

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ И ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВTHERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS
OF GENETIC HORIZONS OF GRAY FOREST AND SOD-PODZOLIC SOILS

Ключевые слова: удельная и объемная теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность, влажность завядания, влажность разрыва капилляров, наименьшая влагоемкость.

Распределение теплофизических свойств в почве определяется влажностью, гранулометрическим составом, плотностью и другими агрофизическими показателями ее генетических горизонтов. По степени дисперсности исследованные серые лесные почвы относятся к супесчаной, а дерново-подзолистые – к песчаной разновидности. Их профиль уплотнен. Влажность завядания в первом случае составляет 6%, а во втором – 2%. Наименьшая влагоемкость в горизонтах серой лесной почвы варьирует в пределах от 31 до 39%, а в дерново-подзолистой не достигает и 6%. Это определяется различным гранулометрическим составом почвенных разностей. При всех гидрологических константах объемная теплоемкость серой лесной почвы выше, чем дерново-подзолистой. Обратный характер изменений имеет коэффициент температуропроводности. Причина этого заключается в разной степени дисперсности изученных почв. Максимум температуропроводности в супесчаных серых лесных почвах приурочен к влажности разрыва капилляров (ВПК), в то время как в песчаных дерново-подзолистых почвах – к наименьшей влагоемкости (НВ). Это обусловлено качественным составом почвенной порозности и характером обводнения порового пространства.

Keywords: specific and volumetric thermal capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity, wilting moisture, discontinuous capillary moisture, minimum moisture capacity.

The distribution of thermophysical properties in soil is determined by moisture, particle-size composition, density and other agrophysical indices of its genetic horizons. According to the degree of dispersion, the investigated gray forest soils belong to sandy-loam type, and sod-podzolic soils – to sandy types. Their profile is compacted. The wilting moisture in the first case amounts to 6%, and in the second case – 2%. The minimum moisture capacity in gray forest soil horizons ranges from 31% to 39%, and in sod-podzolic soils it does not reach 6%. This is determined by different particle-size composition of the soil phases. For all hydrological constants, the volumetric thermal capacity of gray forest soil is higher than that of sod-podzolic soil. Thermal diffusivity coefficient is of inverse pattern of change. This is determined by various degree of dispersion of the studied soils. The maximum thermal diffusivity in sandy-loam gray forest soils is associated with the discontinuous capillary moisture, while in sandy sod-podzolic soils – to minimum moisture capacity. This is determined by the qualitative composition of the soil porosity and the nature of water infiltration in the pore space.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-57. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Лебедева Людмила Васильевна, ст. преп., аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Chair of Physics, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-57. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Lebedeva Lyudmila Vasilyevna, Asst. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-57. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Введение

Распределение теплофизических свойств в почве определяется влажностью, гранулометрическим составом, плотностью и другими агрофизическими показателями ее генетических горизонтов [1, 2]. Эти почвенные факторы и свойства в свою очередь обуславливают формирование температурного режима почвенной толщи.

Однако при изучении и анализе распределения термических полей в профиле почв их теплофизические параметры исследова-

телями обычно не рассматриваются. Остаются без ответа вопросы и о влиянии самих древесных растений на изменения теплофизического состояния основных почвенных горизонтов.

В связи с 2014 г. мы начали планомерное исследование особенностей варьирования теплоемкости, тепло- и температуропроводности серой лесной и дерново-подзолистой почв под дубовыми и еловыми насаждениями в условиях дендрария.

Объекты и методы

Объектами исследований явились серые лесные и дерново-подзолистые почвы, сформированные под дубовыми и еловыми насаждениями. **Цель** работы – экспериментальное определение таких теплофизических коэффициентов, как теплоемкость, тепло- и температуропроводность генетических горизонтов почв.

При этом использовались в лабораторных условиях **импульсный метод** плоского источника тепла, а в полевых – **цилиндрический зонд** на основе регулярного теплового режима [3-4].

Результаты исследований

Длительное произрастание интродуцированных древесных пород на территории дендрария привело к трансформации почвенного покрова. Основные зональные почвы – черноземы выщелоченные и обыкновенные оказались преобразованы под дубовыми насаждениями в серую лесную почву. Еловые породы привели к возникновению дерново-подзолистой почвы с ярко выраженным подзолистым горизонтом.

Согласно классификации Н.А. Качинского [5] серые лесные почвы под дубовыми насаждениями относятся к супесчаным разновидностям с содержанием физической глины от 12 до 17% с преобладанием песчаной фракции. При этом переходные горизонты А₁ и А₁А₂ близки к легким суглинкам. Наиболее легким гранулометрическим составом характеризуются иллювиальный горизонт и почвообразующая порода. Количество илестых частиц не превышает 11%. Почти отсутствует средняя и мелкая пыль.

Дерново-подзолистая почва в гумусовом слое представляет собой слабосвязанный бесструктурный песок. Глубже расположен белесоватый бесструктурный и уплотненный подзолистый горизонт. Иллювиальный горизонт В начинается с глубины 44 см с однородным мелким песком (84%), который постепенно переходит в физический, не затронутый почвообразовательным процессом. В профиле почвы очень мало пылевых и илестых частиц. Дисперсность в основном представлена песчаной фракцией. Так, доля среднего и мелкого песка в нижней части профиля достигает 90%.

Плотность сложения является одним из основных агрофизических свойств почвы, определяющих ее водно-воздушный режим [6]. Максимальной она оказалась в профиле серой лесной почвы под дубовыми

насаждениями, особенно в иллювиальном горизонте В и переходном горизонте ВС.

Почва как многофазная, полидисперсная система способна поглощать и удерживать влагу [7]. При этом водообеспеченность растений определяется не только количеством поступающей воды в почву, но и ее водными свойствами. Определение гидроконстант показало, что влажность завядания почв разного генезиса варьирует в широких пределах. Так генетические горизонты серых лесных почв и черноземов под березовыми насаждениями имеют близкие по своим значениям влажности завядания (4,15-6,32% от массы почвы). Минимальная ВЗ отмечается в песчаной дерново-подзолистой почве, в профиле которой она лежит в пределах 1,84% в гумусово-аккумулятивном горизонте и 0,67% в почвообразующей породе. Такие особенности определяются, прежде всего, различным гранулометрическим составом исследованных почв, который варьирует от песчаного до тяжелосуглинистого.

Наименьшая влагоемкость в серой лесной почве довольно высока (31-39% от массы почвы). В то же время в песчаных горизонтах она не превышает 5,6%, поэтому порозность аэрации здесь максимальна.

В таблице 1 представлены изменения коэффициентов тепло- и температуропроводности почвы в профиле серой лесной и дерново-подзолистой почвы в абсолютно сухом состоянии.

Таблица 1

*Удельная (С₀, Дж/(кг К),
объемная (С_р, 10⁶ Дж/(м³ К)
теплоемкости,
температуропроводность (α, 10⁶ м²/с),
теплопроводность (λ, Вт/(м К)*

Серая лесная почва. Дубовые насаждения				
Горизонт	С ₀	С _р	α	λ
А ₁	1170	1,591	0,401	0,638
А ₁ А ₂	1192	1,740	0,381	0,663
А ₂ В	1175	1,856	0,358	0,664
В	1150	1,932	0,394	0,761
ВС	1186	1,945	0,371	0,722
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения				
А1	1166	1,609	0,453	0,729
А1А2	1137	1,694	0,404	0,684
А2	1090	1,635	0,411	0,671
В	1182	1,789	0,392	0,701
С	1147	1,812	0,390	0,707

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что удельные теплоемкости генетических горизонтов серых лесных и дерново-подзолистых почв по своим значениям достаточно близки и лежат в пределах от 1089 Дж/(кг К) в гумусово-

аккумулятивном слое до 1186 в почвообразующей породе. В то же время объемная теплоемкость иллювиальных горизонтов и подстилающей породы несколько отличаются. Так, в серой лесной почве она выше и составляет $1,932 \times 10^6$ (Дж/м³ К).

Температуропроводность гумусовых горизонтов серой лесной почвы в силу ее повышенной уплотненности оказывается ниже, чем в дерново-подзолистой. При этом прослеживается и различие в гранулометрическом составе, поскольку в первом случае почва супесчаная, переходящая в легкий суглинок, а во втором представлена средним и мелким песком (см. выше).

В результате теплопроводность этих почв достаточно близка по своим значениям, так как определяется произведением объемной теплоемкости и температуропроводности.

В таблицах 2 и 3 представлены теплофизические коэффициенты исследованных почв при различных гидрологических постоянных.

Таблица 2
Объемная теплоемкость (Ср, 10⁶ Дж/(м³ К), температуропроводность (α, 10⁶ м²/с) и теплопроводность (λ, Вт/(м К) серой лесной почвы при различных гидрологических константах (дубовые насаждения)

Горизонт	ТФК	Абс. сухая	ВЗ	ВРК	НВ
А ₁	Ср	1,591	1,877	2,853	3,247
	α	0,401	0,500	0,435	0,406
	λ	0,638	0,938	1,241	1,319
А ₁ А ₂	Ср	1,740	1,985	2,782	3,150
	α	0,381	0,478	0,443	0,428
	λ	0,663	0,948	1,232	1,447
А ₂ В	Ср	1,856	2,188	2,918	3,250
	α	0,358	0,468	0,448	0,438
	λ	0,664	1,025	1,307	1,423
В	Ср	1,932	2,285	3,061	3,484
	α	0,394	0,470	0,455	0,443
	λ	0,761	1,073	1,394	1,544
ВС	Ср	1,925	2,345	3,236	3,716
	α	0,371	0,462	0,443	0,432
	λ	0,714	1,084	1,435	1,608

Так, при влажности завядания (ВЗ) во всех генетических горизонтах почвенных профилей объемная теплоемкость серой лесной почвы выше, чем дерново-подзолистой. Причина таких различий заключается в том, что ВЗ первой почвы больше. В то же время температуропроводность в дерново-подзолистой почве превышает ее значения в серой лесной. Причина этого кроется в степени дисперс-

ности горизонтов. Аналогичный характер распределения теплофизических коэффициентов имеет место и при других значениях увлажнения (ВРК и НВ).

Таблица 3
Объемная теплоемкость (Ср, 10⁶ Дж/(м³ К), температуропроводность (α, 10⁶ м²/с) и теплопроводность (λ, Вт/(м К)) дерново-подзолистой почвы при различных гидрологических константах (ельник)

Горизонт	ТФК	Абс. сухая	ВЗ	ВРК	НВ
А ₁	Ср	1,609	1,713	1,852	1,934
	α	0,453	0,504	0,499	0,494
	λ	0,729	0,863	0,924	0,956
А ₁ А ₂	Ср	1,694	1,763	1,932	2,007
	α	0,404	0,499	0,493	0,516
	λ	0,684	0,871	0,953	1,036
А ₂	Ср	1,635	1,692	1,837	1,906
	α	0,411	0,518	0,518	0,510
	λ	0,671	0,876	0,952	0,972
В	Ср	1,789	1,842	1,996	2,076
	α	0,392	0,484	0,487	0,484
	λ	0,701	0,892	0,972	1,004
С	Ср	1,812	1,858	2,011	2,084
	α	0,390	0,475	0,480	0,480
	λ	0,707	0,883	0,965	1,001

Эти данные показывают, что при влажностях, соответствующих той или иной гидрологической константе, качественный характер изменения теплофизических коэффициентов по профилю изученных почв остается почти неизменным, хотя степень изменения их при этом разная. То же можно сказать и о динамике коэффициентов теплоаккумуляции и теплопереноса в каждом генетическом горизонте в связи с меняющейся влажностью.

Так, при одинаковых гидроконстантах объемная теплоемкость и теплопроводность имеют наименьшие значения в пахотном слое, а с глубиной они закономерно увеличиваются. Таким образом, можно сделать вывод, что с повышением влажности почвы значения теплофизических коэффициентов в профиле имеют тенденцию к выравниванию.

Качественный характер изменения температуропроводности почвы в зависимости от влажности во всех горизонтах также одинаков. Общим является то, что коэффициент температуропроводности того или иного горизонта почвы довольно интенсивно растет с увеличением влажности и достигает максимального значения при разной влажности.

Таким образом, затухающий эффект тепло- и температуропроводности с ро-

стом увлажнения в разных горизонтах почвы проявляется при различной влажности: в супесчаных горизонтах серой лесной почвы при 15-16%, а в песчаных горизонтах – при 6-10%. Следовательно, в горизонтах легкого механического состава коэффициенты тепло- и температуропроводности начинают расти и достигают наибольших значений при меньших влажностях, чем в горизонтах более тяжелого механического состава.

Приуроченность значений максимальной температуропроводности и резкого замедления роста теплопроводности почвы к различным, в зависимости от её гранулометрического состава, гидрологическим константам во многом определяется качественным составом почвенной порозности, а вместе с тем характером и степенью обводненности порового пространства. В этом отношении почвы, а в равной мере и их отдельные генетические горизонты, имеющие супесчаный или песчаный гранулометрический состав, существенно различаются.

В этом отношении супесчаные почвы и горизонты имеют свои особенности. Так, в этих почвах преобладают крупные и средние поры, составляющие до 70% общей порозности, что обуславливает дискретное состояние почвенной влаги во всем интервале естественного увлажнения почвы [7]. При НВ в них обводнено всего 40-45% порового пространства, а крупные поры и большая часть средних пор заняты воздухом.

Поэтому в супесчаных почвах влага приобретает свойство капиллярно-связного водного тела, обеспечивающего высокую контактную теплопроводность только при увлажнении, близком к НВ. При этом 55% почвенных пор, которые остаются необводненными при НВ и составляют воздушную фазу почвы, что обеспечивает вполне благоприятные условия для термодиффузии молекул пара и переноса ими тепла. Если учесть, что эти почвы в автоморфных условиях выше НВ увлажняются редко, а в пределах от ВЗ до НВ капиллярно-менисковое и капиллярно-пленочное передвижение влаги в их профиле выражено очень слабо, то можно заключить, что в этих почвах пародиффузионный механизм теплообмена играет определяющую роль во всем диапазоне их естественного увлажнения.

Характерно, что в еще более крупнозернистом материале – кварцевом песке, согласно вышеприведенным результатам и данным, ранее полученным А.Ф. Чудновским [1], затухающий эффект теплопро-

водности с ростом увлажнения наблюдается в пределах 6-10% весовой влажности, что близко к капиллярной влагоемкости.

Таким образом, выявленные особенности изменения тепло- и температуропроводности в генетических горизонтах исследованных почв в значительной степени связаны с различиями в их гранулометрическом составе, обусловившим неодинаковые физические и водные свойства горизонтов и разное соотношение воды и воздуха в почвенных порах, неодинаковый механизм и энергию связи почвенных частиц с водой и воздухом и, следовательно, неодинаковую теплопередачу при одной и той же степени увлажнения почвы.

Выводы

1. Исследованные серые лесные почвы по гранулометрическому составу относятся к супесчаным разновидностям, в то время как дерново-подзолистые представлены в основном песчаной фракцией. Плотность генетических горизонтов этих почв значительна и достигает $1,68 \text{ г/см}^3$ в иллювиальном слое серой лесной почвы.

2. Влажность завядания и наименьшая влагоемкость серой лесной почвы гораздо выше дерново-подзолистой. В первом случае ВЗ колеблется по профилю в пределах 4,2-6,3% от массы почвы, во втором не превышает 1,8%. Наименьшая влагоемкость в серой лесной почве составляет 31-39%, а в дерново-подзолистой не достигает и 6%.

3. Удельные теплоемкости данных почв практически не отличаются, но объемная теплоемкость серой лесной почвы гораздо больше и равна $1,932 \times 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \text{ К)}$. В то же время температуропроводность, наоборот, выше в дерново-подзолистой почве.

4. Максимальные значения коэффициентов теплопередачи в серой лесной почве приурочены к влажности, близкой к ВРК (около 15%), а в песчаной дерново-подзолистой – к НВ (6-8%). Это обусловлено качественным составом почвенной порозности и характером обводнения порового пространства.

Библиографический список

1. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. – М.: Гостехиздат, 1976. – 352 с.
2. Макарычев С.В. Особенности теплофизического состояния пахотных выщелоченных черноземов Приобья // Почвоведение. – 2007. – № 8. – С. 949-953.

3. Макарычев С.В., Болотов А.Г. Использование импульсного метода плоского нагревателя для определения теплофизических коэффициентов почвы. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – № 4. – С. 38-42.

4. Вадюнина А.В., Корчагина З.А. Методы определения физических свойств почв и грунтов. – М.: Высшая школа, 1961. – 345 с.

5. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. 1. – М.: Высшая школа, 1965. – 323 с.

6. Мазиров М.А., Макарычев С.В. Теплофизическая характеристика почвенного покрова Алтая и западного Тянь-Шаня. – Владимир: Изд-во Владимирского ГУ, 2002. – 447 с.

7. Панфилов В.П., Чашина Н.И. Особенности поведения влаги в супесчаных и суглинистых автоморфных почвах в связи с их порозностью // Известия СО Ан СССР. Биология. – 1975. – Вып. 1. – С. 3-7.

References

1. Chudnovskiy A.F. Teplofizika pochv. – М.: Gostekhizdat, 1976. – 352 s.

2. Makarychev S.V. Osobennosti teplofizicheskogo sostoyaniya pakhotnykh vyshchelochennykh chernozemov Priobya // Pochvovedenie. – 2007. – № 8. – S. 949-953.

3. Makarychev S.V., Bolotov A.G. Ispol-zovanie impulsnogo metoda ploskogo nagrevatelya dlya opredeleniya teplofizicheskikh koeffitsientov pochvy // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2003. – № 4. – S. 38-42.

4. Vadyunina A.V., Korchagina Z.A. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov. – М.: Vysshaya shkola, 1961. – 345 s.

5. Kachinskiy N.A. Fizika pochvy, ch. 1. – М.: Vysshaya shkola, 1965. – 323 s.

6. Mazirov M.A., Makarychev S.V. Teplofizicheskaya kharakteristika pochvennogo pokrova Altaya i zapadnogo Tyan-Shanya. – Vladimir: Izd-vo Vladimirskego GU, 2002. – 447 s.

7. Panfilov V.P., Chashchina N.I. Osobennosti povedeniya vlagi v supeschanykh i suglinistykh avtomorfnykh pochvakh v svyazi s ikh poroznostyu // Izvestiya SO AN SSSR. Biologiya. – 1975. – Vyp. 1. – S. 3-7.



УДК 631.671.1:634.13

А.Г. Болотов, И.В. Гефке, Е.П. Чугузов, Н.А. Гончаров
A.G. Bolotov, I.V. Gefke, Ye.P. Chuguzov, N.A. Goncharov

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ГРУШИ КАК ФУНКЦИИ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ

MODELING PRODUCTIVITY OF DIFFERENT PEAR VARIETIES AS FUNCTION OF ABIOTIC FACTORS UNDER THE CONDITIONS OF THE ALTAI REGION'S OB RIVER AREA

Ключевые слова: тепловой режим почвы, водный режим почвы, необходимость мелиораций, продуктивность груши.

В многолетних насаждениях груши проведена оценка теплового и водного режима чернозема выщелоченного в условиях Алтайского Приобья за 2012-2014 гг. Гранулометрический состав почвенных горизонтов чернозема достаточно однороден по всем фракциям и имеет среднесуглинистый, близкий к тяжелосуглинистому иловато-крупнопылеватый состав. Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает от 1 г/см³ в пахотном горизонте до 1,4 г/см³ 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%, что соответствует средним значениям по региону. С помощью модели продуктивности рассчитана относительная

продуктивность этой культуры, а также найдены оптимальные условия её произрастания. В качестве входных параметров использованы текущие, максимальные и оптимальные значения факторов, такие как влажность и температура почвы. При этом принималось допущение, что при экстремальных значениях данных факторов продуктивность плодовой культуры минимальна, а при оптимальных – максимальна. Исследования показали, что в условиях Алтайского Приобья груша наиболее чувствительна к недостатку влаги, где средняя продуктивность составляет 30% от максимально возможной. При увеличении продуктивных запасов в почве в 2,8 раза и температуры почвы в 1,2 раза продуктивность груши увеличивается до 65% от максимальной. Для получения максимально возможной продуктивности необходимо кроме увеличения изучаемых факторов уменьшить среднеквадратические отклонения от их средних значений до 10%.