

7. Kochetkova T. D., Suslyayev V. I., Zhuravlev V. A., Korovin E. Y., Solovyova T. P. Polzunovskiy vestnik, 2012.–№ 3/2. pp. 170–174.

8. Kochetkova T. D., Suslyayev V. I., Korovin E. Y., Zhuravlev V. A. Doclady TUSURa, 2011. №2 (24), Part 1. pp. 249–252.

9. Stepanidenko M. A., Kovalev A. V., Tarasova O. V. Khvoynye borealnoy zony, 2010, vol. XXVII, no. 3–4, pp. 275–278.

10. Bordonskii G. S., Orlov A. O., Filippova T. G. Kriosfera Zemli, 2008, vol. XII, no. 1, pp. 66–71.

11. Basanov B. V., Vetluzhckii A. Y., Kalashnikov V. P. Journal radioelektroniki, 2010.

© Кочеткова Т. Д., Суслыев В. И., Волчков С. И., 2013

УДК 504.064.3

## МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА\*

А. В. Дмитриев, В. В. Дмитриев, И. С. Коньшев, В. Н. Тудос

Омский государственный педагогический университет  
Россия, 644099, Омск, наб. Тухачевского, 14. E-mail: vdmitriev@omgpu.omsk.edu

*Описан аппаратно-программный комплекс, позволяющий с минимальными затратами определить пространственное распределение и статистические характеристики параметров микрорельефа подстилающей поверхности. Под микрорельефом в данном случае понимаются неровности размером от единиц миллиметров до единиц дециметров. Величина исследуемого участка поверхности определяется размерами лабораторного стенда и ограничена первым десятком квадратных метров. Определению поддаются горизонтальные и вертикальные размеры неоднородностей микрорельефа: среднее значение, дисперсия, распределение по размерам – его вид и количество мод. Также возможно построение ЦМР в исследуемом масштабе. Экспресс определение размеров производится в рамках модели двумерного случайного процесса, корреляционная функция которого вычисляется с использованием теоремы Винера–Хинчина. Для оценки распределения по размерам используется алгоритм размыкания контуров. Построение цифровой модели микрорельефа происходит с использованием стереофотографий.*

*Ключевые слова:* шероховатость почвы, дистанционное зондирование.

## METHODS OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE INEQUALITIES OF THE SOIL COVER

A. V. Dmitriev, V. V. Dmitriev, I. S. Konishev, V. N. Tudos

Omsk State Pedagogical University  
14 Tukhachevskiy st., Omsk, 644099, Russia. E-mail: vdmitriev@omgpu.omsk.edu

*The hardware-software complex which allows to define, with the minimum expenses, the spatial distribution and statistical characteristics of parameters of a micro relief of the spreading surface is described in the article. The micro relief in this case is understood as inequalities with the size from units of millimeters to units of decimeters. The size of a studied site of a surface is defined by the sizes of the laboratory stand and is limited to the first ten square meters. The horizontal and vertical extent of not uniformity of the micro relief can be defined: average value, dispersion, distribution by the sizes – its look and quantity of fashions. Creation of CMR in studied scale is also possible. The express determination of the sizes is made within model of the two-dimensional casual process which correlation function is calculated with the use of the theorem of Wiener–Hinchina. For the assessment of distribution by the sizes the algorithm of disconnection of contours is used. Creation of digital model of a micro relief proceeds with the use of stereo photos.*

*Keywords:* soil roughness, remote sensing.

подавляющее большинство задач дистанционного зондирования сводятся к взаимодействию волнового поля с исследуемым природным объектом. При теоретическом описании такого взаимодействия существенную роль играют характеристики поверхности, отграничивающей изучаемый природный покров

от воздушной среды. В особую группу таких характеристик обычно выделяют параметры, описывающие степень неровности (шероховатости) подстилающей поверхности.

В данной работе предпринята попытка создания алгоритмов для оценки величины неровностей (шеро-

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 12-05-98082-р\_сибирь\_a.

ховатости) верхней границы почвенного покрова по ее фотографическому изображению. Стандартный путь решения нашей задачи первым и обязательным шагом включает в себя этап бинаризации изображения [1; 2]. После проведения бинаризации возможен прямой анализ геометрических характеристик областей изображения, соответствующих исследуемому объекту (объектам). Для проведения однозначного анализа необходимо, чтобы выделенные области были топологически однородными, отсутствовали перекрытия и наложения.

В нашем случае описанный выше путь реализован с использованием стандартной процедуры (операции) размыкания контуров, которая применяется при цифровой обработке изображений [3; 4]. Результаты оценки распределения по размерам почвенных агрегатов приведены на рис. 1. Изображение построено в линейном и логарифмическом масштабе. В первом случае лучше виден общий характер зависимости, во втором – лучше прослеживается «хвост» частиц крупных размеров, которые составляют малую долю от общего количества.

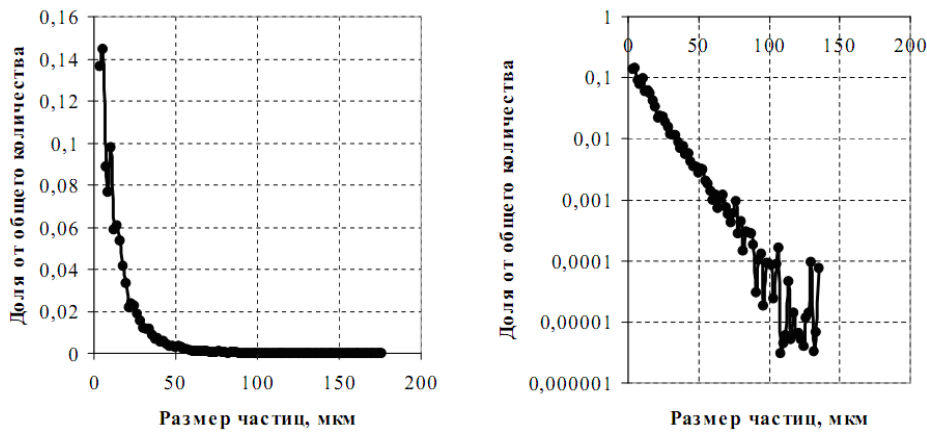


Рис. 1. Распределение по размерам почвенных агрегатов, измеренное по микрофотографиям почвы. Линейное (слева) и логарифмическое (справа) масштабирование вертикальной оси

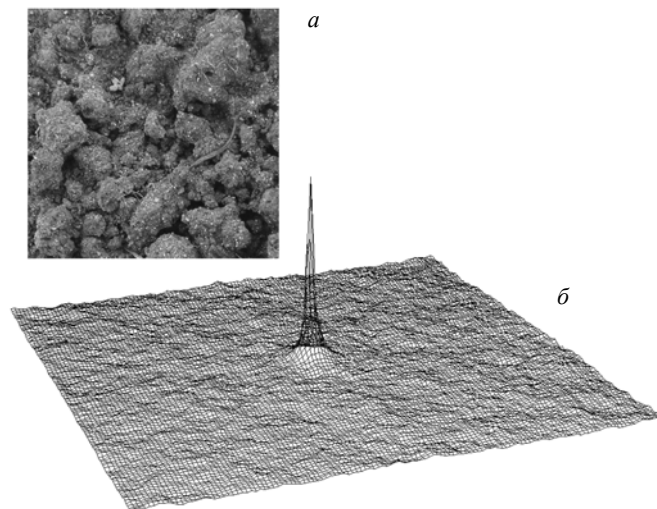


Рис. 2. Фрагмент исходного изображения почвы (а) и представление корреляционной функции данного фрагмента в виде поверхности (б)

В условиях, когда абсолютные значения яркости не могут быть использованы в качестве классификационных, дискриминантных параметров, приходится использовать относительные, градиентные критерии разделения [3; 4]. Для их определения видеоизображение моделируется случайным двумерным процессом. Наиболее естественной характеристикой описания взаимосвязи двух случайных величин является корреляционная функция [4]. При этом в качестве оценки размеров выделяющихся элементов изображения может быть использован один из параметров корреляционной функции, например, радиус корреляции.

Вычисление корреляционной функции удобнее всего проводить, опираясь на теорему Винера-Хинчина [2; 3; 5]. Задача облегчается еще и тем, что фактически она сводится к стандартной двукратной процедуре – преобразованию Фурье, для которого существует множество алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) и их реализаций практически на всех языках программирования, в многочисленных специализированных программных продуктах и т. д. (рис. 2).

Получение численных оценок размеров (радиуса) частиц из анализа пространственной зависимости корреляционной функции –  $R(\tau)$ , что в свою очередь требует знания ее аналитического выражения. Для того, чтобы выразить  $R(\tau)$  в конечной аналитической форме, необходимо исходить из конкретной модели исходного сигнала, которая в общем случае неизвестна. К счастью, в свое время С.М.Рытовым было показано, что для широкого круга импульсных сигналов корреляционная функция записывается в экспоненциальном виде. В качестве первого приближения может быть использована модель телеграфного сигнала [4; 5], выбор следует из анализа профилей яркости исходного изображения, проведенных по диаметрам отдельных почвенных агрегатов.

Еще один подход к оценке размеров почвенных агрегатов не требует предположений о модели сигнала и основан на анализе пространственной зависимости корреляционной функции. Поскольку на зависимости  $R(\tau)$  явно выделяются два участка – аппроксимируем всю зависимость двумя степенными функциями вида  $Y = aX$ , одна для «сигнальной», другая для «шумовой» части. Выделение граничной точки (точки «перелома») в данном случае не представляет проблемы. В качестве оценки удобно взять точку пересечения двух аппроксимационных выражений, которую легко определить по формулам элементарной математики:

$$T = (a_2 / a_1),$$

где  $a_1(a_2)$  и  $b_1(b_2)$  – числовые параметры первого (второго) аппроксимационного выражения.

Всего подобным способом было обработано шесть изображений, результаты сведены в таблицу, приведенную ниже.

**Результаты оценки среднего размера шероховатости почвы**

Порядковый номер снимка	Оценки среднего радиуса почвенных агрегатов (мм)	
	Модель телеграфного сигнала	Аппроксимация двумя функциями
1	5,64	8,55
2	4,51	7,74
3	5,30	9,89
4	4,59	6,51
5	5,14	9,75
6	3,85	4,99

В целом соблюдается соотношение между оценками, полученными двумя описанными методами, а именно, второй метод дает оценки примерно в 1,5 (точнее в 1,62) раза большие, чем в модели телеграфного сигнала. С точки зрения устойчивости решения, метод, использующий модель телеграфного сигнала предпочтительнее, поскольку средний относительный разброс в этом случае составляет 13,37 %, а для второго метода данная величина равна 24,16 %.

Суммируя сказанное, можно сделать следующие выводы. Первое, метод бинаризации с последующим анализом контуров позволяет определить распределение по размерам почвенных агрегатов, требует умеренных машинных затрат, но критичен к величине контраста изображения. Второе, метод анализа корреляционной функции изображения самый быстрый, легко автоматизируется, но определяет только средний размер шероховатости.

### Библиографические ссылки

1. Прэтт У. К. Цифровая обработка изображений : в 2 т. М. : Мир, 1982.
2. Методы компьютерной обработки изображений / под. ред. В. А. Сойфера. 2-е изд., испр. М. : Физматлит, 2003.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2005.
4. Рытов С. М. Введение в статистическую радиопфизику. М. : Наука, 1966.
5. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб. : Питер, 2003.

### References

1. Pratt U. K. Tsiphrovaia obrabotka izobradzenij (Digital processing of images). In 2 v. Moscow, Mir, 1982, 790 p.
2. Metodi kompjuternoy obrabotki izobradzenij (Methods of computer processing of images). Ed. by V. A. Soyfer. The 2nd prod. Moscow, FIZMATLIT, 2003. 784 p.
3. Gonzalez R., Woods R. Tsiphrovaia obrabotka izobradzenij (Digital processing of images). Moscow, Technosphere, 2005. 1072 p.
4. Rytov S. M. Vvedenie v statisticheskuyu radiophysiku (Introduction in statistical radiophysics). Moscow, Nauka, 1966, 404 p.
5. Sergiyenko A. B. Tsiphrovaia obrabotka signalov (Digital processing of signals). SPb., St. Petersburg, 2003. 608 p.

© Дмитриев А. В., Дмитриев В. В.,  
Конышев И. С., Тудос В. Н. 2013