

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ОСНОВНОЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПОЧВ АЛТАЙСКОГО КРАЯTHE PARAMETERIZATION OF THE KEY THERMAL PERFORMANCE CURVES SOIL  
OF THE ALTAI REGION'S SOILS

**Ключевые слова:** теплоперенос, теплопроводность, температуропроводность, влажность, гранулометрический состав дисперсность, порозность, гумус.

Формирование температурных полей в почве определяется ее теплофизическими свойствами: теплоемкостью, теплопроводностью и температуропроводностью, которые являются функциями целого ряда почвенно-физических факторов, таких как влажность, гранулометрический состав, плотность сложения и порозность, температура, гумус. Наши исследования показали, что влажность почвы позволяет однозначно маркировать критическую точку максимума теплопроводности почв разного генезиса, в которой создаются наилучшие условия комбинированного теплопереноса. Кроме того, прирост температуропроводности при увлажнении максимален в супесчаных дерново-подзолистых почвах, тогда как в тяжелых по гранулометрическому составу черноземах он гораздо ниже. Приуроченность экстремальных значений температуропроводности к различным, зависящим от гранулометрического состава гидрологическим константам во многом определяется характером и степенью обводнения почвенных пор. При этом супесчаные почвы в абсолютно сухом состоянии имеют малую температуропроводность, что объясняется повышенным уплотнением и низким содержанием гумуса. В тяжелосуглинистых и глинистых черноземах предгорий Алтая наибольшее влияние оказывает степень дис-

персности, а именно наличие тонкодисперсных фракций.

**Keywords:** heat transfer, thermal conductivity, thermal diffusivity, moisture content, particle size distribution, dispersion, porosity, humus.

The formation of temperature fields in the soil is determined by its thermophysical properties as thermal capacity, thermal conductivity and thermal diffusivity which are the functions of a number of soil-physical factors as moisture content, particle size distribution, bulk density and porosity, temperature and humus. Our research has shown that soil moisture enables to definitely mark the critical point of thermal conductivity maximum of the soils of different genesis at which the best conditions for combined heat transfer are created. In addition, thermal conductivity increment under moistening is maximal in the sandy-loam sod-podzolic soils while it is much lower in the chernozems of heavy particle size distribution. The confinedness of extreme thermal conductivity values to different hydrological constants depending on the particle size distribution is largely determined by the pattern and extent of filling soil pores with water. Sandy-loam soils under absolutely dried condition have low thermal diffusivity due to increased compaction and low humus content. The degree of dispersion and namely the presence of fine fractions have the greatest effect in heavy loamy and clayey chernozems of the Altai Mountains foothills.

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

**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.

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

**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**

Формирование температурных полей в почве определяется ее теплофизическими свойствами: теплоемкостью, тепло- и температуропроводностью, которые являются функциями целого ряда почвенно-физических факторов, таких как влажность, гранулометрический состав, плотность сложения и порозность, содержание органического вещества (гумуса). Это предопределяет, с одной стороны, неоднородность почв по теплофизическим параметрам, а с другой, — боль-

шие практические возможности для направленного воздействия на климат и тем самым на процессы почвообразования и условия жизни растений.

Поэтому познание теплофизических свойств почв во взаимосвязи с их генетическими особенностями, характером естественного и искусственного увлажнения, уплотнения и аэрации почвенного профиля необходимо как в целях генетической характеристики, так и для расчета, оценки, прогноза и обоснования наиболее рациональных

агромелиоративных технологий, направленных на оптимизацию гидротермического режима почв, охрану и повышение почвенного плодородия.

Экспериментальные исследования водно-физических и теплофизических свойств почв Алтайского края отражены в работах [1-4]. Нами были продолжены и дополнены эти исследования и произведена параметризация накопленного массива теплофизических данных основных типов почв.

**Объекты и методы**

**Объектами** исследований явились дерново-подзолистые, каштановые, серые лесные почвы, а также черноземы обыкновенные колючей степи и выщелоченные предгорий Алтая. **Цель** – параметризация накопленного массива теплофизических данных основных почвенных типов Алтайского края. **Используется метод** моделирования и сравнительного анализа теплообменных свойств почв разного генезиса.

**Результаты исследований**

Зависимость коэффициента температуропроводности ( $K$ ) от влажности ( $\theta$ ) аппроксимирована функцией, предложенной Т.А. Архангельской [5]:

$$K = K_0 + a \exp \left[ -0,5 \left( \frac{\ln \left( \frac{\theta}{\theta_0} \right)}{b} \right)^2 \right],$$

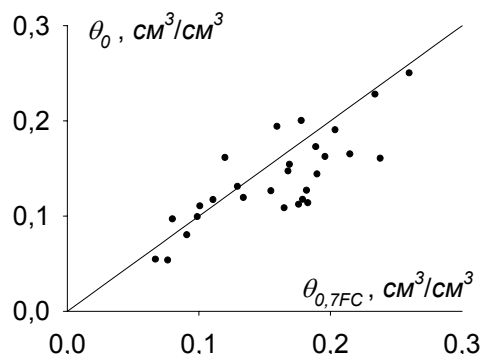
где  $K_0$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $\theta_0$  – параметры кривой.

Эти параметры имеют ясный физический смысл:  $a_0$  – температуропроводность сухой почвы;  $U_0$  – влажность, при которой достигается максимум температуропроводности;  $a_0 + b$  – максимальная температуропроводность при  $U = U_0$ . Параметр  $c$  характеризует ширину пика кривой и определяется диапазоном влажности, в котором происходит активный термоперенос почвенной влаги.

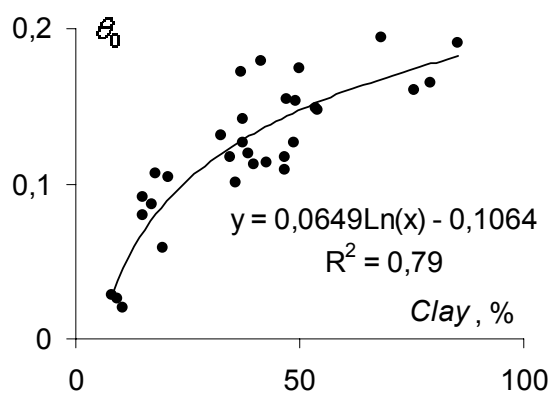
Данные параметры использованы при сравнительном анализе теплообменных свойств почв. Так, коэффициент  $\theta_0$  позволяет однозначно маркировать критическую точку насыщения теплопроводности (максимум температуропроводности), в которой создаются наилучшие условия комбинированного теплопереноса, и соответствует влажности разрыва капиллярной связи для суглинков (рис. 1).

Логарифмическая зависимость  $\theta_0$  от содержания физической глины (рис. 2) является доказательством сделанного ранее вывода о более динамичном поведении

кривых  $K(\theta)$  для почв легкого гранулометрического состава в сравнении с тяжелыми почвами [7].



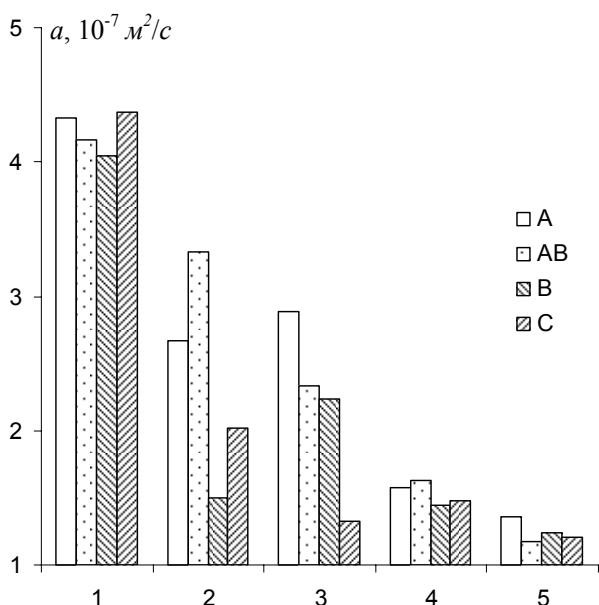
**Рис. 1. Зависимость параметра  $\theta_0$  от величины  $ВРК = 0,7HВ$  для суглинков**



**Рис. 2. Зависимость параметра  $\theta_0$  от содержания физ. глины**

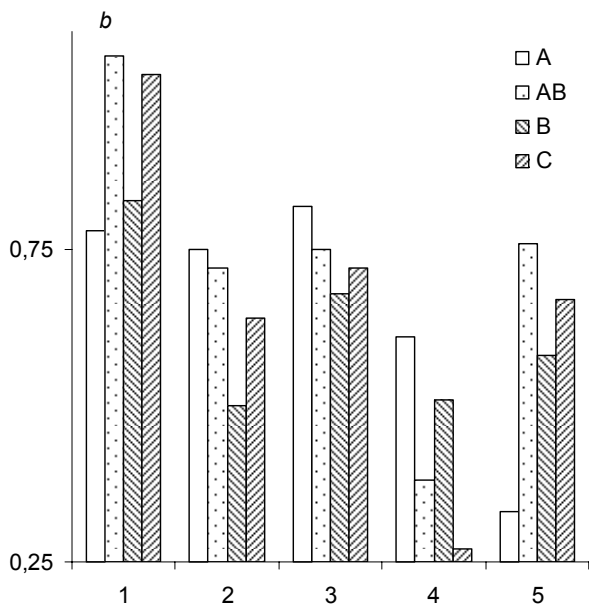
На рисунке 3 видно, что параметр  $a$ , определяющий прирост температуропроводности с влажностью, максимален для дерново-подзолистых почв засушливой степи. По мере приближения к предгорьям Алтая его значение уменьшается, что объясняется утяжелением гранулометрического состава и увеличением содержания органического вещества, когда в тонкодисперсных почвах вытеснение почвенного воздуха водой происходит постепенно, и в результате процессов набухания органоминеральных частиц количество тупиковых и замкнутых пор становится больше, чем в грубодисперсных почвах.

Также в грубодисперсных почвах изменение температуропроводности с ростом влажности происходит более динамично и в более узком диапазоне увлажнения, чем в средне- и тяжелосуглинистых (глинистых) черноземах, что подтверждается уменьшением параметра  $b$  и увеличением  $\theta_0$  (рис. 4-7).



**Рис. 3. Распределение параметра *a* по горизонтам в почвах Алтайского края:**

- 1 – дерново-подзолистые почвы засушливой степи;**
- 2 – каштановые почвы сухой степи;**
- 3 – черноземы обыкновенные колючей степи;**
- 4 – серые лесные почвы лесостепи;**
- 5 – черноземы выщелоченные предгорий Алтая**

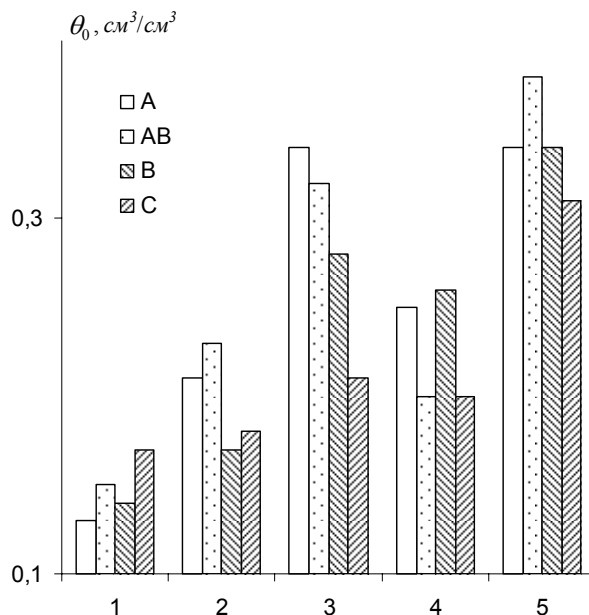


**Рис. 4. Распределение параметра *b* по горизонтам в почвах Алтайского края (обозначения на рис. 3)**

Изменение параметра  $\theta_0$  характеризует затухающий эффект температуропроводности при увлажнении черноземов или отдельных генетических горизонтов разного гранулометрического состава и проявляется при различной влажности: в супесчаных – при  $0,13-0,17 \text{ см}^3/\text{см}^3$ , легкосуглинистых – при  $0,18-0,23 \text{ см}^3/\text{см}^3$ , в среднесуглинистых – при  $0,21-0,34 \text{ см}^3/\text{см}^3$ , а в глинистых – при

$0,31-0,38 \text{ см}^3/\text{см}^3$  содержания влаги в почве [8]. Следовательно, в почвах или горизонтах более легкого грансостава коэффициенты температуропроводности начинают увеличиваться и достигают наибольшего значения при меньших влажностях, чем в горизонтах тяжелого гранулометрического состава. Однако в тяжелосуглинистых серых-лесных почвах лесостепи значение параметра  $\theta_0$  составляет  $0,20-0,26 \text{ см}^3/\text{см}^3$ , что объясняет то, что зональная принадлежность почвы характеризуется совокупностью свойств. В целом в почвах сухой степи коэффициенты температуропроводности начинают увеличиваться и достигают наибольшего значения при меньших влажностях, чем в почвах колючей степи, лесостепи и предгорий Алтая (Салаира) (рис. 7).

Ранее было показано, что указанные пределы влажности соответствуют определенной стадии почвенного увлажнения, причем в менее дисперсных, суглинистых почвенных профилях черноземов Приобского плато этот предел лежит в интервале увлажнения, равном или близком к влажности разрыва капиллярных связей. В более дисперсных глинистых черноземах, где ВРК не выражена, максимум температуропроводности приближен к ВЗ [6, 7]. Отметим, что в супесчаных почвах или горизонтах он наблюдается при НВ, а в песчаных близок к КВ (капиллярной влагоемкости).



**Рис. 5. Распределение параметра  $\theta_0$  по горизонтам в почвах Алтайского края (обозначения на рис. 3)**

Приуроченность экстремальных значений температуропроводности к различным зависящим от грансостава гидроконстантам во многом определяется характером и

степенью обводненности почвенных пор. В этом отношении черноземы, а в равной степени и их отдельные генетические горизонты, имеющие различный гранулометрический состав, существенно различаются. Так, в поровом пространстве пахотного слоя суглинистых черноземов Приобья преобладают мелкие поры диаметром менее 3 мкм (рис. 6). Почти все крупные поры представлены «макропорами» (более 600 мкм), которые в естественных условиях заполняются водой и обеспечивают хорошую аэрацию.

С глубиной доля мелких пор несколько снижается, а крупных возрастает. При таком характере почвенной порозности хорошо

выражена такая гидроконстанта, как ВРК. В среднесуглинистых выщелоченных черноземах Приобского плато, увлажненных до ВРК, обводнено 44% общей порозности [6, 7]. При этом вся влага удерживается только в системе мелких пор, что обуславливает пленочно-связное состояние почвенной влаги и ее активное участие в кондуктивной теплопередаче. В то же время 56% общей порозности, или 30% объема почвы, представленной системой крупных и средних пор, не обводнено при ВРК, что обеспечивает благоприятные условия для термодиффузного передвижения молекул парообразной влаги.

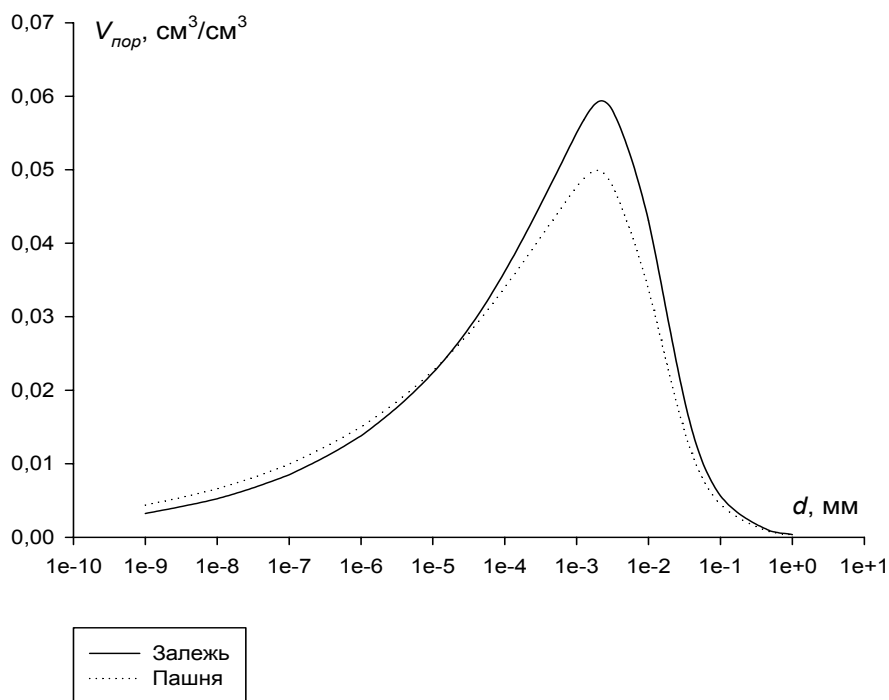


Рис. 6. Распределение пор по размерам черноземов Алтайского Приобья

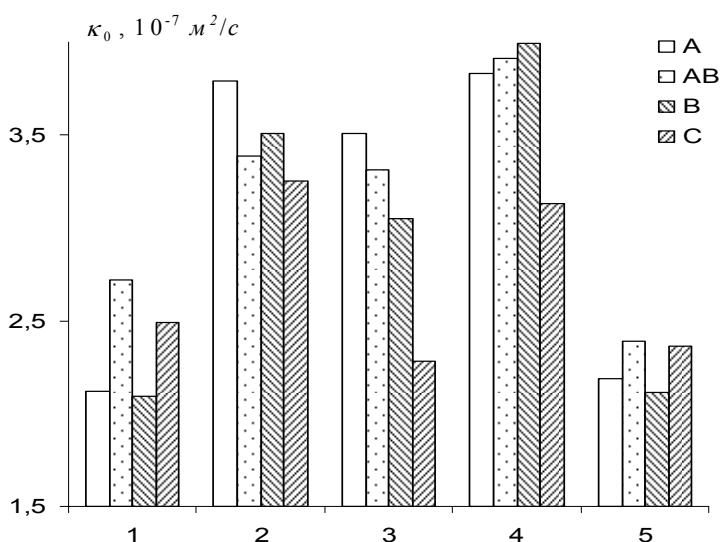


Рис. 7. Распределение параметра  $K_0$  по горизонтам в почвах Алтайского края (обозначения на рис. 3)

Изменение параметра  $K_0$  для различных почв по почвенно-климатическим зонам Алтайского края неоднозначно. Ранее С.В. Макарычевым [7] было показано, что теплопроводность сухой почвы с утяжелением гранулометрического состава, её уплотнением и увеличением содержания органического вещества уменьшается. На рисунке 7 видно, что дерново-подзолистые почвы засушливой степи имеют низкие значения  $K_0$ , несмотря на супесчаный гранулометрический состав, что можно объяснить повышенным уплотнением и низким содержанием органического вещества. В глинистых черноземах предгорий Алтая, имеющих такие же значения параметра  $K_0$ , наибольшее влияние, вероятно, оказал гранулометрический состав, в частности наличие тонкодисперсных фракций.

### Выводы

1. Влажность  $\Theta$  позволяет однозначно маркировать критическую точку насыщения теплопроводности почв разного генезиса, в которой создаются наилучшие условия комбинированного теплопереноса.

2. Параметр  $a$ , определяющий прирост теплопроводности при увлажнении, максимален для супесчаных дерново-подзолистых почв засушливой степи. Утяжеление гранулометрического состава приводит к его снижению.

3. В грубодисперсных почвах изменение теплопроводности с ростом влагосодержания происходит более динамично и в более узком диапазоне влажности, чем в средне- и тяжелосуглинистых черноземах.

4. Приуроченность экстремальных значений теплопроводности к различным, зависящим от гранулометрического состава гидроконстантам, во многом определяется характером и степенью обводненности почвенных пор.

5. Супесчаные почвы в абсолютно сухом состоянии имеют низкие значения теплопроводности. Это объясняется повышенным уплотнением и низким содержанием гумуса. В тяжелосуглинистых и глинистых черноземах предгорий Алтая, имеющих аналогичные значения теплопроводности, наибольшее влияние оказывает гранулометрический состав и, прежде всего, наличие тонкодисперсных фракций.

### Библиографический список

1. Макарычев С.В., Мазиров М.А. Теплофизика почв: методы и свойства. – Суздаль: Изд-во Владимирского НИИСХ, 1996. – 130 с.

2. Панфилов В.П., Харламов И.С. Теплофизические свойства серых лесных почв Западной Сибири // Почвоведение. – 1984. – № 11. – С. 42-48.

3. Панфилов В.П. Пути регулирования теплового режима почв Сибири // Управление комплексом факторов жизни растений на мелиорируемых землях. – Фрунзе, 1977. – С. 123-124.

4. Панфилов В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. – Новосибирск: Наука, 1973. – 258 с.

5. Архангельская Т.А. Закономерности пространственного распределения температуры почв в комплексном почвенном покрове: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., 2008. – 50 с.

6. Панфилов В.П., Чашчина 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.

7. Макарычев С.В., Сазонов И.Е., Янов С.И. О влиянии термовлагопереноса на коэффициенты тепло- и теплопроводности легкосуглинистых черноземов Приобья // Физика почв и проблемы экологии: тез. конф. стран СНГ. – Пушкино, 1992. – С. 21-23.

### References

1. Makarychev S.V., Mazirov M.A. Teplofizika pochv: metody i svoistva. – Suzdal': Izd-vo Vladimirskego NIISKh, 1996. – 130 s.

2. Panfilov V.P., Kharlamov I.S. Teplofizicheskie svoistva serykh lesnykh pochv Zapadnoi Sibiri // Pochvovedenie. – 1984. – № 11. – S. 42-48.

3. Panfilov V.P. Puti regulirovaniya teplovogo rezhima pochv Sibiri // Upravlenie kompleksom faktorov zhizni rastenii na melioriruemymkh zemlyakh. – Frunze, 1977. – S. 123-124.

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

5. Arkhangel'skaya T.A. Zakonomernosti prostranstvennogo raspredeleniya temperatury pochv v kompleksnom pochvennom pokrove: avtoref. diss. ... dokt. biol. nauk. – M., 2008. – 50 s.

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

7. Makarychev S.V., Sazonov I.E., Yanov S.I. O vliyanii termovlagoperenosa na koeffitsienty teplo- i temperaturoprovodnosti legkosuglinistykh chernozemov Priob'ya // Fizika pochv i problemy ekologii: tez. konf. stran SNG. – Pushchino, 1992. – S. 21-23.

