

11. Shein E.V., Shcheglov D.I., Moskvina V.V. Modelirovanie protsessa vodopronitsaemosti chernozemov kamennoi stepi // Pochvovedenie. – 2012. – № 6. – S. 648-657.

12. Bolotov A.G., Dubskii S.N., Shatalov A.N., Shatalov A.N., Butyrin I.N., Kuz-

netsov E.N., Goncharov I.A., Goncharov N.A. Modelirovanie osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki chernozemov Altaiskogo kraia // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 2. – S. 31-35.



УДК 631.436

С.В. Макарычев  
S.V. Makarychev

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАШТАНОВЫХ ПОЧВ КУЛУНДИНСКОЙ СТЕПИ

### THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF CHESTNUT SOILS OF THE KULUNDA STEPPE

**Ключевые слова:** каштановые почвы, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, диапазон активной температуропроводности, теплофизический бонитет.

Каштановые почвы занимают самостоятельную зону на центральной Кулундинской аллювиальной равнине, где слагают крупные массивы. Характерным признаком их является малая мощность гумусово-аккумулятивного горизонта. Эти почвы чаще всего легкосуглинистые, но встречаются и среднесуглинистые разновидности. Особенности формирования каштановых почв нашли отражение в распределении теплофизических характеристик в их почвенных профилях. В однородных по гранулометрическому составу почвах изменение объемной теплоемкости главным образом определяется плотностью генетических горизонтов и увеличивается с глубиной. Лугово-каштановые солонцеватые почвы отличаются повышенными значениями теплоаккумуляции. Изменения температуропроводности в профиле каштановых почв являются следствием сложного сочетания почвенного уплотнения и облегченного гранулометрического состава. Теплопроводность при переходе от гумусово-аккумулятивного слоя к почвообразующей породе имеет тенденцию к росту. В целом легкосуглинистые горизонты отличаются повышенными абсолютными и относительными изменениями коэффициентов теплопередачи по сравнению со среднесуглинистыми как в темно-каштановых, так и в лугово-каштановых почвах. При водных мелиорациях наиболее качественными, обеспечивающими оптимальный теплообмен, являются темно-каштановые среднесуглинистые почвы. Хорошими показателями характеризуются также легкосуглинистые почвы. В то же время солонцеватые, более тяжелые

по гранулометрическому составу, лугово-каштановые подтипы малоэффективны.

**Keywords:** chestnut soils, thermal capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity, active thermal diffusivity range, thermophysical bonitet.

The chestnut soils occupy a separate zone in the central Kulunda alluvial plain and they make up large massifs there. A specific feature of these soils is their thin humus-accumulative horizon. These soils are mostly light-loamy though there are medium-loamy types. The formation features of chestnut soils are reflected in the distribution of the thermophysical characteristics in their soil profiles. In the soils with homogeneous particle size distribution the volumetric thermal capacity is largely determined by the density of genetic horizons and increases with depth. The meadow-chestnut solonchek soils reveal high values of thermal storage. The changes of the thermal diffusivity in chestnut soil profiles are the result of a complex combination of soil compaction and lighter particle size distribution. The thermal conductivity reveals an increasing trend at the transition from the humus-accumulative layer to the parent rock material. In general, light-loamy horizons are distinguished by higher absolute and relative changes in the heat transfer coefficients as compared to medium-loamy horizons both in dark-chestnut and meadow-chestnut soils. Dark-chestnut medium-loamy soils are the best ones for water amelioration since they ensure the optimum heat transfer. The light-loamy soils are also characterized by good indices. At the same time, the solonchek meadow-chestnut soil subtypes are heavier in their particle size distribution and less effective.

**Макарычев Сергей Владимирович**, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys\_asau@rambler.ru.

**Makarychev Sergey Vladimirovich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys\_asau@rambler.ru.

#### Введение

Каштановые почвы формируются в сухом континентальном климате с теплым засушли-

вым продолжительным летом и холодной зимой с незначительным снежным покровом. Средняя годовая температура в азиатской

части России 2-3°C, средняя температура января и июля около -25° и +25°C соответственно.

Продолжительность периода с температурой выше нуля 110-120 дней. Осадков выпадает мало: на севере зоны – 350-400 мм, в центре – 320-350, на юге – 250-300 мм.

Коэффициент увлажнения в южной части зоны 0,25-0,30, центральной – 0,30-0,35, северной – 0,35-0,45. Летом резко снижается относительная влажность воздуха. Часты суховеи, оказывающие губительное влияние на развитие растительности [1].

Каштановые почвы занимают самостоятельную зону в Кулундинской степи. Они широко распространены на Центральной Кулундинской аллювиальной равнине, где слагают крупные массивы.

### Объекты и методы

**Объектами** исследований явились каштановые почвы степной зоны Алтайского края, а **целью** – их теплофизическая характеристика. При этом была поставлена **задача** экспериментального определения теплоемкости почв. Для достижения цели в лабораторных условиях был использован **импульсный метод** плоского нагревателя.

### Результаты исследований

Характерным морфологическим признаком каштановых почв является малая мощность гумусово-аккумулятивного горизонта. Исследованные нами темно-каштановые и лугово-каштановые почвы Кулунды (Славгородский, Кулундинский, Родинский, Рубцовский районы) из-за различий гранулометрического состава имеют характерные особенности, но в целом профиль каштановых почв расчленяется на генетические горизонты следующим образом:  $A_p + B_1 + B_2(B_{2к}) + B_{Ск} + C_{к}$ .

Глубина залегания иллювиального, иллювиально-карбонатного горизонта может варьировать, но зачастую карбонатный горизонт залегает довольно глубоко, что является следствием легкого механического состава, обеспечивающего в отдельные влажные годы сравнительно глубокое промывание карбонатов. Максимум их содержания отмечается в верхней части карбонатного горизонта 60-90 см.

Климатические особенности зоны каштановых почв сказались на количественном содержании органического вещества в их профиле. Малое количество осадков, высокая летняя температура способствовали иссушению почвенного профиля, что замедлило процессы разложения и гумификации органических остатков [2]. Но при достаточном увлажнении почвы и высоких температурах микробиологическая деятельность сильно активизируется [3], что приводит в итоге к

быстрой минерализации органического вещества, количество которого в этих почвах не большое в связи с низкой продуктивностью естественной растительности.

Количество гумуса в темно-каштановых почвах составляет на богаре 2-3%, что в настоящее время позволяет объединить их с каштановыми. В лугово-каштановых почвах его содержание несколько больше (3-4%).

Гранулометрический состав темно-каштановых почв чаще всего легкосуглинистый, встречаются и среднесуглинистые разновидности. Лугово-каштановые почвы преимущественно среднесуглинистые, но есть и более легкие. Супесчаные почвы приурочены к склонам боровых террас и приборовой полосе.

В гранулометрическом составе преобладают песчаные фракции (1-0,25; 0,25-0,05 мм), содержание которых достигает 50-60% в легкосуглинистых и 30-40% в среднесуглинистых почвах. Количество илистых частиц в легких почвах 10-15%, в более тяжелых – 20-30%.

Верхняя часть каштановых почв, в которой активно протекают процессы почвообразования, обогащена глинистой фракцией, но поверхностный слой гор. Ап, как правило, содержит меньше глины, что связано с выдуванием иловатых и пылеватых частиц в процессе дефляции.

По гранулометрическому составу иллювиальный горизонт практически не выделяется. Породы, подстилающие каштановые почвы, отличаются слоистостью литологического строения, что указывает на их аллювиальное происхождение. Легкая супесчано-песчаная толща чередуется с плотными осадочными породами тяжелого гранулометрического состава, на смену которой с глубиной приходят более легкие породы.

Илистая фракция каштановых почв представлена в основном гидрослюдами и монтмориллонитом. В составе более крупных частиц преобладают кварц (более 35%) и полевые шпаты (до 30%) [4, 5].

Профиль легкосуглинистых каштановых почв уплотнен (Р. 3к, 7к, 12к). Так, плотность пахотного слоя варьирует в пределах 1250-1300 кг/м<sup>3</sup>, достигая в отдельных случаях 1570 кг/м<sup>3</sup> (Р. 12к). В среднесуглинистых она несколько ниже – 1050 кг/м<sup>3</sup> (р. 7к).

Как правило, с глубиной плотность возрастает, достигая в материнской породе 1600, а в отдельных случаях – и 1700 кг/м<sup>3</sup>.

Плотность твердой фазы изменяется незначительно (в пределах 2600-2700 кг/м<sup>3</sup>).

Общая порозность темно-каштановых почв, особенно в верхнем гумусовом слое, высока (50-60%), а в лугово-каштановых – только 42-43%. В нижних горизонтах она ниже.

В формировании водно-физических свойств каштановых почв важную роль играет характер почвенной порозности. По данным В.П. Панфилова (1973, 1976), в легкосуглинистых каштановых почвах микропоры (менее 3 мкм) составляют 35-45%, средние (3-60 мкм) и крупные (более 60 мкм) – 60-70% порового пространства. Эти поры соединены друг с другом узкими каналами в местах стыка почвенных частиц. Такой характер порозности обуславливает дискретное состояние почвенной влаги и ограничивает способность ее к восходящему капиллярному передвижению, что сказывается на теплофизическом состоянии каштановых почв.

Пахотный горизонт с меньшей плотностью сложения содержит больше крупных пор. Значительная доля здесь принадлежит макропорам (20-40%). Преобладание крупных и средних пор в составе общей порозности легкосуглинистых каштановых почв создает благоприятные условия для аэрации, диффузионного движения паров и, тем самым, обеспечивает высокие значения термопаропродности вплоть до влажности, соответствующей НВ.

Высокое содержание песчаных фракций и небольшое количество илистых частиц обусловили низкие значения гидроконстант. Величина максимальной гигроскопичности в легкосуглинистых почвах лежит в узком интервале 2-4% (Р. 7к, 12к), в среднесуглинистых – 5-7% от веса почвы (Р. 3г, 11к). При этом максимальные значения МГ отмечаются в верхних гумусированных слоях, а также в горизонтах, обогащенных илистой фракцией.

Для легкосуглинистых каштановых почв характерна малая водоудерживающая способность. В верхнем метровом слое они способны удержать 180-196 мм воды, из них 70-75 мм труднодоступны растениям, т.е. около 40-45% от НВ [6].

В среднесуглинистых почвах запас воды при увлажнении до НВ составляет 270 мм. В гумусовом горизонте легкосуглинистых почв НВ равна 18-21%, среднесуглинистых – 22-27% от веса почвы. В нижних горизонтах эти показатели падают.

В суглинистых каштановых почвах Кулундинской степи выделяется такой показатель, как ВРК, который в легких суглинках равен 15-16%, а в средних – 18-20% от веса почвы.

Особенности формирования суглинистых каштановых почв нашли отражение в распределении теплофизических характеристик в почвенных профилях. Так, низкая гумусированность каштановых почв практически не сказывается на величинах коэффициентов теплоаккумуляции и теплопередачи [7].

В однородных по гранулометрическому составу почвенных профилях в абсолютно сухом состоянии изменение объемной тепло-

емкости ( $c_v$ ) определяется главным образом плотностью сложения генетических горизонтов и увеличивается с глубиной, например в легкосуглинистой почве (Р. 3г) от  $1,184 \times 10^{+6}$  в гор. Ап до  $1,530 \times 10^{+6}$  Дж/( $m^3 K$ ) в гор. Ск. Только в гор. В<sub>2</sub>, где имеет место падение объемного веса, объемная теплоемкость принимает несколько меньшее значение.

В менее плотном профиле среднесуглинистой темно-каштановой почвы (Р. 7к) теплоемкость оказывается ниже. В гор. Ап, где объемный вес равен  $1050 \text{ кг}/m^3$ , коэффициент объемной теплоемкости составляет лишь  $0,943 \times 10^{-6}$  Дж/( $m^3 K$ ).

Лугово-каштановые среднесуглинистые солонцеватые почвы отличаются повышенными значениями объемной теплоемкости. Так, в пахотном слое (Р. 11к) она оказывается равной  $1,278 \times 10^6$ , а в почвообразующей породе – уже  $1,601 \times 10^6$  Дж/( $m^3 K$ ).

Более сложный характер распределения в профилях каштановых почв в обезвоженном состоянии имеет коэффициент температуропроводности ( $\alpha$ ).

К примеру, в пахотном слое темно-каштановой почвы (Р. 3г) он достаточно высок –  $0,378 \times 10^{-6}$  м/с, в гор. А и В<sub>1</sub> уменьшается, увеличиваясь в гор. В<sub>2</sub>, а затем опять снижается. В целом эти изменения невелики (15-20%), что является следствием сложного сочетания почвенного уплотнения с глубиной и некоторым облегчением гранулометрического состава. Наибольшей величины температуропроводность достигает в супесчаном, обогащенном мелким песком гор. ВСк, что характерно для почв легкого гранулометрического состава.

В профиле лугово-каштановых почв (Р. 11к) максимум температуропроводности отмечен в менее плотных генетических горизонтах Ап и В<sub>1</sub>, где она составляет, соответственно, 0,320 и  $0,355 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Относительное изменение температуропроводности в профиле составило 33%. По сравнению с темно-каштановыми почвами в лугово-каштановых солонцеватых значения температуропроводности оказываются ниже.

Теплопроводность ( $\lambda$ ) при переходе от гумусово-аккумулятивного слоя к почвообразующей породе имеет тенденцию к росту.

Повышенное влагосодержание вызывает значительный прирост теплофизических коэффициентов. При этом характер их изменений аналогичен генетическим горизонтам черноземных профилей.

Максимальному влиянию влаги подвержены коэффициенты температуропроводности исследованных почв (Р. 3г, 7к, 11к, 12к). Так, относительное изменение температуропроводности наиболее динамичного гумусового слоя (Р. 3г) и переходного гор. ВСк оказалось равным 66 и 58% соответственно. Это

результат рыхлого сложения гор. Ап и облегченного по гранулометрическому составу гор. ВСк.

В целом легкосуглинистые горизонты отличаются повышенными абсолютными и относительными изменениями по сравнению со среднесуглинистыми как в темно-каштановых, так и в лугово-каштановых почвах, хотя в последних эти изменения остаются всегда менее значительными (Р. 11к – в гор. Ап и В 36 и 48% соответственно).

Экстремальные значения температуропроводности и точки резкого перегиба теплопроводности на графиках суглинистых горизонтов темно-каштановых почв наблюдаются при 15-16% от веса почвы, что практически совпадает с ВРК. В лугово-каштановых солонцеватых почвах они несколько сдвинуты в сторону больших влажностей (17-18% от веса почвы).

При такой степени почвенного увлажнения обводнены все мелкие поры и часть средних. Это обеспечивает пленочно-связное состояние почвенной влаги и ее активное участие в теплопередаче. В то же время крупные и определенная часть средних пор свободны от влаги, что обеспечивает перенос тепла молекулами пара и в совокупности определяет высокие значения тепло- и температуропроводности каштановых почв.

Следует отметить также, что средняя удельная теплоемкость деятельного слоя каштановых почв ниже, чем лессовых черноземов Алтая. Это обусловлено прежде всего малым содержанием в них теплоемкого органического вещества и, кроме того, повышенной концентрацией здесь песчаной фрак-

ции с преобладанием менее теплоемкого кварца.

Рассчитанные средние для деятельного слоя почвы теплофизические коэффициенты позволяют классифицировать каштановые почвы Кулунды (табл. 1).

При этом для каштановых почв шкала отзывчивости оказывается несколько отличной от черноземов.

Согласно полученным данным темно-каштановые легкосуглинистые почвы Кулундинской степи относятся к 1-му классу, среднесуглинистые – ко 2-му, а лугово-каштановые – к 3-му.

Если произвести оценку качества теплофизического состояния каштановых почв по оптимальной температуропроводности, то они расположатся в определенной последовательности (табл. 2).

Таким образом, при гидромелиорациях наиболее качественными, обеспечивающими оптимальный теплообмен являются темно-каштановые среднесуглинистые почвы. Хорошими показателями характеризуются также легкосуглинистые почвы Кулунды. В то же время солонцеватые, более тяжелые по гранулометрическому составу, лугово-каштановые почвы не столь эффективны.

Следует отметить также, что средняя удельная теплоемкость деятельного слоя каштановых почв ниже, чем лессовых черноземов Алтая. Это обусловлено прежде всего малым содержанием в них органического вещества и, кроме того, повышенной концентрацией здесь песчаной фракции с преобладанием менее теплоемкого кварца.

Таблица 1

*Теплофизические свойства (при ВЗ и НВ), диапазон активной температуропроводности (ДАТ), оптимальная (ОТ) и максимальная (МТ) температуропроводность каштановых почв*

λ (вз)	сγ (вз)	α (вз)	λ (нв)	сγ (нв)	α (нв)	α (0,75нв)	ДАТ	ООТ	ММТ
Темно-каштановая легкосуглинистая, Р. 3г									
0,976	1,850	0,468	1,538	2,550	0,603	0,680	0,208	0,642	0,680
Темно-каштановая среднесуглинистая, Р. 7к									
0,685	1,368	0,491	1,515	2,314	0,655	0,663	0,152	0,645	0,663
Лугово-каштановая легкосуглинистая, Р. 12к									
0,641	1,542	0,460	1,471	2,566	0,573	0,592	0,132	0,582	0,592
Лугово-каштановая среднесуглинистая, Р. 11к									
0,714	1,557	0,459	1,266	2,415	0,508	0,562	0,103	0,535	0,562

Таблица 2

*Теплофизический бонитет каштановых почв*

Каштановые почвы	Балл бонитета
Темно-каштановые среднесуглинистые	100
Темно-каштановые легкосуглинистые	96
Лугово-каштановые легкосуглинистые	90
Лугово-каштановые среднесуглинистые	83



**Заключение**

Особенности формирования суглинистых каштановых почв нашли отражение в распределении теплофизических характеристик в почвенных профилях. Так, малая гумусированность этих почв практически не сказывается на величинах теплоаккумуляции и теплопередачи генетических горизонтов. В однородных по гранулометрическому составу каштановых почвах изменение объемной теплоемкости определяется главным образом их плотностью и возрастает с глубиной.

Температуропроводность в пахотном слое темно-каштановой почвы составляет  $0,378 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а в нижележащих уменьшается. Эти изменения невелики (15-20%), что является следствием сложного сочетания почвенного уплотнения и облегчением гранулометрического состава. По сравнению с темно-каштановыми почвами в лугово-каштановых солонцеватых значения температуропроводности оказываются меньше. Теплопроводность при переходе от гумусово-аккумулятивного горизонта к почвообразующей породе имеет тенденцию к росту.

При гидромелиорациях наиболее качественными, обеспечивающими оптимальный теплообмен, являются темно-каштановые среднесуглинистые почвы. Хорошими показателями характеризуются также легкосуглинистые почвы Кулунды.

**Библиографический список**

1. Сляднев А.П. Географические основы климатического районирования и опыт их применения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины // География Западной Сибири. – Новосибирск, 1965. – 123 с.  
 2. Панфилов В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. – Новосибирск: Наука, 1973. – 258 с.

3. Сидоренко А.И. Микрофлора целинных и осваиваемых солонцов Барабы. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962. – С. 127-148.

4. Трофимов И.Т. Исследование структуры некоторых почв Алтайского края: автореф. канд. дис. – Барнаул, 1967. – 23 с.

5. Панфилов В.П., Чашина Н.И. Вододерживающая способность супесчаных каштановых почв Кулундинской степи // Почвоведение. – 1970. – № 12. – С. 56-64.

6. Бурлакова Л.М., Татаринцев Л.М., Рассыпнов В.А. и др. Почвы Алтайского края: учебное пособие. – Барнаул, 1988. – 69 с.

7. Макарычев С.В. Теплофизические основы мелиорации почв: учебное пособие. – Барнаул, 2005. – 279 с.

**References**

1. Slyadnev A.P. Geograficheskie osnovy klimaticeskogo raionirovaniya i opyt ikh primeneniya na yugo-vostoke Zapadno-Sibirskoi ravniny // Geografiya Zapadnoi Sibiri. – Novosibirsk, 1965. – 123 s.

2. Panfilov V.P. Fizicheskie svoystva i vodnyi rezhim pochv Kulundinskoj stepi. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 258 s.

3. Sidorenko A.I. Mikroflora tselinnykh i osvivaemykh solontsov Baraby. – Novosibirsk: Izd-vo SO AN SSSR, 1962. – S. 127-148.

4. Trofimov I.T. Issledovanie struktury nekotorykh pochv Altaiskogo kraja: avtoref. diss. kand. nauk. – Barnaul, 1967. – 23 s.

5. Panfilov V.P., Chashchina N.I. Vododerzhivayushchaya sposobnost' supeschanykh kashtanovykh pochv Kulundinskoj stepi // Pochvovedenie. – 1970. – № 12. – S. 56-64.

6. Burlakova L.M., Tatarintsev L.M., Rassypnov V.A. i dr. Pochvy Altaiskogo kraja: uchebnoe posobie. – Barnaul, 1988. – 69 s.

7. Makarychev S.V. Teplofizicheskie osnovy melioratsii pochv: uchebnoe posobie. – Barnaul, 2005. – 279 s.



УДК 631.4:551.4.03:53:630\*271(571.15)

**И.В. Гефке, Л.В. Лебедева**  
 I.V. Gefke, L.V. Lebedeva

**МОРФОЛОГИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА  
 В УСЛОВИЯХ ДЕНДРАРИЯ**

**MORPHOLOGY AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS OF DIFFERENT GENESIS  
 UNDER THE ARBORETUM CONDITIONS**

*Ключевые слова:* морфология, плотность, влажность, порозность, влажность завядания, наименьшая влагоемкость, гумус.

*Keywords:* morphology, density, moisture content, porosity, wilting point, minimum water capacity, humus.