

УДК 631.425.2

А.Г. Болотов, С.Н. Дубский, Александр Н. Шаталов,
Алексей Н. Шаталов, И.Н. Бутырин, Е.Н. Кузнецов,
И.А. Гончаров, Н.А. Гончаров
A.G. Bolotov, S.N. Dubskiy, Aleksandr N. Shatalov,
Aleksey N. Shatalov, I.N. Butyrin, Ye.N. Kuznetsov,
I.A. Goncharov, N.A. Goncharov

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРНОЗЕМОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

MODELING OF WATER RETENTION CURVE OF THE CHERNOZEMS OF THE ALTAI REGION

Ключевые слова: чернозем, гидрофизические свойства почв, основная гидрофизическая характеристика, функция ван-Генухтена.

Получены зональные параметры ван-Генухтена основной гидрофизической характеристики черноземов Алтайского края с учетом изменения их по профилю, с группировкой массива экспериментальных данных по гранулометрическому составу. Исследованные почвы легко-, средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава расположены в зоне черноземов засушливой степи и умеренно засушливой колючей степи Алтайского края. Экспериментальные ОГХ получены в лаборатории методом центрифугирования и аппроксимированы функцией ван-Генухтена в программе *RETС*. По мере утяжеления гранулометрического состава от легкосуглинистого до тяжелосуглинистого и увеличения содержания органического вещества происходит смещение кривых ОГХ вправо, в область больших влажностей с увеличением крутизны их наклона, т.к. при этом уменьшается количество крупных и средних пор при одновременном увеличении доли мелких пор. При этом значения параметров θ_r и θ_s увеличиваются, а значения n и α уменьшаются. Модель, воспроизводящая ОГХ по параметрам ван-Генухтена, была построена по обучающей выборке, составляющей 2/3 части от общего объема выборки. Точность прогноза на основании полученной модели оценивалась по тестовой выборке, составляющей 1/3 часть от общего объема выборки. Рассчитанные по уравнению ван-Генухтена значения влажности почвы при заданном давлении влаги с использованием зональных профильных аппроксимационных параметров с разделением по гранулометрическому составу получены с ошибкой, изменяющейся от 3 до 12%. При использовании коэффициентов *UNSODA* по текстурному классу из программы *RETС* значения ошибок возрастают до 40%. Полученные параметры использованы в сравнительном анализе физического состояния зональных почв и имитационном моделировании режима влажности черноземов.

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

Area-based parameters of van Genuchten for water retention curves of the chernozems of the Altai Region are obtained; their changes throughout the profile are taken into account and the experimental data are grouped according to the particle-size distribution. The studied soils of light, medium and heavy particle-size distribution are located in the zone of chernozems of arid steppe and temperate-arid forest-outlier steppe of the Altai Region. The experimental WRC were obtained in the laboratory by centrifugation and approximated by van Genuchten function in *RETС* program. As the particle-size distribution gets heavier from light loam to heavy loam and organic matter content increases, the water retention curves shift rightwards to the area of greater moisture content; their steepness increases as the number of large and middle pores decrease with simultaneous increase in fine pores number. The values of the parameters θ_r and θ_s increase and the values n and α decrease. The model which reproduces the WRC by van Genuchten parameters was constructed with the training set comprising 2/3 of the total sample size. The accuracy of the forecast based on the obtained model was evaluated by the test set comprising 1/3 of the total sample size. The values of soil moisture calculated by van Genuchten equation at preset moisture pressure with the use of zonal profile approximation parameters and with the division according to the particle-size distribution were obtained with an error varying from 3% to 12%. When the textural class *UNSODA* coefficients from the *RETС* program are used the error values increase to 40%. The obtained parameters are used in the comparative analysis of the physical condition of zonal soils and moisture regime simulation of chernozems.

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

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.

Дубский Сергей Николаевич, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Шаталов Александр Николаевич, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Шаталов Алексей Николаевич, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Бутырин Игорь Николаевич, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Кузнецов Евгений Николаевич, магистрант, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Гончаров Илья Александрович, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Гончаров Никита Александрович, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Dubskiy Sergey Nikolayevich, Post-Graduate Student, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Shatalov Aleksandr Nikolayevich, Post-Graduate Student, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Shatalov Aleksey Nikolayevich, Post-Graduate Student, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Butyrin Igor Nikolayevich, Post-Graduate Student, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Kuznetsov Yegeniy Nikolayevich, Master's Degree Student, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Goncharov Ilya Aleksandrovich, Post-Graduate Student, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Goncharov Nikita Aleksandrovich, Post-Graduate Student, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Введение

Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) почвы является функцией всей совокупности физических свойств, реагирующей на любые внешние воздействия и изменения [1-3]. Применение гидрофизических функций является перспективным в области сравнения гидравлических свойств различных типов почв и почвенных горизонтов. Их также можно использовать 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 [4]. С другой стороны, в современном почвоведении гидрофизические функции активно используют в математическом моделировании процессов влагосолепереноса. При этом ОГХ восстанавливают из традиционно определяемых базовых почвенных свойств расчетными методами [5-10].

Цель работы – моделирование ОГХ черноземов Алтайского края и оценка точности ее расчета.

В ходе исследований решались следующие задачи:

1) получение зональных параметров ван-Генухтена основной гидрофизической характеристики черноземов Алтайского края;

2) восстановление ОГХ черноземов по полученным параметрам и сравнение их с экспериментальными значениями.

Объекты и методы

Объектами исследований являются черноземы легко-, средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава, расположенные в засушливой степи и умеренно засушливой колочной степи Алтайского края.

Экспериментальные ОГХ получены в лаборатории методом центрифугирования [11] и аппроксимированы функцией ван-Генухтена [12] в программе RETC [13]:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha P)^n\right]^m}, \quad m = 1 - \frac{1}{n},$$

где θ – объемная влажность почвы, $\text{см}^3/\text{см}^3$;

θ_r – параметр минимальной влажности, соответствующий прочносвязанной, неподвижной для вязкого течения влаги, $\text{см}^3/\text{см}^3$;

θ_s – объемная влажность почвы, соответствующая полному влагонасыщению, $\text{см}^3/\text{см}^3$;

α и n – эмпирические константы, характеризующие давление барботирования и наклон ОГХ.

Среднеквадратичная относительная ошибка аппроксимации S рассчитывалась по формуле [9, 10]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\theta_{расч_i} - \theta_{экс_i}}{\theta_{экс_i}} \right)^2}{n}}$$

где $\theta_{экс_i}$ и $\theta_{расч_i}$ – экспериментальные и вычисленные по модели значения объемной влажности;

n – количество измерений.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Полученные зональные аппроксимационные параметры θ_r , θ_s , n и α с учетом изменения их по профилю, с предварительной группировкой массива экспериментальных данных по гранулометрическому составу представлены в таблице.

Из данных таблицы следует, что по мере утяжеления гранулометрического состава от легкосуглинистого до тяжелосуглинистого значения параметров θ_r и θ_s увеличиваются, а значения n и α уменьшаются. Данная закономерность объясняется тем, что при увеличении доли глинистой фракции происходит смещение кривых ОГХ вправо, в область больших влажностей с увеличением крутизны их наклона, при этом уменьшается количество крупных и средних пор при одновременном увеличении доли мелких пор. Исключение составляют легкосуглинистые южные черноземы, обладающие большей объемной адсорбционной способностью вследствие повышенного уплотнения почвы.

Таблица

Зональные параметры ван-Генухтена для черноземов Алтайского края

Гор.	$\theta_r, \text{см}^3/\text{см}^3$	$\theta_s, \text{см}^3/\text{см}^3$	$\alpha, 1/\text{см}$	$n, (-)$
<i>Легкосуглинистые</i>				
<i>Черноземы южные засушливой степи</i>				
Ап	0,072±0,013	0,524±0,036	0,018±0,006	1,83±0,07
АВ	0,072±0,014	0,527±0,031	0,019±0,005	1,81±0,05
В	0,072±0,012	0,505±0,030	0,021±0,007	1,80±0,06
ВСк	0,074±0,011	0,495±0,028	0,024±0,009	1,78±0,06
Ск	0,065±0,008	0,460±0,050	0,024±0,008	1,82±0,08
<i>Черноземы выщелоченные колючей степи</i>				
Ап	0,053±0,006	0,531±0,031	0,019±0,004	1,85±0,04
АВ	0,050±0,007	0,508±0,030	0,021±0,006	1,85±0,06
В	0,046±0,011	0,488±0,034	0,034±0,014	1,80±0,06
ВСк	0,046±0,005	0,468±0,029	0,035±0,008	1,79±0,05
Ск	0,048±0,009	0,462±0,031	0,027±0,011	1,86±0,14
<i>Среднесуглинистые</i>				
<i>Черноземы южные засушливой степи</i>				
Ап	0,076±0,013	0,531±0,039	0,012±0,006	1,67±0,06
АВ	0,079±0,012	0,512±0,022	0,015±0,007	1,63±0,04
В	0,080±0,015	0,498±0,024	0,019±0,009	1,60±0,04
ВСк	0,094±0,018	0,448±0,027	0,041±0,062	1,69±0,11
Ск	0,079±0,016	0,458±0,029	0,019±0,012	1,62±0,04
<i>Черноземы выщелоченные колючей степи</i>				
Ап	0,083±0,012	0,551±0,038	0,011±0,006	1,68±0,14
АВ	0,083±0,012	0,519±0,031	0,012±0,005	1,67±0,10
В	0,081±0,012	0,491±0,024	0,019±0,010	1,61±0,06
ВСк	0,077±0,011	0,476±0,026	0,020±0,013	1,63±0,07
Ск	0,073±0,009	0,466±0,027	0,013±0,006	1,66±0,06
<i>Тяжелосуглинистые</i>				
<i>Черноземы южные засушливой степи</i>				
Ап	0,085±0,024	0,556±0,046	0,002±0,002	1,77±0,20
АВ	0,089±0,005	0,532±0,035	0,011±0,003	1,57±0,04
В	0,067±0,021	0,490±0,021	0,027±0,020	1,55±0,04
ВСк	0,051±0,011	0,454±0,019	0,029±0,017	1,56±0,04
Ск	0,034±0,006	0,436±0,017	0,052±0,031	1,57±0,04
<i>Черноземы выщелоченные колючей степи</i>				
Ап	0,090±0,008	0,511±0,080	0,006±0,004	1,76±0,22
АВ	0,087±0,010	0,549±0,031	0,006±0,004	1,72±0,19
В	0,075±0,018	0,489±0,052	0,013±0,008	1,62±0,07
ВСк	0,073±0,016	0,465±0,041	0,013±0,007	1,59±0,07
Ск	0,088±0,012	0,424±0,034	0,006±0,001	1,73±0,07

Произведена функциональная проверка восстановления ОГХ черноземов по полученным зональным параметрам. Модель, воспроизводящая ОГХ по параметрам ван-Генухтена, была построена по обучающей выборке, составляющей 2/3 части от общего объема выборки. Точность прогноза на основании полученной модели оценивалась по тестовой выборке, составляющей 1/3 часть от общего объема выборки.

Точность расчета зависит от вариабельности гидрофизических свойств почв. Рассчитанные значения θ по уравнению ван-Генухтена для пахотных черноземов с использованием зональных профильных аппроксимационных параметров, с разделением по гранулометрическому составу получены с ошибкой, изменяющейся от 3 до 12%. При использовании коэффициентов UNSODA по текстурному классу из программы RETC значения ошибок возрастают до 40%.

Полученные параметры использованы в сравнительном анализе физического состояния зональных почв и имитационном моделировании влажности почв. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление влияния точности задания ОГХ на погрешность моделирования режима влажности почв.

Выводы

1. Получены зональные профильные параметры ван-Генухтена для черноземов засушливой степи и умеренно засушливой колючей степи Алтайского края с группировкой по гранулометрическому составу.

2. С утяжелением гранулометрического состава значения параметров θ_r и θ_s увеличиваются, а значения n и α уменьшаются.

3. Восстановление ОГХ с использованием полученных зональных коэффициентов для пахотных черноземов Алтая точнее, чем с параметрами UNSODA по текстуре из программы RETC.

4. Полученные параметры могут быть использованы в имитационном моделировании водного режима почв.

Библиографический список

1. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. – М.: Изд-во МГУ, 1984.
2. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Хайдапова Д.Д., Шевченко Е.М. Экологическая оценка биофизического состояния почв. – М.: МГУ, 1999. – 48 с.
3. Смагин А. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 328-341.

4. 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.

5. Воронин А.Д. Основы физики почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та. 1986. – 244 с.

6. Глобус А.М. Системный подход к почвенно-гидрофизическому обеспечению агроэкологических математических моделей // Почвоведение. – 1984. – № 10. – С. 53-59.

7. Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А., Балыкин С.Н. Сравнительный анализ основной гидрофизической характеристики степных и горно-лесных почв Алтая, восстановленной расчетными методами // Вестник АГАУ. – 2014. – № 12. – С. 29-35.

8. Шеин Е.В. Курс физики почв. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

9. Шеин Е.В., Архангельская Т.А. Педотрансферные функции: состояние, проблемы, перспективы // Почвоведение. – 2006. – № 10. – С. 1205-1217.

10. Schaap M.G. Accuracy and uncertainty in PTF predictions // Pachepsky Ya., Rawls W.J. (Eds) Development of pedotransfer functions in soil hydrology. – Elsevier, 2004. – P. 33-43.

11. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Мизури Маауиа Бен-Али. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. – 1998. – № 11. – С. 1362-1370.

12. van Genuchten M.Th. A Closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – Vol. 44 (5). – P. 892-898.

13. van Genuchten M.Th., Leij F.J., Yates S.R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. – USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA. – 1991.

References

1. Voronin A.D. Strukturno-funktsional'naya gidrofizika pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1984.
2. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Khaidapova D.D., Shevchenko E.M. Ekologicheskaya otsenka biofizicheskogo sostoyaniya pochv. – M.: MGU, 1999. – 48 s.
3. Smagin A. Teoriya i metody otsenki fizicheskogo sostoyaniya pochv // Pochvovedenie. – 2003. – № 3. – S. 328-341.
4. 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.

5. Voronin A.D. Osnovy fiziki pochv. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1986. – 244 s.

6. Globus A.M. Sistemnyi podkhod k pochvenno-gidrofizicheskomu obespecheniyu agroekologicheskikh matematicheskikh modelei // Pochvovedenie. – 1984. – № 10. – S. 53-59.

7. Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A., Balykin S.N. Sravnitel'nyi analiz osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki stepnykh i gorno-lesnykh pochv Altaya, vostanovlennoi raschetnymi metodami // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 12. – S. 29-35.

8. Shein E.V. Kurs fiziki pochv. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.

9. Shein E.V., Arkhangel'skaya T.A. Pedotransfernye funktsii: sostoyanie, problemy,

perspektivy // Pochvovedenie. – 2006. – № 10. – S. 1205-1217.

10. Schaap M.G. Accuracy and uncertainty in PTF predictions // Pachepsky Ya., Rawls W.J. (Eds) Development of pedotransfer functions in soil hydrology. Elsevier, 2004. P. 33-43.

11. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Mizuri Maauia Ben-Ali. Opredelenie osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki pochv metodom tsentrifugirovaniya // Pochvovedenie. – 1998. – № 11. – S. 1362-1370.

12. van Genuchten M.Th. A Closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – Vol. 44 (5). – P. 892-898.

13. van Genuchten M.Th., Leij F.J., Yates S.R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. – USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA. – 1991.



УДК 332.362

Е.А. Еремин, А.В. Недорезов
Ye.A. Yeremin, A.V. Nedorezov

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА ПРИСАЛАИРСКОЙ ЗОНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

THE ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL INDICATORS OF LAND USE IN THE PRISALAIRSKAYA (SALAIR RIDGE) AREA OF THE ALTAI REGION

Ключевые слова: землеустройство, экологические показатели, анализ показателей, оценка современного землепользования, Присалаирская зона.

В теории землеустройства существуют три группы основных показателей, характеризующих различные аспекты эффективности использования территорий: показатели экономической, социальной и экологической эффективности. В качестве объекта исследования выступили экологические показатели территории Присалаирской зоны Алтайского края, характеризующие степень распаханности, лесистость территории, величину антропогенной нагрузки и общую экологическую стабильность территорий. Результаты экологической оценки территории муниципальных районов Присалаирской лесостепи показывают, что территории Кытмановского и Целинного районов имеют площадь пашни, превышающую экологическую норму, равную 40%. Эти районы отличаются слабой облесённостью (8-12%). Кытмановский и Целинный районы являются экологически нестабильными ($Kэ.с. < 0,33$) территориями и испытывают

«среднюю» антропогенную нагрузку на ландшафты. Остальные пять районов оказываются «неустойчиво стабильными» ($Kэ.с. = 0,33-0,50$) и испытывают «незначительную» антропогенную нагрузку. Экологическая оценка территорий, занятых землями сельскохозяйственного назначения и сельскохозяйственными угодьями, указывает на ухудшение экологической обстановки. Доля пашни в землях сельскохозяйственного назначения и сельскохозяйственных угодий остаётся ниже экологически допустимой (40%) только в Тогульском, Ельцовском и Солтонском районах. В остальных районах доля пашни больше экологически допустимой нормы на 10-23%. При этом территории земель сельскохозяйственного назначения теряют экологическую устойчивость и испытывают большую антропогенную нагрузку, чем территория районов в целом. Наличие в большинстве районов территорий, занятых лесом, не стабилизирует обстановку, поскольку основные лесные площади располагаются на северо-восточной и восточной частях района, а основные площади земель сельскохозяйственного назначения – в центральной и западной частях. Приведенные вы-