

8. van Genuchten M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – Vol. 44. – P. 892-898.

9. Alekseev V.V., Maksimov I.I. Aerodinamicheskiy metod polucheniya osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki pochv // Pochvovedenie. – 2013. – № 7. – S. 822.

10. Berezin P.N. Osobennosti raspredeleniya granulometricheskikh elementov pochv i pochvoobrazuyushchikh porod // Pochvovedenie. – 1983. – № 2. – S. 64-72.

11. Shein E.V., Shcheglov D.I., Moskvina V.V. Modelirovanie protsessa vodopro-

nitsaemosti chernozemov kamennoi stepi // Pochvovedenie. – 2012. – № 6. – S. 648-657.

12. Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv. – M.: Nauka, 1975. – 655 s.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания по проекту VIII.76.1.4 «Биогеохимические и почвенно-гидрологические процессы на водосборах и их влияние на формирование гидрохимического стока в природных и антропогенных ландшафтах Сибири».*

*Авторы выражают глубокую признательность ведущему кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ, профессору, д.б.н. Шейну Евгению Викторовичу за помощь в подготовке работы и ценные советы.*



УДК 631.423.2

**С.В. Макарычев, А.Г. Болотов, И.В. Гейке,  
И.А. Гончаров, Н.А. Гончаров  
S.V. Makarychev, A.G. Bolotov, I.V. Gefke,  
I.A. Goncharov, N.A. Goncharov**

## ОСНОВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ В УСЛОВИЯХ САДА

### THE WATER RETENTION CURVE OF LEACHED CHERNOZEMS OF THE PRIOBYE (THE OB RIVER AREA) OF THE ALTAI REGION UNDER ORCHARD CROPS

**Ключевые слова:** чернозем, гидрофизические свойства почв, кривая водоудерживания почв, основная гидрофизическая характеристика.

Рассмотрены результаты исследования основной гидрофизической характеристики (ОГХ) чернозема выщелоченного Алтайского Приобья в условиях плодового сада, представляющей всю совокупность физических свойств и являющейся своеобразным интегральным «паспортом почвы», реагирующим на любые внешние воздействия и изменения. Изучаемый чернозем выщелоченный имеет среднесуглинистый, близкий к тяжелосуглинистому иловато-крупнопылеватый состав. Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает с 1 г/см<sup>3</sup> в пахотном горизонте до 1,4 г/см<sup>3</sup> в почвообразующей породе. Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте находится в пределах 5%, затем убывает до 1,9% в иллювиальном горизонте, а в переходном к почвообразующей породе составляет лишь 0,6%. Найдены области перехода воды из одной категории в другую, которые зависят от физических и физико-химических свойств почв. Величины соответствующих им капиллярно-сорбционных давлений, расположенных на пересечении ОГХ и секущих А.Д. Воронина, при переходе от материнской породы к пахотному горизонту по мере увеличения содержания гумуса и уменьшения плотности сложения и несмотря на утяжеление гранулометрического состава смещаются в сторону увеличения. При этом происходит смещение кривых ОГХ вправо, в область больших влажностей. Вид кривых водоудерживания сред-

несуглинистых почв имеют выположенную S-образность с дифференциацией по горизонтам в области капиллярной и гравитационной влаги, что объясняется изменением содержания гумуса и плотности сложения в совокупности с вариацией гранулометрических фракций по профилю. Максимальная водоудерживающая способность характерна для верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта, а наименьшая – материнской породы. Максимальные значения критических состояний влаги чернозема выщелоченного присущи гор. Ап и АВ, при этом они практически не отличаются между собой, т.к. гранулометрический состав данных горизонтов однороден по всем фракциям. Далее по профилю значения критических состояний влаги уменьшаются.

**Keywords:** chernozem, soil hydro-physical properties, soil water retention curve (WRC).

The results of the studies of the water retention curve (WRC) of leached chernozem of the Priobye (the Ob River area) of the Altai Region under orchard crops are discussed; those characteristics define the totality of the physical properties being a kind of integral "soil passport" responding to any external effect and changes. The leached chernozem in question is of a medium loamy, close to heavy loamy, silty and coarse-silty composition. The chernozem consistence gradually increases with depth from 1 g cm<sup>3</sup> in the arable horizon to 1.4 g cm<sup>3</sup> in the parent rock material. The humus content in the humus-accumulative horizon is within 5%, and then it decreases to 1.9% in the illuvial horizon, and makes 0.6% only in the transition to the parent rock ma-

terial. The areas of water transition from one category to another are found; they depend on the soil physical and physico-chemical properties. The values of the corresponding capillary sorption pressure, located at the intersection of the water retention curves and Voronin secants, in the transition from the parent rock material to the arable horizon with increasing humus content and decreasing consistence, and regardless of the heaving of particle-size composition, shift upwards. The water retention curves shift rightwards to the area of greater moisture content. The water retention curves of the medium loamy soils are of flattened S-shape with the differentiation by horizons in the area of capillary and

gravitational moisture due to the change in humus content and consistence together with the particle-size fraction variation through the profile. The maximum moisture retention capacity is typical of the top humus-accumulative horizon and the least – of the parent rock material. The maximum values of the critical states of moisture of leached chernozem are characteristic of the A horizon (arable) and AB horizon and they practically do not differ from each other because the particle-size composition of those horizons is uniform in all fractions. Further through the profile the values of the critical states of moisture decrease.

**Макарычев Сергей Владимирович**, д.б.н., проф., зав. каф. физики, фак-т природообустройства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: makar@asau.ru.

**Болотов Андрей Геннадьевич**, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, фак-т природообустройства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

**Гефке Ирина Валентиновна**, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, фак-т природообустройства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: ivgefke@mail.ru.

**Гончаров Илья Александрович**, аспирант, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53.

**Гончаров Никита Александрович**, аспирант, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53.

**Makarychev Sergey Vladimirovich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Faculty of Natural Resources Mgmt., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: makar@asau.ru.

**Bolotov Andrey Gennadyevich**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Physics Dept., Faculty of Natural Resources Mgmt., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

**Gefke Irina Valentinovna**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Physics Dept., Faculty of Natural Resources Mgmt., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: ivgefke@mail.ru.

**Goncharov Ilya Aleksandrovich**, Post-Graduate Student, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: makar@asau.ru.

**Goncharov Nikita Aleksandrovich**, Post-Graduate Student, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: makar@asau.ru.

### Введение

Закономерности формирования гидротермического режима почвы в значительной мере определяются ее тепло- и гидрофизическими свойствами, которые, в свою очередь, зависят от гранулометрического состава, плотности, влажности, температуры, порозности, содержания органического вещества. Это предопределяет, с одной стороны, неоднородность почв по тепло- и гидрофизическим параметрам, а с другой, – большие практические возможности для моделирования и прогнозирования тепломелиоративных эффектов различных агромероприятий и обоснования наиболее рациональных мелиоративных технологий. При математическом моделировании режима влажности в почве необходимо знать ее гидрофизические функции, (основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) и функция влагопроводности), характеризующие всю совокупность физических свойств и являются своеобразным интегральным «паспортом почвы», реагирующим на любые внешние воздействия и изменения [1].

Кроме моделирования влагопереноса применение гидрофизических функций является перспективным в области сравнения гидравлических свойств различных типов почв и почвенных горизонтов. Их также можно ис-

пользовать при описании характеристики пространственной изменчивости гидравлических свойств почвы по всему ландшафту. Водоудерживающая способность почв применяется при рассмотрении методических подходов к системе оценки ресурсного потенциала земель сельскохозяйственного назначения с целью наиболее полного и рационального использования естественно-природных ресурсов при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия [2]. Аналитические функции, описывающие гидрофизические свойства, позволяют с помощью интерполяции или экстраполяции, в широком диапазоне влагосодержания, восстанавливать части кривых водоудерживания и гидравлической проводимости, для которых мало или вообще нет данных, а также способствуют более эффективной обработке данных в математических моделях ненасыщенного влагопереноса. Но при этом возникает проблема применимости известных гидрофизических функций в почвах, отличающихся по свойствам от тех, для которых они были получены.

**Целью** работы было изучение гидрофизических свойств чернозема выщелоченного Алтайского Приобья в условиях плодового сада.

В ходе исследований решались следующие **задачи**:

1) определение основной гидрофизической характеристики чернозема выщелоченного в условиях плодового сада;

2) расчет критических состояний влаги чернозема выщелоченного в условиях плодового сада.

**Объекты и методы**

Исследования были организованы в НИИ садоводства им. М.А. Лисавенко на участках сортоиспытания. Объектом является чернозем выщелоченный, среднеспелый, малогумусный, среднесуглинистый. Опытные участки размещены на южной окраине г. Барнаула, на высоком левом берегу р. Оби. Высота участка над уровнем моря 190-212 м.

Капиллярно-сорбционное давление влаги в зависимости от объемной влажности определено по данным о кинетике дренирования методом центрифугирования [3] на центрифуге TG16WS. Физические и физико-химические свойства почвы определены с использованием общепринятых в почвоведении методик [4].

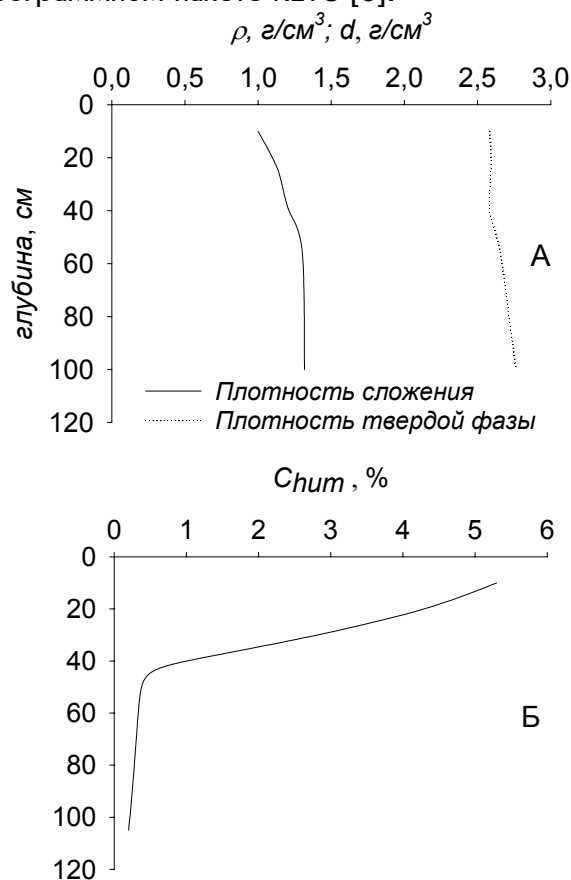
**Экспериментальная часть и обсуждение результатов**

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднеспелый малогумусный среднесуглинистый. Гранулометрический состав почвенных горизонтов чернозема достаточно однороден по всем фракциям. Изучаемый чернозем выщелоченный имеет среднесуглинистый, близкий к тяжелосуглинистому иловато-крупнопылеватый состав. Почвообразующая порода несколько отличается от других почвенных горизонтов и относится к тяжелосуглинистой по гранулометрическому составу, в основном за счет меньшего содержания фракции мелкого песка и повышенного – мелкой пыли. Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает с 1 г/см<sup>3</sup> в пахотном горизонте до 1,4 г/см<sup>3</sup> в почвообразующей породе (рис. 1). Содержание гумуса в гумусоаккумулятивном горизонте находится в пределах 5%, затем убывает до 1,9% в иллювиальном горизонте, а в переходном к почвообразующей породе составляет лишь 0,6%. Отмеченные особенности распределения механических элементов, количества гумуса и плотности по почвенным горизонтам предопределяют характер дифференциации гидрофизических характеристик почвенной толщи чернозема.

Определены ветви иссушения гистерезисной петли ОГХ, т.к. в естественных условиях в почвах обычно быстро протекающий процесс их увлажнения (при осадках или поливах) сменяется сравнительно длинным периодом иссушения [5].

Полученные экспериментальные ОГХ (кривые водоудерживания)  $P(\kappa\Pi a) = f(\theta)$  для

основных диагностических горизонтов чернозема выщелоченного Алтайского Приобья в условиях плодового сада аппроксимированы функцией ван-Генухтена (сплошная линия) и представлены в полулогарифмическом масштабе (рис. 2). Аппроксимация проведена в программном пакете RETC [6].



**Рис. 1. Профильное распределение плотности сложения и плотности твердой фазы (А), а также содержания гумуса (Б) в черноземе выщелоченном**

Области перехода воды из одной категории в другую (по А.Д. Воронину) зависят от физических и физико-химических свойств почв. Величины соответствующих им капиллярно-сорбционных давлений, расположенных на пересечении ОГХ и секущих Воронина, при переходе от материнской породе к пахотному горизонту по мере увеличения содержания гумуса и уменьшения плотности сложения, несмотря на утяжеление гранулометрического состава, смещаются в сторону увеличения. При этом происходит смещение кривых ОГХ вправо, в область больших влажностей. Вид кривых водоудерживания среднесуглинистых почв имеют выположенную S-образность с дифференциацией по горизонтам в области капиллярной и гравитационной влаги, что объясняется изменением содержания гумуса и плотности сложения в совокупности с изменением содержания грану-

лометрических фракций по профилю (рис. 2).

На рисунке 2 видно, что максимальная водоудерживающая способность характерна для верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта, а наименьшая – материнской породы.

Следует отметить, что с помощью подхода А.Д. Воронина выявления критических предельно равновесных состояний для средне- и тяжелосуглинистых почв можно достаточно точно оценить переходы влаги из одной категории в другую [5, 7, 8]. Для исследуемого чернозема из полученной ОГХ рассчитаны давления, соответствующие критическим состояниям влаги: капиллярной влагоемкости ( $KВ$ , верхний предел пластичности)  $P_{кв}$ , максимальной капиллярно-сорбционной влагоемкости ( $МКСВ$ )  $P_{мксв}$ , максимальной молекулярной влагоемкости ( $ММВ$ , нижний предел пластичности)  $P_{ммв}$  (табл.).

Максимальные значения критических состояний влаги чернозема выщелоченного

присущи гор. Ап и АВ, при этом они практически не отличаются между собой, т.к. гранулометрический состав данных горизонтов однороден по всем фракциям и имеет одинаковые значения. Далее по профилю значения критических состояний влаги уменьшаются.

Полученные гидрофизические функции можно использовать в динамическом моделировании режима влажности черноземов и при описании характеристики пространственной изменчивости гидравлических свойств почвы по всему ландшафту.

**Выводы**

1. Максимальная водоудерживающая способность черноземов выщелоченных Алтайского Приобья в условиях сада характерна для верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта, а наименьшая – почвообразующей породы.
2. Максимальные значения критических состояний влаги чернозема выщелоченного имеют гор. Ап и АВ, уменьшаясь по профилю.

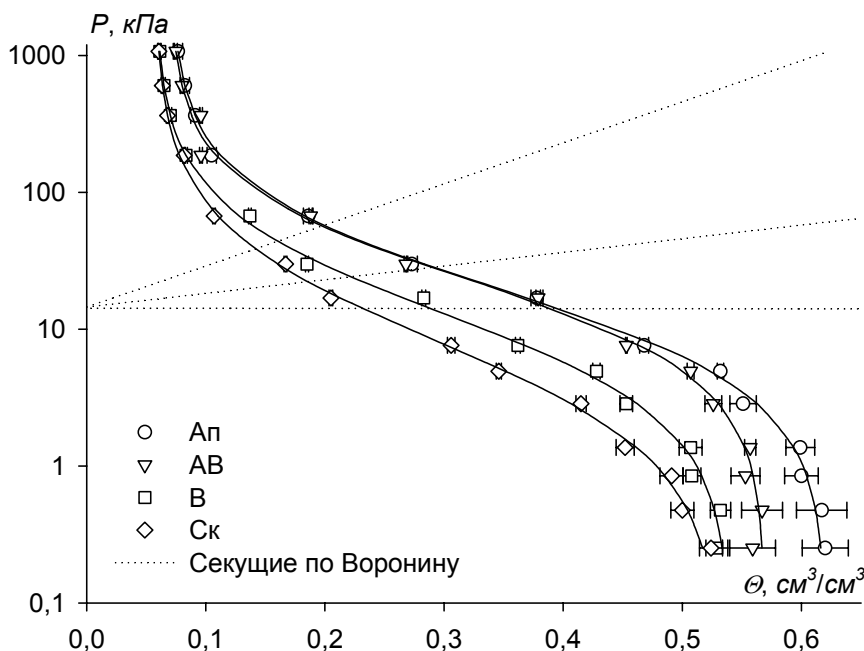


Рис. 2. Основная гидрофизическая характеристика чернозема выщелоченного под яблоневыми насаждениями

Критические состояния влаги чернозема выщелоченного

Таблица

Гор.	КВ		МКСВ		ММВ	
	$P_{кв}, кПа$	$\theta_{кв}, см³/см³$	$P_{мксв}, кПа$	$\theta_{мксв}, см³/см³$	$P_{ммв}, кПа$	$\theta_{ммв}, см³/см³$
Ап	14,3	0,395	28,6	0,292	57,7	0,200
АВ	14,3	0,387	28,3	0,290	57,4	0,198
В	14,3	0,290	24,2	0,223	44,1	0,161
Ск	14,3	0,232	22,3	0,186	38,6	0,142

**Библиографический список**

1. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 204 с.
2. Турусов В.И., Гармашов В.М., Сальников М.И., Нужная Н.А., Гаврилова С.А. Новые подходы к оценке биоклиматического потенциала при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 12. – С. 12-15.
3. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Мизури Маауиа Бен-Али. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. – 1998. – № 11. – С. 1362-1370.
4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
5. Воронин А.Д. Основы физики почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та. 1986. – 244 с.
6. van Genuchten M.T.H., Leij F.J., Yates S.R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. – USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA. – 1991. – 216 p.
7. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Хайдапова Д.Д., Шевченко Е.М. Экологическая оценка биофизического состояния почв. – М.: МГУ, 1999. – 48 с.
8. Смагин А. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 328-341.

**References**

1. Voronin A.D. Strukturno-funktsional'naya gidrofizika pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1984. – 204 s.
2. Turusov V.I., Garmashov V.M., Sal'nikov M.I., Nuzhnaya N.A., Gavrilova S.A. Novye podkhody k otsenke bioklimaticheskogo potentsiala pri proektirovanii adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2013. – № 12. – S. 12-15.
3. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Mizuri Maauia Ben-Ali. Opredelenie osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki pochv metodom tsentrifugirovaniya // Pochvovedenie. – 1998. – № 11. – S.1362-1370.
4. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoistv pochv. – M.: Agropromizdat, 1986. – 416 s.
5. Voronin A.D. Osnovy fiziki pochv. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1986. – 244 s.
6. van Genuchten M.T.H., Leij F.J., Yates S.R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. – USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA. – 1991. – 216 p.
7. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Khaidapova D.D., Shevchenko E.M. Ekologicheskaya otsenka biofizicheskogo sostoyaniya pochv. – M.: MGU, 1999. – 48 s.
8. Smagin A. Teoriya i metody otsenki fizicheskogo sostoyaniya pochv // Pochvovedenie. – 2003. – № 3. – S. 328-341.



УДК 634.8:632.111.53(571.13)

**В.Н. Кумпан, С.Г. Сухоцкая,  
А.П. Клинг, Н.А. Прохорова  
V.N. Kumpan, S.G. Sukhotskaya,  
A.P. Kling, N.A. Prokhorova**

**ИЗУЧЕНИЕ ТОЛЕРАНТНОСТИ СОРТОВ ВИНОГРАДА  
К УСЛОВИЯМ ПЕРЕЗИМОВКИ В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

**THE STUDY OF THE TOLERANCE OF GRAPE VARIETIES TO OVERWINTERING CONDITIONS  
IN THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF THE OMSK REGION**

**Ключевые слова:** толерантность, зимостойкость, виноград, сорта, глазки, степень подмерзания, траншейная культура, Омская область.

**Keywords:** tolerance, winter hardiness, grape, varieties, eyes, freezing degree, Omsk Region.