

Всероссийская научная конференция  
«Лесные почвы и функционирование лесных экосистем»  
24 – 27 сентября 2019 года, Москва

**Исследование теплопереноса в слое почвы при лесных пожарах**

Барановский Н.В., Ни А.Э., Максимов В.И., Разва А.С., Базаров А.В.



Докладчик:

К.ф.-м.н., доцент

Барановский Николай Викторович

Томский политехнический университет

Томск - 2019



Рис. 1. Поражающие факторы лесного пожара



Рис. 2. Воздействие пожаров на почву

## 2D постановка задачи о воздействии очага пожара на почву

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \cdot \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right).$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right).$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \cdot \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right) + q_p k_p \rho_3 \phi \exp\left(-\frac{E_1}{RT_3}\right)$$

$$\rho_4 c_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \lambda_4 \cdot \left( \frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial y^2} \right).$$

$$\rho_3 \frac{\partial \phi_3}{\partial t} = -k_p \rho_3 \phi \exp\left(-\frac{E_1}{RT_3}\right).$$

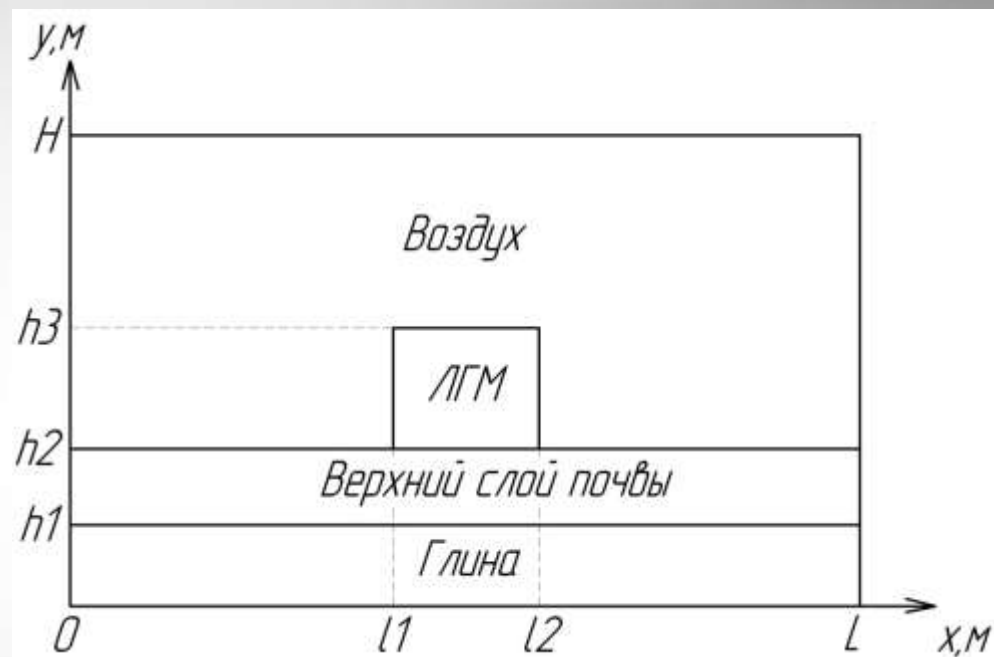


Рис. 3. Область решения

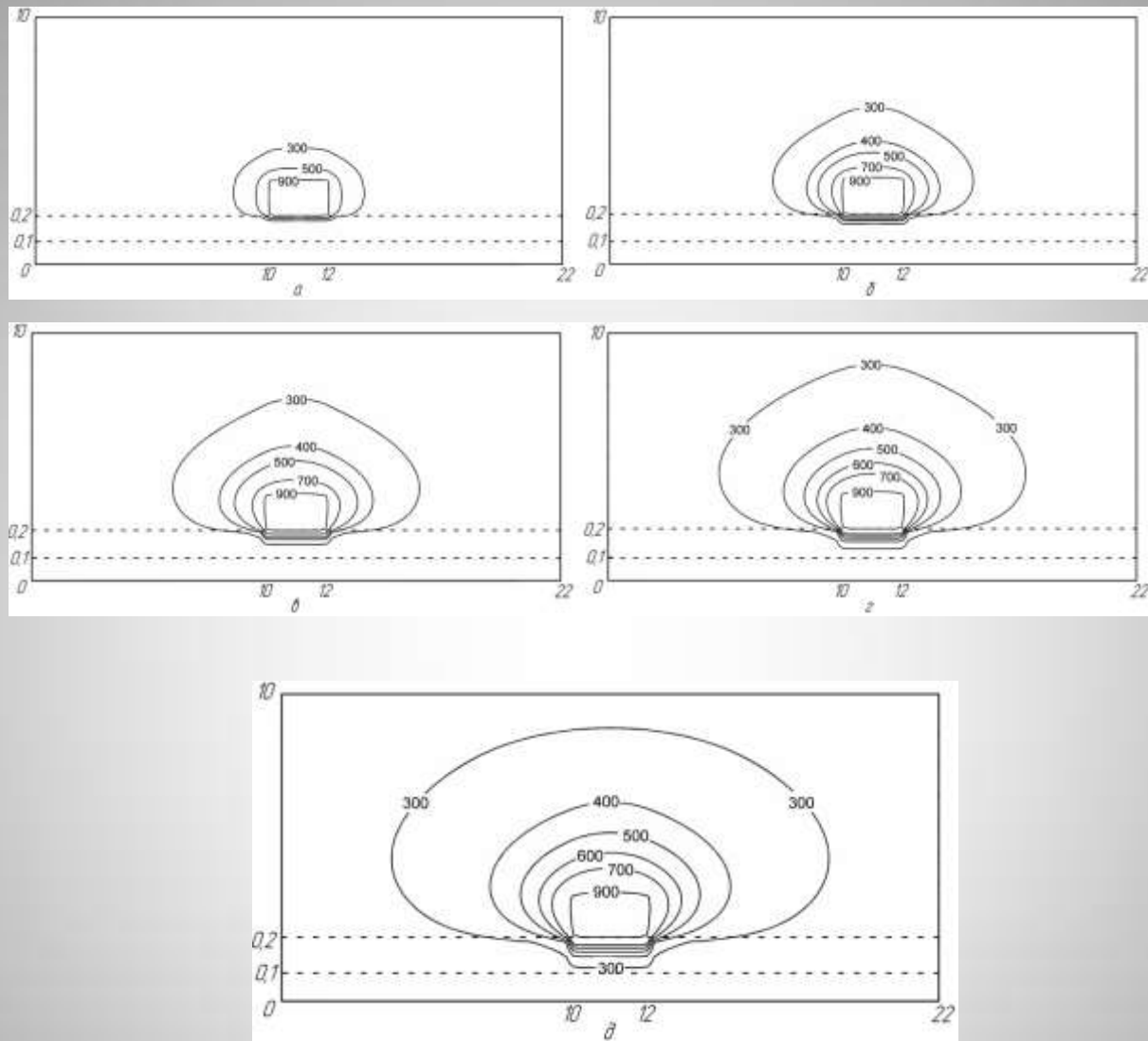


Рис. 4. Поля температур в слоях почвы, ЛГМ и воздуха при различном времени:  
 а)  $t=60$  с.; б)  $t=300$  с.; в)  $t=600$  с.; г)  $t=1200$  с.; д)  $t=1800$  с

## 3D постановка задачи о воздействии очага лесного пожара на почву

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \cdot \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right).$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right).$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \cdot \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right) + q_p k_p \rho_3 \varphi \exp\left(-\frac{E_1}{RT_3}\right)$$

$$\rho_4 c_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \lambda_4 \cdot \left( \frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial z^2} \right).$$

$$\rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = -k_p \rho_3 \varphi \exp\left(-\frac{E_1}{RT_3}\right).$$

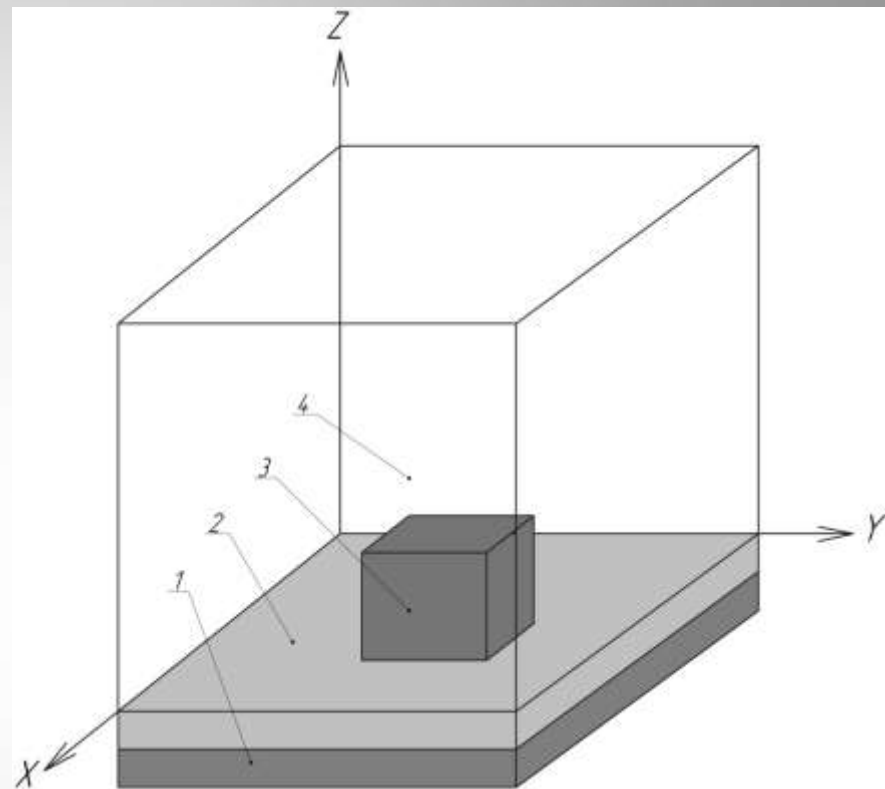
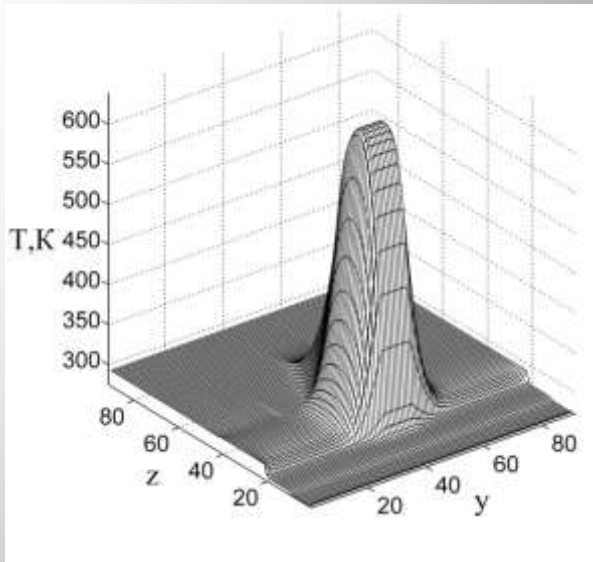
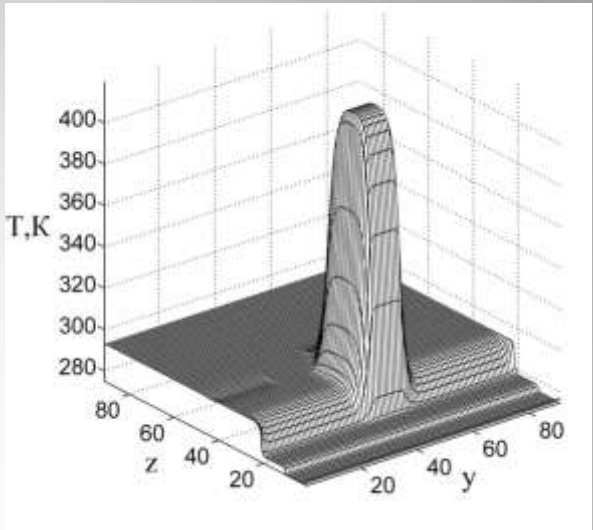


Рис. 5. Область решения

**Таб. 1.** Значения температур по направлению оси z в верхнем слое почвы для дву- и трехмерного случаев в момент времени  $t=600$  секунд (весенний сезон)

Координата, z, м	Двумерная задача, T, K	Трехмерная задача, T, K
0,1	277,4792	277,4791
0,11	277,7693	277,7693
0,12	278,4617	278,4615
0,13	280,2443	280,2439
0,14	285,0561	285,055
0,15	297,2049	297,2018
0,16	324,6204	324,6131
0,17	378,8409	378,825
0,18	471,4931	471,4627
0,19	606,4977	606,446
0,2	772,2649	772,1871



**Рис. 6.** Распределение температуры в сечении  $x=8$  метров в моменты времени: а)  $t=60$  секунд; б)  $t=300$  секунд. Точки по осям z и y – условные координаты, отвечающие номерам узлов разностной сетки области решения

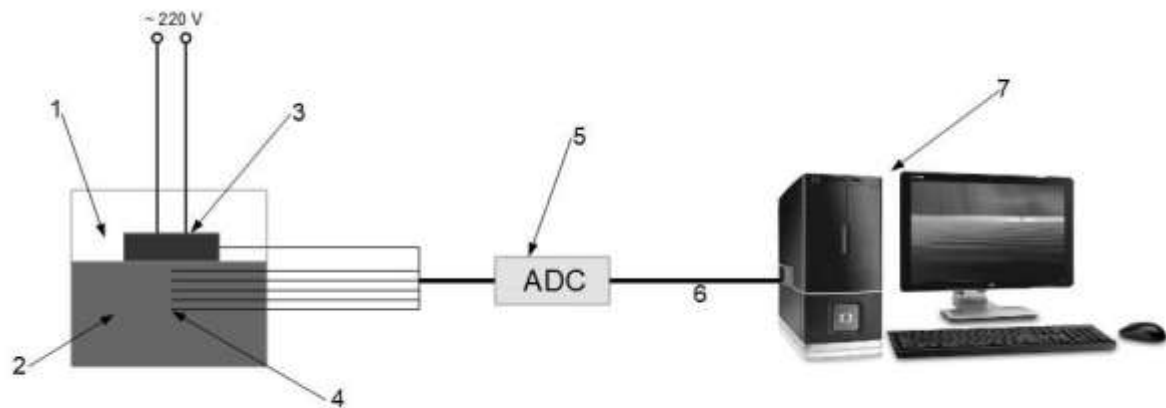
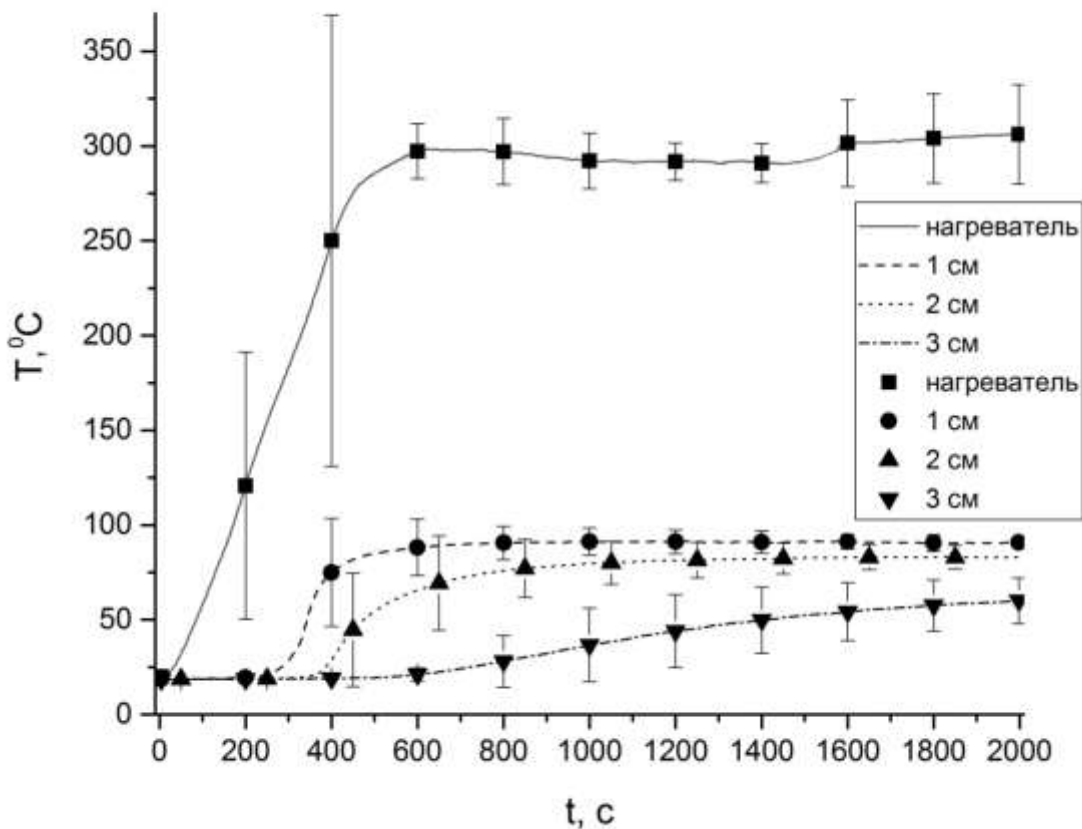


Рис. 7. Экспериментальная установка

Рис. 8. Результаты эксперимента





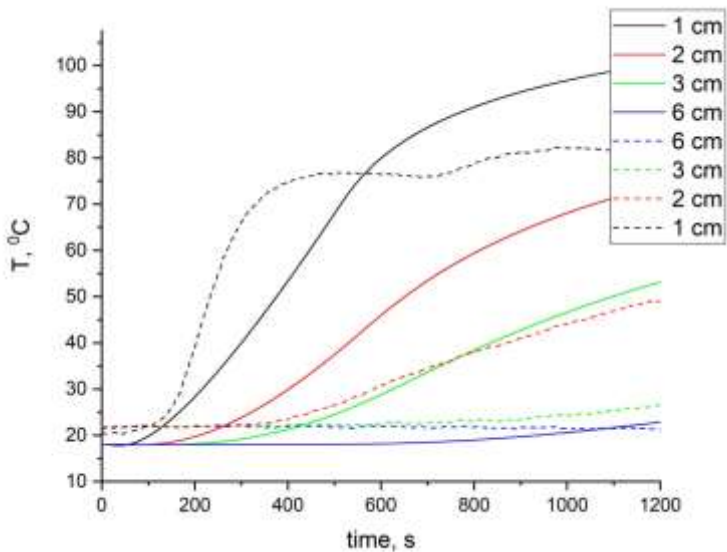
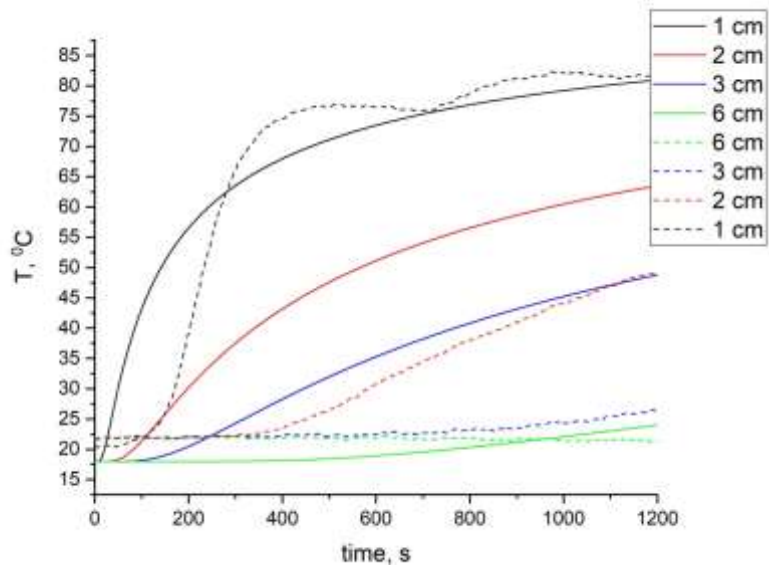


Рис. 9. Температурные кривые в слое почвы на разной глубине в зависимости от времени (постепенный нагрев – линейное приближение): сплошная линия – численный расчет; пунктирная линия – эксперимент

Рис. 10. Температурные кривые в слое почвы на разной глубине в зависимости от времени (осредненная по времени температура нагревателя): сплошная линия – численный расчет; пунктирная линия – эксперимент



## **Выводы**

1. Разработана группа математических моделей теплопереноса в слое почвы при воздействии очага лесного пожара.
2. Разработана экспериментальная установка для физического моделирования воздействия инертного нагревателя на слой почвы.
3. Получены результаты сравнительного анализа численного моделирования и эксперимента для одномерного случая.
4. Необходимо дальнейшее усовершенствование математических моделей.

**Спасибо за внимание!**