

УДК 631.43

МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВСПАХАННОЙ ПОЧВЫ ПОЛЯ

**Чумакова С.В., кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Вавиловский университет»**

**Симонова З.А., кандидат биологических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.»**

Кондрашова А.В., кандидат химических наук, доцент

**Косарев А.В., кандидат химических наук, доцент, тел.
+79050342880,**

aleteia@inbox.ru

ФГБОУ ВО «Вавиловский университет»

Ключевые слова: компьютерная модель, почва, пространственная модель, рельеф, высота, глубина, гряды, лунки.

В работе на базе программной среды Matlab получена компьютерная модель, воспроизводящая рельеф почвы. Модель строилась в виде адитивной композиции упорядоченной гармонической компоненты и случайной компоненты, задаваемой белым шумом. Высота и глубина кочек задавались путем поиска локальных максимумов на интервале, мелкие обертоны высоты вычитались путем преобразования h -тахита. Полученные результаты актуальны для широкого круга задач агротехники и мелиорации, связанных с планированием полива, внесением удобрений и проведением рекультивационных мероприятий.

Введение. Моделирование структуры поверхностного слоя почвы в настоящее время является актуальной задачей теории мелиорации. Для ее решения применяются методы имитационного моделирования [1], а также аппарат баз данных [2]. Показано, что совмещение математического моделирования и почвенно-морфологического подхода обладает высокой эффективностью в задаче оценки эрозионной активности почвенного покрова [3].

Цель работы- на базе программной среды Matlab построить графическую пространственную модель распределения локальных кочек и лунок вспаханной почвы. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- а) задать профиль поверхности борозд как аддитивную функцию базовой и случайной компонент;
- б) вычислить локальные максимумы и минимумы полученной поверхности;
- в) вывести полученные результаты в виде цветной карты и числового окна.

Материалы и методы. Предлагаемый в данной работе программный подход реализован на базе Matlab (R2022b). Составлен скрипт программы в виде *.m файла. Вывод графической модели рельефа вспаханной почвы поля реализован в отдельном графическом окне, а определяемые характеристики выведены в консоле.

Результаты и их обсуждение. Будем считать, что структура вспаханной почвы определяется двумя факторами: упорядоченным, обусловленным периодическими бороздами от плуга, и вероятностным, обусловленным неравномерностью комьев земли. Для расчета структуры микрорельефа почвы нами применялись спектральный метод генерации шероховатости и метод морфологического анализа поиска локальных максимумов.

Исходный квадратный участок почвы задавался параметрами размера стороны L (м), количеством узлов сетки N . При этом шаг a между бороздами составлял (м), глубина вспашки составляла h (м).

Степень дисперсности почвы определялась коэффициентом корреляции размера кочки cd , принимающим действительные, неотрицательные значения, увеличение которых соответствует переходу от мелкодисперсной (например, песчаной) до грубодисперсной (например, черноземной) почвы. Тип почв задавался функцией `imfilter`.

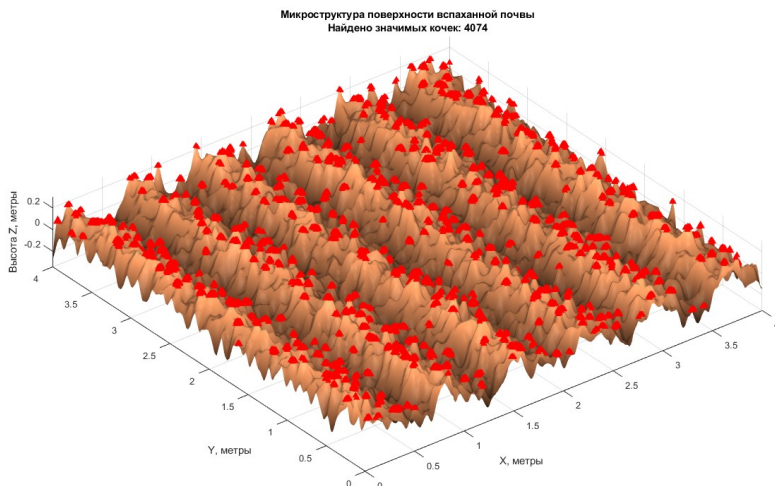


Рисунок 1 - Модель рельефа вспаханной почвы поля (получено авторами)

На первом этапе моделирования создавалась базовая высота Z_b (м) борозд (грядов и лунок) с помощью модифицированной гармонической функции:

$$Z_b = h \cos\left(\left(\frac{2\pi x}{a}\right) + 0,5 \cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right)\right) \quad (1)$$

Генерация случайной компоненты почвенной структуры задавалась с помощью фильтрованного белого шума, определяющего гладкость комковатости почвы. При этом вершины кочек n задавались генератором случайных чисел :

$$n = rndn(N) \quad (2)$$

При этом случайная компонента высоты Z_c определяется выражением:

$$Z_c = \text{imfilter}(\text{noise}, h, 'replicate'), \quad (3)$$

где imfilter – функция, выполняющая многомерную фильтрацию изображений с помощью корреляции.

Общая высота слоя задавалась как сумма основной и случайной компонент:

$$Z = Z_b + Z_c \quad (4)$$

На втором этапе работы моделирования осуществлялось вычисление максимумов кочек. При этом осуществлялся поиск максимумов на интервалах, фильтрация мелких максимумов (дребезгов высоты) вычиталась путем *h-maxima* преобразования. Координаты точек *z*, *y*, *z* максимумов определялись посредством функции поиска максимальных высот *Z*:

$$[row_idx, col_idx] = find(maxima_mask) \quad (5)$$

$$x = X(1, col_idx); \quad (6)$$

$$y = Y(row_idx, 1); \quad (7)$$

$$z = Z(maxima_mask) \quad (8)$$

Полученная карта профиля поверхности борозд почвы после вспашки представлена на рис.1. Красными точками обозначены максимумы кочек.

Workspace	
Name	Value
clod_sigma	0.0500
col_idx	4074x1 double
correlation_dist	0.0280
filter_size	2
furrow_depth	0.1200
furrow_period	0.7000
h	8x8 double
h_thresh	0.0200
L	4
maxima_mask	300x300 logical
N	300
noise	300x300 double
row_idx	4074x1 double
s	1x1 Surface
X	300x300 double
x_peaks	1x4074 double
Y	300x300 double
y_peaks	4074x1 double
Z	300x300 double
Z_base	300x300 double
Z_clouds	300x300 double
z_peaks	4074x1 double
Z_suppressed	300x300 double

Статистика рельефа:

Средняя высота: 0.004 м

Максимальная высота кочки: 0.288 м

Минимальная глубина лунки: -0.345 м

Плотность распределения кочек: 254.63 шт/м²

>>

Рисунок 2 – Окно числового вывода (получено авторами).

Поверхность почвы отображалась на цветовой карте посредством функции

$$s = surf(X, Y, Z, 'EdgeColor', 'none') \quad (9)$$

Настройка отражающей способности для имитации отражения влажной земли задавалась с помощью команды отражения света от поверхностей *material*([0.6 0.8 0.1]).

Здесь 0.6 – средний уровень фонового цвета, 0.8 – высокий уровень диффузного отражения, 0.1 – низкий уровень зеркального блеска от матовой поверхности.

Исходящие данные: максимальная высота кочки $\max(Z)$, минимальная глубина лунки, плотность распределения кочек z (шт/м²) и др. выводились в окне числового вывода (рис.2).

Заключение. Полученные результаты актуальны для широкого круга задач агротехники и мелиорации, связанных с планированием полива, внесением удобрений и проведением рекультивационных мероприятий.

Библиографический список:

1. Алимова Ф.А., Саидова М.Т. Имитационное моделирование процесса поверхностной обработки почвы // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2025. 4(133). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19846> (дата обращения: 25.01.2026).

2. Варшанина Т.П., Мамсиров Н.И., Шехов З.А., Пьянков В.Ю. Инжиниринговая цифровая модель пространства сельскохозяйственных земель для подготовки и сопровождения агроэкологической составляющей точного земледелия // *ИнтерКарто. ИнтерГИС.* 2022. Т. 28. № 2. С. 737-745.

3. Фомичева Д.В., Лозбенев Н.И. Моделирование эрозионных структур почвенного покрова (на примере южного склона Клинско-дмитровской гряды) // *Антропогенная трансформация природной среды.* 2018. № 4. С. 200-202.

MODEL OF THE SPATIAL STRUCTURE OF PLAUGHT SOIL IN A FIELD

Chumakova S.V.

FGBOU VO Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov

Simonova Z.A.

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Kondrashova A.V., Kosarev A.V.

FGBOU VO Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov

Keywords: *computer model, soil, spatial model, relief, height, depth, ridges, holes.*

In the work based on the Matlab software environment, a computer model was obtained that reproduces the relief of the soil. The model was constructed as an additive composition of an ordered harmonic component and a random component specified by white noise. The height and depth of the humps were specified by searching for local maxima on the interval, and small overtones of the height were subtracted by transforming h-maxima. The results obtained are relevant for a wide range of agricultural and land reclamation tasks related to irrigation planning, fertilizer application, and reclamation measures.