

## Секция 6. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

УДК 004.021; 51.37

### Температурное поле почв: закономерности, методы и модели

*А.В. Боярская, Ю.О. Терехова*  
*АлтГУ, г. Барнаул*

Рассматриваются задачи: распределение температуры в почве, имеющей неоднородную структуру почвенных слоев; определение теплофизических характеристик почвы – теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности черноземов выщелоченных Алтайского Приобья; алгоритм и численный метод решения двумерной задачи теплового режима почв с границей раздела между двумя участками с различными теплофизическими параметрами.

Температура почвы является одним из ключевых факторов, определяющих функционирование агроэкосистем. Задача выявления закономерностей пространственного варьирования температуры почвы в масштабе сельскохозяйственного поля, количественной оценки этого варьирования и прогнозирования температурного режима почвенных разностей приобретает актуальность в связи с развитием точного земледелия, а также в связи с проблемой устойчивого функционирования почвенных комплексов в условиях интенсивной антропогенной нагрузки [1–3].

Теплота, поступающая на поверхность почвы, под действием создаваемого градиента температур перераспределяется в толщине почвенного слоя. Уравнение теплопереноса в почве имеет вид [2, 3]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \chi \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \chi \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \chi \frac{\partial T}{\partial z} \right) + f(x, y, z, t),$$

где  $T$  – температура почвы;  $\rho(x, y, z)$  – плотность почвы;  $c(w(x, y, z))$  – теплоемкость;  $\chi$  – коэффициент теплопроводности, зависящий от влажности почвы  $w$ :  $\chi = \chi(w(x, y, z))$ . Теплоперенос осуществляется

вдоль координатных осей  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ ;  $f(x, y, z, t)$  – функция источника тепла.

Искомая функция  $T$  удовлетворяет начальным и некоторым граничным условиям. Нижняя граница помещается, как правило, на глубине, на которой температура либо постоянна, либо зависит от времени известным образом. В качестве верхнего граничного условия записывается соотношение, обеспечивающее “сшивание” решений задачи в почве и в приземном воздухе, – условие теплового баланса на поверхности почвы.

Исследовали двумерную модель теплового режима почвы, состоящую из двух участков, значительно отличающихся по влиянию характеристик поля на продукционный процесс посева и на движение почвенных растворов. На границе раздела участков выполняются условия непрерывности температур и тепловых потоков.

После введения коэффициента температуропроводности  $K_i = \frac{\chi_i}{\rho_i c_i}$

для решения уравнения (1) применяется численный метод с использованием продольно-поперечной конечно-разностной схемы (метод переменных направлений).

Полученные результаты хорошо согласуются с данными по теплофизическим свойствам выщелоченных черноземов Алтайского Приобья. Они близки как по значениям, так и по характеру зависимостей, и отражают объективные почвенно-физические факторы. Теплофизические свойства почвы закономерно изменяются в зависимости от плотности сложения генетических горизонтов [3–6]. Работа выполнена при финансовой поддержке благотворительного фонда В.В. Потанина.

#### **Библиографический список**

1. Брыксин В. М., Гавриловская Н. В., Топаж А. Г., Хворова Л. А. Математическое моделирование и информационные технологии в экологии и природопользовании. – Барнаул: Изд-во АлтГУ. – 2013. – 256 с.
2. Хворова Л. А. Математические модели в теории и практике точного земледелия // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – №2. – С. 123–128.
3. Хворова Л. А. Модель теплового режима почвы в пространственно-дифференцированных технологиях точного земледелия // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – №4(128). – С. 101–106.
4. Хворова Л.А., Жариков А.В. Численное моделирование составляющих теплового режима почв Алтайского Приобья // Известия Ал-

тайского государственного университета. – 2013. – № 1/2. – С. 126–130.

5. Хворова Л. А., Гавриловская Н. В., Лопатин Н. Н. Применение информационных технологий, математических методов и моделей для обработки и анализа многомерных данных // Известия Алтайского государственного университета. – 2006. – №1. – С. 83–88.

6. Гавриловская Н.В., Хворова Л.А. Информационно-прогностическая система сбора, обработки, анализа и обобщения агрометеорологической информации // Известия Алтайского государственного университета. – 2010. – №1/1. – С. 65–68.

**УДК 631.1: 681.5**

### **Системы поддержки принятия решений в земледелии: применение данных ДЗЗ, ГИС-технологий и моделирования в точном земледелии**

*В.М. Брыксин<sup>1</sup>, Л.А. Хворова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Балтийский федеральный университет им. И. Канта,  
г. Калининград, <sup>2</sup>АлтГУ, г. Барнаул*

Эффективность решений, принимаемых по управлению производством растениеводческой продукции на всех уровнях управления, определяется точностью, полнотой и оперативностью информации, доступной лицу, принимающему решение. Отсутствие или неполнота исходных данных, а также невозможность объективной оценки последствий принимаемых решений является основным источником ошибок, приводящих к негативным и зачастую катастрофическим явлениям, таким как эрозия почв, деградация черноземов, загрязнение окружающей среды. Появление современных высокоскоростных компьютеров с большой памятью позволяют коренным образом изменить ситуацию в области информационной поддержки принимаемых решений. В качестве источника необходимой для принятия решений информации могут быть использованы данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), географические системы (ГИС), разветвленные базы данных, а также базы знаний, основанные на использовании имитационных динамических моделей агроэкосистем [1–3]. Это позволит видоизменить технологию принятия решений путем «проигрывания» сценариев будущего с учетом текущей и прогнозируемой обстановки.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений агрономической науки и производства растениеводческой продукции