степень проявления капиллярно-сорбционного гистерезиса является дисперсность; гистерезис также связан с процессами набухания-усадки. Интегральная энергия вододерживания наиболее полно отражает влияние состава и свойств почв на степень проявления капиллярно-сорбционного гистерезиса.

16.02.2015

**Список литературы:**

1. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. Дис. д.б.н. М., 1981
2. Глобус А.М. Психрометрический метод измерения гистерезиса основной гидрофизической характеристики незасоленных почв.: – Почвоведение. 1982. №3. С.108 – 111.
3. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. Л., Гидрометеиздат. 1969. 355 с.
4. Голованов Е.Э., Лытов М.Н. Оперативный контроль работы дождевальной техники при производстве поливов. Материалы юбилейной международной научно-практической конференции «Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель». Москва. 26-27 ноября 2014. С. 24-29
5. Зубкова Т.А., Манучаров А.С., Черноморченко Н.И., Шваров А.П., Костарев И.А. Гидросорбционный гистерезис в почвах, минералах и породах.: – Почвоведение. 2005. № 92. С.1122 – 1129.
6. Сапожников П.М. Удельная поверхность почвы, ее изменение при почвообразовательных процессах и связь с физическими свойствами. Дис. к.б.н. М., 1982
7. Судницын И.И., Шваров А.П., Коренева Е.А. Зависимость влажности почв от полного давления почвенной влаги. Грунтознавство, Том 10. №1-2 (14). 2009. С 38-43.
8. Судницын И.И., Шваров А.П., Коренева Е.А. Интегральная энергия гидратации почв. Естественные и технические науки. 2011. №1. С. 85-87.
9. Шваров А.П. Степень проявления гистерезиса зависимости капиллярно-сорбционного потенциала воды от влажности . : – Почвоведение. 1982. № 3. С.123 – 126.
10. Шваров А.П., Коренева Е.А. Явление гистерезиса зависимости капиллярно-сорбционного потенциала воды от влажности почвы.: Почвоведение. 2008. № 10. С. 1179 – 1187
11. Чайлдс Э. Физические основы гидрологии почв. Л., Гидрометеиздат. 1973. 427 с.
12. Collis-George N. Hysteresis in moisture content-suction relationships in soil. Proc. Nat. Acad. Sci. India. 24 A. P. 80–85.
13. Poulouassilis A. The hysteresis of pore water in presence of non-independent water elements.: – Scol. Stud. 1973. V.4. P.161 – 179.
14. Poulouassilis A., Tzimas E. The hysteresis in the relationship between hydraulic conductivity and soil water content.: – Soil Sci. 1975. 120. №5. P. 327-331.
15. Varallyay G.. Soil moisture potential and a new apparatus for the determination of moisture potential curves in the low suction range, 0-1 atmosphere. – Agrokem, 1973a. V.22. P. 190.

Сведения об авторах:

**Шваров Александр Петрович**, доцент кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, шифр специальности 06.01.03, «агрофизика», кандидат биологических наук, e-mail: ashvarov@mail.ru

**Кубарева Аполлинария Вячеславовна**, аспирантка кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, шифр специальности 06.01.03, «агрофизика», e-mail: kubareva.a.v@gmail.com

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 8(495)9393620