

# АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.425.6

С.В. Макарычев,  
А.Г. Болотов,  
И.В. Гефке

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПАХОТНОГО СЛОЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

**Ключевые слова:** моделирование, температурный режим, чернозем выщелоченный, пахотный слой, температуропроводность.

### Введение

Температурный режим почвы оказывает существенное влияние на развитие и рост растений. Поэтому задача определения температуры в активном слое почвы является актуальной. Измерение температуры почвы по глубине во времени непосредственно в поле связано с определенными трудностями, а при масштабных исследованиях практически невозможно. Альтернативой экспериментальным методам служат расчетные. В настоящее время в математической физике чаще всего используют численные методы, имеющие ряд преимуществ перед другими.

В предлагаемой работе рассматривается одномерная математическая модель температурного режима почвы, основанная на уравнении теплопроводности с известными начальным и граничным условиями 1-го рода на поверхности. Условия 1-го рода используются в тех случаях, когда рассматриваются теплообменные процессы внутри почвенного массива, определяемые его структурными неоднородностями, а термическая ситуация вблизи поверхности почвы рассматривается как фон, на котором указанные процессы изучаются [1]. Также проведено сравнение расчетных данных с измеренными значениями суточных температур в

двадцатисантиметровом слое чернозема выщелоченного.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводили на черноземе выщелоченном. Горизонт А (0-20 см) – темно-серый, влажный, слабоуплотненный, тяжелосуглинистый, тонкопористый, зернисто-комковатой структуры, агрегаты скреплены корнями растений [2]. Температуру измеряли термометром с цифровыми датчиками DS18B20 [3] на глубинах 0, 5, 10, 15, 20 см. Влажность почвы определяли термовесовым способом. Зависимость температуропроводности от влажности исследовали в лабораторных условиях с помощью импульсного метода плоского источника тепла [4].

Рассматриваемый почвенный массив состоит из одного однородного горизонтального слоя, для которого характерны определенная плотность  $\rho$ , теплоемкость  $c$  и теплопроводность  $\lambda$ . Для нахождения температурного поля запишем уравнение теплопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

$$0 < x < l, t > 0, \quad (1)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость;

$\rho$  – плотность;

$T$  – температура,

$t$  – время;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности;

$x$  – глубина;

$l$  – толщина слоя.

Учитывая, что  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ , где  $a$  – коэф-

фициент температуропроводности почвы.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

$$0 < x < l, t > 0. \quad (2)$$

Краевое условие на верхней границе зададим в виде динамики температуры деятельной поверхности:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=l} = 0. \quad (3)$$

Краевое условие на нижней границе определим нулевым градиентом температуры:

$$T|_{x=0} = T_0(t), t > 0, \quad (4)$$

где  $T_0(t)$  – заданная на поверхности почвы температура.

Начальное условие имеет следующий вид:

$$T|_{t=0} = \varphi(x), 0 < x < l, \quad (5)$$

где  $\varphi(x)$  – начальное распределение температуры почвы по глубине.

Решаем (2) методом конечных разностей (явная схема Эйлера), переходя от области изменения непрерывных аргументов к дискретной сеточной области [5]:

$$T_i^{k+1} = \chi(T_{i-1}^k - 2T_i^k + T_{i+1}^k) + T_i^k, \quad (6)$$

$$\chi = \frac{a\tau}{h^2}, \quad (7)$$

где  $i$  – номер узла пространственной сетки;

$k$  – номер узла временной сетки;

$a$  – коэффициент температуропроводности почвы;

$\tau$  – шаг временной сетки;

$h$  – шаг пространственной сетки.

Вычисления по формуле (6) устойчивы

при выполнении условия:  $\frac{a\tau}{h^2} \leq \frac{1}{2}$ .

Рассмотренная модель реализована на языке высокого уровня Borland Pascal. Расчет производился по формуле (6) с учетом краевых и начального условий (3-5).

### Результаты и их обсуждение

Для проверки адекватности созданной математической модели было произведено измерение температуры чернозема выщелоченного в естественном сложении в течение суток. В результате проведенного численного эксперимента были получены зависимости температуры от пространственной координаты в фиксированные моменты времени. Значения экспериментальных данных и результат моделирования приведен на рисунке. Максимальное отклонение расчетной температуры от экспериментальной составляет 1,4°С.

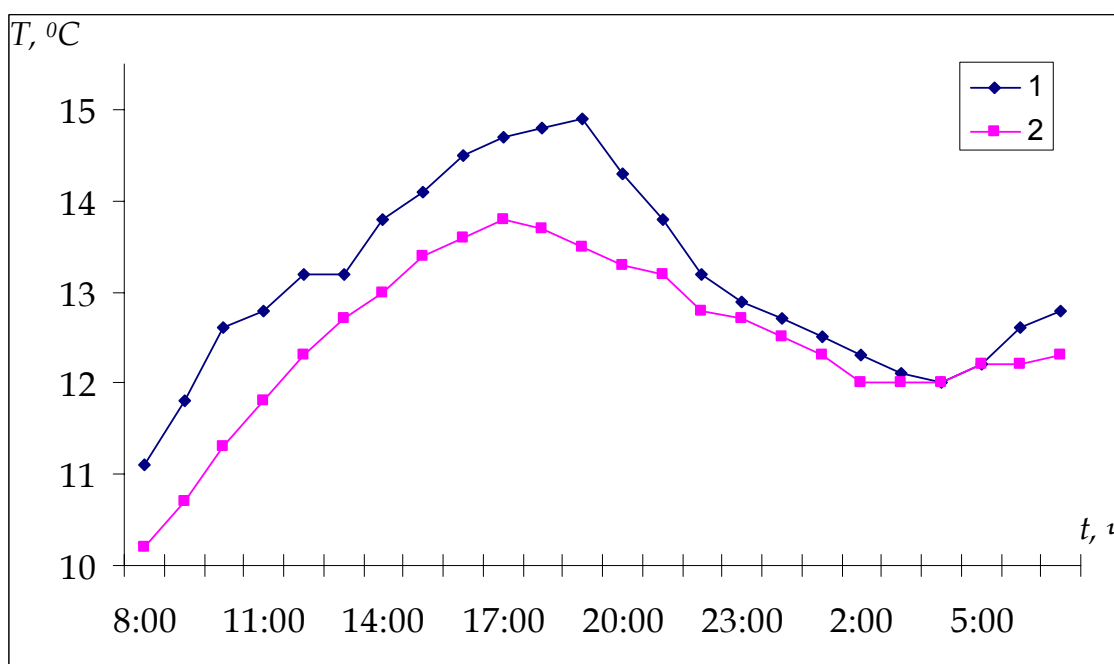


Рис. Зависимость температуры чернозема выщелоченного на глубине 5 см от времени: 1 – экспериментальные данные; 2 – результат моделирования

**Вывод**

При решении ряда задач с помощью рассмотренной модели можно оценивать температуру в профиле пахотного слоя чернозема с достаточной точностью. При этом существенно сокращается объем экспериментальных исследований.

**Библиографический список**

1. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв / А.Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1976. – 352 с.  
 2. Гефке И.В. Теплофизическое состояние выщелоченных черноземов Алтайского Приобья в условиях плодового

сада: автореф. дис. ... к.с.-х.н. / И.В. Гефке. – Барнаул, 2007. – 20 с.

3. Болотов А.Г. Применение цифровых датчиков при измерении температуры почв / А.Г. Болотов, С.В. Макарычев, А.А. Левин // Проблемы рационального природопользования в Алтайском крае: сб. науч. тр. – Барнаул: АГАУ, 2005. – С. 159-161.  
 4. Болотов А.Г. Автоматизированная система для исследования теплофизических характеристик почв / А.Г. Болотов, С.В. Макарычев, А.А. Левин // Вестник АГАУ. – 2002. – № 3. – С. 20-22.  
 5. Самарский А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1989. – 616 с.



УДК 636/635:631.416.9 (571.15)

**С.Ф. Спицына,  
 В.А. Шин,  
 В.Г. Бахарев**

**БИОГЕОХИМИЯ МАРГАНЦА В АЛТАЙСКОМ КРАЕ**

***Ключевые слова:** марганец, форма в почве, подвижная форма, варибельность.*

**Введение**

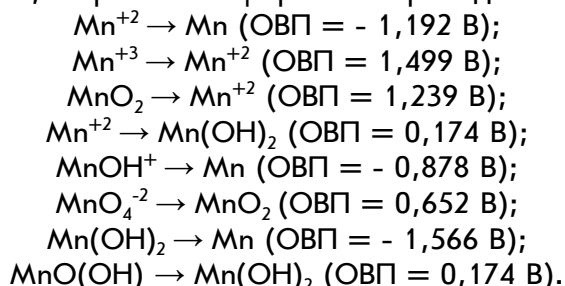
Недостаток марганца в почвах Алтайского края может быть серьезным препятствием получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Выявление потребности растений в марганце и обеспеченности им почвы является важной задачей агрохимии, для решения которой необходимо иметь представление о формах нахождения его в пахотных почвах и о зависимости их доступности для растений при различных агрохимических свойствах почвы. Изученность этого вопроса позволит эффективно использовать резервы почвы по марганцу и восполнить его недостаток для растений с помощью микроудобрений.

**Методы исследований**

В исследованиях применялись методы Б.Н. Доспехова и информационно-логический метод Пузаченко-Мошкина [1, 2].

**Результаты исследований**

Марганец жизненно необходим для растений. Он входит в активные центры многих ферментов. Особенно велика его роль в реакциях фотосинтеза, дыхания и др. Для марганца характерна многосторонность участия в метаболизме, что связано с его способностью активировать множество биохимических реакций (Бойченко, 1966), требующих определенных окислительно-восстановительных потенциалов (ОВП, В) [3]. Среди форм марганца, участвующих в метаболизме растений, встречаются формы и переходы:



Марганец накапливается в растениях в соответствии с физиологической функцией, с индивидуальными свойствами, наследственными признаками растений и его содержанием в почве.