

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

И.В. Карелина, М.А. Гумиров

Величина разрешающей способности является важной числовой характеристикой при анализе РЭМ-изображения как совокупности точек (пикселей) различного размера по вертикали и по горизонтали (пиксел на дюйм – DPI). Чем больше размер пиксел, тем меньше их число, а значит, тем более «квадратными» оказываются отдельные элементы цифрового изображения. И, наоборот, для создания четкого сканированного изображения необходимы малые размеры составляющих его пиксел и их большее количество.

Величина разрешающей способности РЭМ-изображения оказывает так же существенное влияние на время программной обработки алгоритма задач, каким бы не был этот алгоритм универсальным и экономичным по времени. Время компьютерной обработки прямо пропорционально величине разрешающей способности: чем больше составляющих элементов цифрового изображения, тем больше времени требуется на их математический анализ по необходимым параметрам входящих величин, и наоборот.

Для определения влияния величины разрешающей способности на количественный анализ РЭМ-изображение лессовых грунтов было выбрано несколько снимков

различного увеличения. Затем каждая из этих фотографий сканировалась с разрешающей способностью 75 DPI, 100 DPI и 150 DPI.

Величины разрешающей способности выбирались таким образом:

1. Нижняя граница - чтобы не сделать изображение «примитивно-квадратным» по своему содержанию. Другими словами, требовалось отобразить информацию с РЭМ-фотографии в читаемую цифровую форму с допустимой достоверностью содержания.

2. Верхняя граница – чтобы время, затрачиваемое на математическую обработку информации по заданному алгоритму действий, не было слишком продолжительным.

Каждое из полученных цифровых изображений было обработано созданной программой автоматизированного анализа характеристик микроструктуры «Promik» для получения геометрических и морфометрических характеристик лессовых грунтов. По результатам программной обработки были построены графики зависимости средних квадратических отклонений (СКО) площади, периметра и диаметра элементов от задаваемой величины разрешающей способности изображения (DPI) (рисунки 1–2).

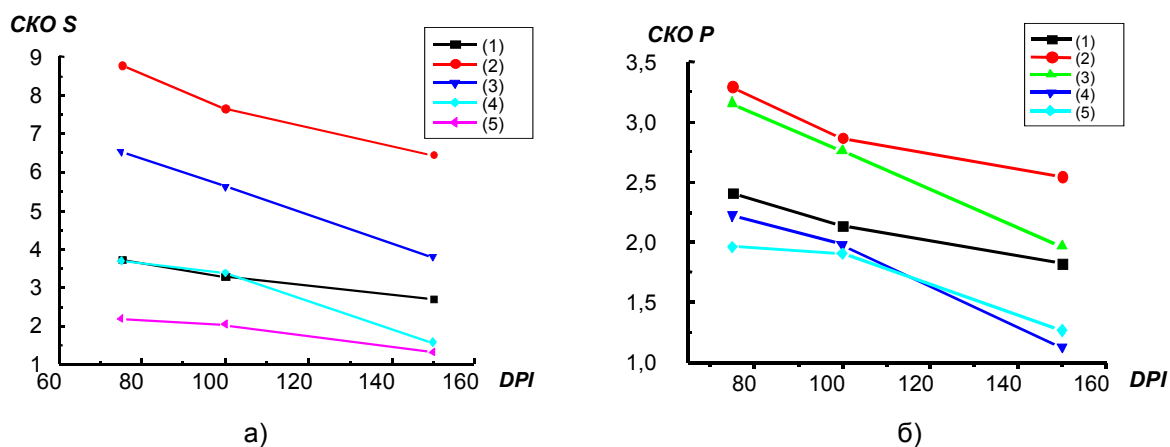


Рис. 1. Графики зависимости СКО: а) площади, б) периметра частиц от разрешающей способности изображения

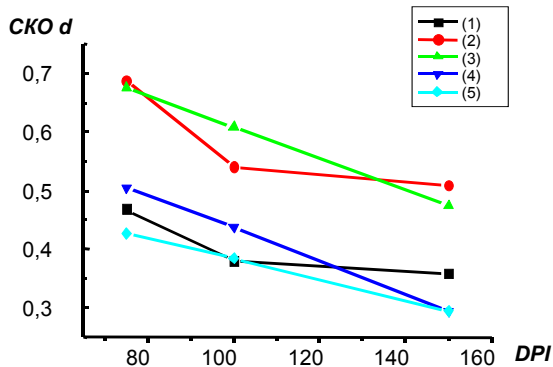


Рис. 2. График зависимости СКО диаметра частиц от разрешающей способности изображения

По полученным графикам зависимостей хорошо отслеживается зависимость двух величин: разрешающей способности и среднего квадратического отклонения. Чем больше первая, тем меньше значение второй, а значит и точность в определении количественных характеристик становится более надежной величиной.

Следовательно, при формировании РЭМ-изображения с более высокой величиной разрешающей способностью (в нашем случае – 150 DPI) количественные геометрические и морфометрические характеристики можно считать наиболее надежными и достоверными величинами.

Увеличение размера DPI более 150 не целесообразно по двум причинам:

1. По результатам ряда исследований [1; 2] существенные изменения в количественном плане происходят до величины разрешающей способности 150 DPI. Далее увеличение размера DPI не оказывает значительного влияния на числовые параметры элементов изображения.

2. Увеличение размера DPI влечет за собой увеличение времени программной математической обработки исходных данных.

При определении морфометрических характеристик элементов грунта (диаметра, площади, периметра) с использованием программы «Promik» рассчитывались средние квадратические отклонения (СКО) как параметры некоторой статистической надежности границ измерения погрешностей, т.е. как доверительный интервал измеряемой величины (диаметра, площади и периметра). По своей сути эти вычисленные величины являются среднеквадратическими ошибками арифметической середины определенного морфометрического параметра – диаметра, площади, периметра. Значение каждой из этих СКО

позволяет оценить степень разброса элементов по своим величинам: чем больше значение СКО, тем больше разница между величинами элементов – тем более неоднороден грунт по морфометрическим параметрам.

Но величина СКО является не совсем адекватным параметром при статистическом анализе. Ее значение является лишь важным параметром оценки степени однородности грунта при количественном анализе по РЭМ-изображению: чем больше первая величина, тем больше наблюдается разброс в параметрах элементов. Поэтому для исследования результатов морфометрических характеристик, полученных с использованием программы «Promik», на предмет их достоверности и корректности был применен несколько иной вариант определения среднеквадратической ошибки (СКО<sup>\*</sup>).

За исходный был принят нормальный закон распределения случайных величин (закон Гаусса) как наиболее часто встречающийся на практике. Главная особенность этого закона состоит в том, что он является предельным законом, к которому приближаются другие законы распределения при весьма часто встречающихся типичных условиях.

Большинство встречающихся на практике случайных величин (ошибки определения морфометрических характеристик и др.) могут быть представлены как суммы весьма большого числа сравнительно малых слагаемых – элементарных ошибок, каждая из которых вызвана действием отдельной причины, не зависящей от остальных. Каждая из этих элементарных ошибок вносит одинаковый вклад в результат суммарной ошибки. Это условие принципа равных влияний в нашем случае выполняется.

Программным путем устанавливается количество определяемых интервалов от 1 до 23 в зависимости от числа элементов и от рассчитываемого приращения в параметр определяемой величины (диаметра, площади, периметра).

При исследовании определялись СКО<sup>\*</sup> диаметра и площади (как эквивалентной и истинной величины соответственно элементов грунта по данным РЭМ-изображений с учетом интервальных значений).

За ряд весов измерений  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_k$  принималось число элементов в каждом интервале.

За ряд измерений случайной величины  $\bar{t}_1, \bar{t}_2, \bar{t}_3, \dots, \bar{t}_k$  принималось среднее

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

значение размера элемента (диаметра или площади) в каждом интервале

$$\bar{t}_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} t_i}{N_k},$$

где  $t_i$  – значение величины.

Таким образом, имеется возможность охарактеризовать значение случайной величины параметра в каждом интервале.

Ошибка равноточного измерения в каждом интервале определялась как

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_k} (t_i - \bar{t}_k)^2}{N_k - 1}}.$$

Весовое среднее определялось как

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k N_i m_i}{N_{\text{общ}}}},$$

где  $k$  – количество интервалов;

$N_{\text{общ}}$  – общее количество элементов.

Средняя квадратическая ошибка (СКО\*) единицы веса определялась как

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k N_i V_i^2}{N_{\text{общ}} - 1}},$$

где  $V_i = m_i - m_0$  – вероятнейшая ошибка в каждом интервале.

СКО\*, определяемая таким образом, имеет ряд преимуществ по сравнению с СКО:

1) На ее величину наибольшее влияние оказывают большие по абсолютной величине ошибки, т.е. те, которые и характеризуют реальную точность наблюдений.

2) СКО\* связана с предельной ошибкой  $\Delta_{\text{пред}}$  соотношением с доверительной вероятностью 0,95:

$$\Delta_{\text{пред}} \leq 2\mu.$$

3) СКО\* определяется достаточно надежно при ограниченном числе наблюдений.

Надежность этой средней квадратической ошибки характеризуется величиной

$$m_n \approx \frac{\mu}{\sqrt{2n}},$$

где  $n$  – число наблюдений.

При оценке точности по ограниченному числу наблюдений принято считать ее надежной, если

$$m_n \leq \frac{1}{4}\mu \quad \text{при} \quad n \geq 8.$$

Оценка точности выполнялась по формуле

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{N_{\text{об}}}}.$$

Допуск на результаты измерений определялся при доверительной вероятности 0,95 с  $n-1$  степенями свободы по таблице распределения Стьюдента

$$x = m_0 \pm t_\alpha M.$$

При числе испытаний  $n > 10$ , придерживаясь рекомендации П.И. Шилова [3], распределение Стьюдента мало отличается от нормального, а, следовательно, для нашего случая применение распределения Стьюдента можно считать вполне оправданным.

Результаты выполненных вычислений средних квадратических ошибок (СКО и СКО\*) приведены в таблице 1.

По выполненному исследованию можно сделать следующие выводы:

1. Значения средней квадратической ошибки арифметической середины зависят от количества элементов: чем больше последних, тем точнее (меньше) величина СКО.

2. Значения средней квадратической ошибки (СКО\*) являются более корректными (8-19% от средней величины соответствующего параметра – диаметра или площади), по сравнению с величинами средней квадратической ошибки арифметической середины (14-50%).

Таблица 1

Результаты исследования средних квадратических ошибок диаметра и площади по данным РЭМ-изображений

№ п/п РЭМ-изобр.	Кол-во элементов	Средний диаметр, мкм	Средняя площадь, км <sup>2</sup>	СКО		% СКО	
				диаметра	площади	диаметра	площади
1	154	5,708	76,999	1,063	25,210	19	33
2	136	5,095	53,440	0,996	18,013	20	34
3	131	1,882	14,832	0,709	6,558	38	44
4	127	6,099	80,588	1,195	22,891	20	28
5	86	7,467	92,501	1,213	26,021	16	28
6	80	2,825	19,122	0,600	6,865	21	36
7	62	8,968	112,986	3,418	38,697	38	34
8	55	2,943	19,107	0,630	7,439	21	39
9	38	9,732	78,358	2,879	29,424	30	38
10	37	0,976	2,536	0,389	1,196	40	47
11	18	8,520	75,683	1,183	17,295	14	23
12	13	1,448	3,202	0,428	1,604	30	50

Продолжение таблицы 1

№ п/п РЭМ-изобр.	СКО* диаметра	Надежность СКО* диаметра	СКО* площади	Надежность СКО* площади	% СКО*		Допуск СКО*	
					диаметра	площади	диаметра	площади
1	0,797	0,004	13,384	0,004	14	17	0,126	2,128
2	0,632	0,005	9,085	0,047	12	17	0,106	1,531
3	0,228	0,001	2,336	0,013	12	16	0,039	0,402
4	0,975	0,005	14,506	0,081	16	18	0,172	2,538
5	1,036	0,009	16,112	0,132	14	17	0,222	3,446
6	0,534	0,005	2,765	0,014	19	15	0,119	0,615
7	1,324	0,015	17,47	0,199	15	16	0,336	4,438
8	0,354	0,005	3,258	0,042	12	17	0,096	0,882
9	1,348	0,026	14,537	0,271	14	19	0,443	4,766
10	0,186	0,004	0,447	0,090	19	18	0,063	0,150
11	0,653	0,026	11,123	0,437	8	15	0,326	5,559
12	0,243	0,013	0,426	0,023	17	13	0,148	0,260

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Göpfert U.J. Übersicht über optische Mehrkoordinaten-Meßgeräte, VDI-Berichte 378, Düsseldorf, 1980. – S. 133-136.

2. Gurny W.H. Optisches 3-Koordinaten-Meßgerät Comp. Gage. VDI-Berichte 378 (1980), Düsseldorf. – S. 137-139.

3. Большаков В.Д. Теория ошибок наблюдений. - М.: Недра, 1983. - 223 с.