

# АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.436

А.Г. Болотов, С.В. Макарычев, В.И. Пастухов  
A.G. Bolotov, S.V. Makarychev, V.I. Pastukhov

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНОЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСТПИРОГЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

### SIMULATION OF THE THERMO-PHYSICAL CURVE OF POST-PYROGENIC SOD-PODZOLIC SOILS OF THE NORTH-EASTERN PART OF BELT PINE FORESTS OF THE ALTAI REGION

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, пожар, теплофизические свойства почв, моделирование температуропроводности почв.

При математическом моделировании температурного поля в почвах необходимо знать теплофизические коэффициенты – теплоемкость и теплопроводность или температуропроводность, которые зависят от ряда физических свойств почвы, особенно от влажности. Наиболее практически значимый интерес представляет исследование зависимости коэффициента температуропроводности от влажности – основная теплофизическая характеристика (ОТХ), т.к. он входит в общее уравнение теплопроводности, используемое в математическом моделировании распространения тепла в почве. Были изучены теплофизические свойства в профиле дерново-подзолистых почв, сформированных под сосновым ленточным бором. Полученные экспериментальные основные теплофизические характеристики аппроксимированы 4-параметрической функцией Т.А. Архангельской. Данная функция достаточно точно описывает экспериментальную основную теплофизическую характеристику. В постпирогенных почвах вследствие дегумификации произошло уменьшение параметров  $\theta_0$  и  $b$  с приближением их значений к значениям этих параметров нижележащего горизонта. Полученные расчетные параметры позволяют однозначно охарактеризовать изменения теплообменных свойств почв, произошедших в результате воздействия пожара, а также исполь-

зовать эти параметры в имитационном моделировании температурного режима почв.

**Keywords:** sod-podzolic soil, fire, soil thermo-physical properties, simulation of soil thermal diffusivity.

In mathematical simulation of soil temperature field one should know such thermo-physical coefficients as heat capacity, thermal conductivity or thermal diffusivity which depend on a number of soil physical properties and particularly on soil moisture. What is of the most practically significant interest is the study of the dependence of the thermal diffusivity on moisture, i.e. thermo-physical curve since it is included in the general thermal conductivity equation used in the mathematical simulation of heat propagation in the soil. This work studies the thermo-physical properties in the profile of sod-podzolic soils formed under a belt pine forest. The obtained experimental thermo-physical curves are approximated by the 4-parameter function of T.A. Arkhangel'skaya. This function describes the experimental thermo-physical curves quite accurately. In post-pyrogenic soils due to humus loss, there occurred the reduction of the parameters  $\theta_0$  and  $b$  with the approach of their values to those of the underlying horizon. The obtained calculated parameters enable to identically characterize the changes in soil heat exchange properties that have occurred under the exposure to fire and also use these parameters in the simulation of soil temperature regime.

**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: makar@asau.ru.

**Пастухов Вадим Игоревич**, к.с.-х.н., докторант, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: makar@asau.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: makar@asau.ru.

**Pastukhov Vadim Igorevich**, Cand. Agr. Sci., Dr. Degree Applicant, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: makar@asau.ru.

### Введение

Разработка информативных диагностических показателей, которые можно использовать при оценке степени нарушения почв, является актуальной задачей [1-3]. Теплофизические показатели являются функцией теплообменных свойств почвенного покрова, которые можно использовать как индикатор изменений почв, вследствие антропогенного воздействия.

С другой стороны, при математическом моделировании температурного поля в почвах необходимо знать теплофизические коэффициенты – теплоемкость и теплопроводность или температуропроводность, которые зависят от ряда физических свойств почвы, особенно от влажности. Наиболее практически значимый интерес представляет исследование зависимости коэффициента температуропроводности от влажности – основная теплофизическая характеристика (ОТХ), т.к. он входит в общее уравнение теплопроводности, используемое в математическом моделировании распространения тепла в почве [4]. Для этого нами были изучены теплофизические свойства в профиле дерново-подзолистых почв, сформированных под сосновым ленточным бором.

**Целью** работы было моделирование основной теплофизической характеристики постпирогенных дерново-подзолистых почв.

В ходе исследований решались следующие **задачи**:

- 1) получение расчетных параметров основной теплофизической характеристики в профиле дерново-подзолистых почв;
- 2) анализ изменений расчетных параметров основной теплофизической характеристики при воздействии пожара на почву.

### Объекты и методы

Исследования проводились на гари 2006 г. в Барнаульском лесхозе, на заложенном мониторинговом полигоне общей площадью 3000 м<sup>2</sup>.

Объектом исследований являлась дерново-подзолистая почва песчаного гранулометрического состава, сформированная под сосновым ленточным бором. Образцы для изучения теплофизических свойств почв были отобраны из почвенных разрезов под лесным покровом (контроль), на склоне юго-западной экспозиции и в межгрядном понижении гари. Физические и физико-химические свойства почвы определены в работе [5].

Теплофизические свойства исследуемых почв определены на многоканальном измерительном комплексе на основе модуля АЦП/ЦАП ZET 210 (ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы», РФ) [6].

### Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Полученные экспериментальные ОТХ аппроксимированы 4-параметрической функцией Т.А. Архангельской [4, 7]:

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

где  $\theta$  – влажность почвы;

$K$  – соответствующая ей температуропроводность;

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

Эти параметры имеют ясный физический

смысл:  $K_0$  – температуропроводность сухой почвы;  $\theta_0$  – влажность, при которой достигается максимум температуропроводности;

$K_0 + a$  – максимальная температуропроводность при  $\theta = \theta_0$ . Параметр  $b$  характеризует ширину пика кривой и определяется диапазоном влажности, в котором происходит активный термоперенос почвенной влаги. Чем меньше величина параметра  $b$  и чем выше  $\theta_0$ , тем сильнее выражена S-образность кривой. Таким образом, параметры предложенной аппроксимации позволяют численно охарактеризовать не только пределы изменчивости температуропроводности изученных горизонтов с влажностью, но и форму полученных кривых.

Полученные аппроксимационные кривые достаточно точно описывают экспериментальное распределение коэффициента температуропроводности на различных глубинах и значимо не отличаются от экспериментальных значений (тест Уилка-Шапиро).

Аппроксимационные коэффициенты ОТХ дерново-подзолистых почв приведены в таблице.

Анализ данных таблицы показывает, что в результате воздействия пожара на почву уменьшается параметр  $\theta_0$  – влажность, при которой достигается максимум температуропроводности. Также вследствие дегумификации постпирогенной почвы уменьшился диапазон влажности, в котором происходит активный термоперенос почвенной влаги, на что указывает уменьшение параметра  $b$  с приближением его значений к значению этого параметра нижележащего горизонта (рис.).

Из рисунка видно, что пожар оказал влияние на изменение параметра  $b$  только в гумусово-эллювиальном горизонте.

Значения аппроксимационных коэффициентов ОТХ дерново-подзолистых почв северо-восточной части ленточных боров Алтайского края

	Коэфф.	$\sigma$	R	$R^2$	$\sigma_{\text{аппрокс}}$
A <sub>1</sub>					
a	0,0839	0,0048	0,998	0,9961	0,0127
b	0,8778	0,0392			
$\theta_0$	0,3138	0,0198			
$k_0$	0,2429	0,0125			
A <sub>1</sub> – гарь					
a	0,0658	0,0077	0,996	0,992	0,0204
b	0,7361	0,0788			
$\theta_0$	0,2691	0,0429			
$k_0$	0,2535	0,0204			
A <sub>2</sub>					
a	0,0826	0,0221	0,9843	0,9688	0,0421
b	0,7736	0,1855			
$\theta_0$	0,3448	0,1256			
$k_0$	0,2762	0,0415			
A <sub>2</sub> B					
a	0,0582	0,0145	0,9947	0,9895	0,0256
b	0,5856	0,1714			
$\theta_0$	0,4425	0,2319			
$k_0$	0,2302	0,0256			
B					
a	0,0296	0,0052	0,9844	0,9691	0,0388
b	0,5081	0,1429			
$\theta_0$	0,1068	0,0267			
$k_0$	0,2818	0,0312			

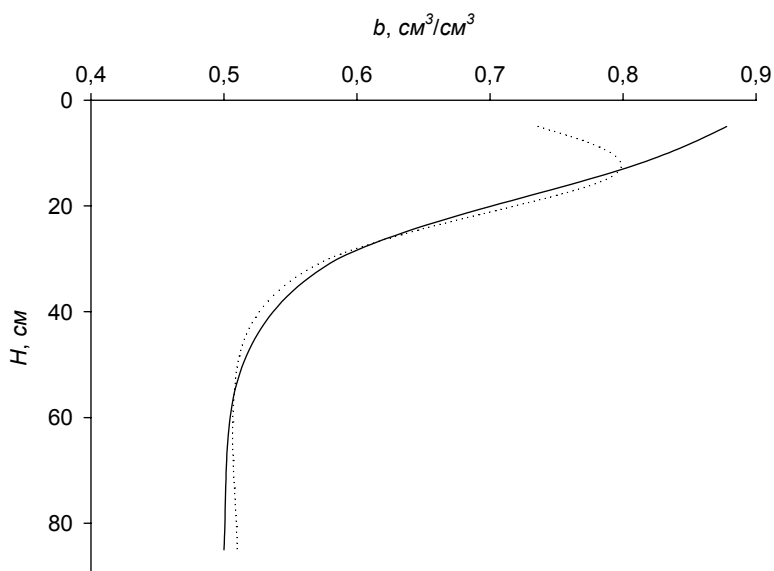


Рис. Профильное распределение параметра *b* дерново-подзолистых почв

**Выводы**

1. Функция, предложенная Т.А. Архангельской, достаточно точно описывает экспериментальную основную теплофизическую характеристику.

2. В постпирогенных почвах вследствие дегумификации произошло уменьшение параметров  $\theta_0$  и *b* с приближением их значений к

значениям этих параметров нижележащего горизонта.

3. Полученные расчетные параметры позволяют однозначно охарактеризовать изменения теплообменных свойств почв, произошедших в результате воздействия пожара, а также использовать эти параметры в имитационном моделировании температурного режима почв.

**Библиографический список**

1. Масютенко Н.П., Кузнецов А.В., Масютенко М.Н., Брескина Г.М., Панкова Т.И. К вопросу нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 10. – С. 14-17.
2. Владыкина Н.И. Влияние различных удобрительных материалов и систем обработки дерново-подзолистой среднесмытой почвы на показатели ее плодородия // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 10. – С. 10-13.
3. Титова В.И., Самоделкин А.Г., Дабахова Е.В., Ветчинников А.А. Показатели плодородия почв как диагностические признаки нарушения земель сельскохозяйственного назначения // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 24-26.
4. Архангельская Т.А. Закономерности пространственного распределения температуры почв в комплексном почвенном покрове: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., 2008. – 50 с.
5. Макарычев С.В., Малиновских А.А., Пастухов В.И. Гидротермический режим дерново-подзолистых почв на гаях ленточных боров в условиях Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 7. – С. 28-33.
6. Болотов А.Г. Определение теплофизических свойств почв с использованием систем измерения ZETLab // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 12. – С. 48-50.
7. Архангельская Т. Температуропроводность серых лесных почв Владимирского ополья // Почвоведение. – 2004. – № 3. – С. 332-342.

**References**

1. Masyutenko N.P., Kuznetsov A.V., Masyutenko M.N., Breskina G.M., Pankova T.I. K voprosu normirovaniya antropogennoi nagruzki dlya formirovaniya ekologicheskii sbalansirovannykh agrolandshaftov // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2014. – № 10. – S. 14-17.
2. Vladykina N.I. Vliyanie razlichnykh udobritel'nykh materialov i sistem obrabotki dernovo-podzolistoi srednesmytoi pochvy na pokazateli ee plodorodiya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2013. – № 10. – S. 10-13.
3. Titova V.I., Samodelkin A.G., Dabakhova E.V., Vetchinnikov A.A. Pokazateli plodorodiya pochv kak diagnosticheskie priznaki narusheniya zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2012. – № 12. – S. 24-26.
4. Arkhangel'skaya T.A. Zakonomernosti prostranstvennogo raspredeleniya temperatury pochv v kompleksnom pochvennom pokrove: avtoref. dis. doktora biol. nauk. – M., 2008. – 50 s.
5. Makarychev S.V., Malinovskikh A.A., Pastukhov V.I. Gidrotermicheskii rezhim dernovo-podzolistykh pochv na garyakh lentochnykh borov v usloviyakh Altaiskogo Priob'ya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – № 7. – S. 28-33.
6. Bolotov A.G. Opredelenie teplofizicheskikh svoystv pochv s ispol'zovaniem sistem izmereniya ZETLab // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – № 12. – S. 48-50.
7. Arkhangel'skaya T. Temperaturoprovodnost' serykh lesnykh pochv Vladimirskego opol'ya // Pochvovedenie. – 2004. – № 3. – S. 332-342.



УДК 631.423.2

**И.А. Гончаров, А.Г. Болотов, Н.А. Гончаров**  
**I.A. Goncharov, A.G. Bolotov, N.A. Goncharov**

**ФУНКЦИИ ВЛАГОПРОВОДНОСТИ ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ**

**THE FUNCTIONS OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF LEACHED CHERNOZEMS OF THE PRIOBYE (THE OB RIVER AREA) OF THE ALTAI REGION**

**Ключевые слова:** чернозем, гидрофизические свойства почв, функция влагопроводности, моделирование влагопереноса в почвах, влажность почвы.

При изучении гидрофизических свойств не насыщенной влагой почвы, когда часть порового пространства проводит воду, а часть содержит

газообразную фазу, используют понятие водопроницаемости почвы – коэффициент влагопроводности (или ненасыщенную гидравлическую проводимость). Ситуация, когда почва полностью насыщена водой, наблюдается не часто и характерна для горизонтов в зоне грунтовых вод, верховодки или может возникать в период весеннего снеготаяния при условии насыщения почвенной