

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

УДК 911.52(470.11 + 470.12)

### АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАНДШАФТА НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКОГО СНИМКА

© 2003 г. Ю. Г. Пузаченко, А. В. Хорошев\*, Г. М. Алещенко

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, географический факультет

Тел.: (095) 939-41-46; факс: (095) 932-88-36; \*e-mail: akhorosh@orc.ru

Поступила в редакцию 26.08.2002 г.

Анализируется космический снимок на территорию Европейского Севера России. Используется метод скользящего окна с размерами, соответствующими иерархическому уровню ландшафтных единиц. Закономерности организации ландшафтной структуры территории выявлены с применением многомерного пространственного анализа на основе теории нелинейных колебаний. С помощью метода спектрального анализа установлены иерархические уровни ландшафтной организации. Расчет фрактальной размерности для скользящего окна позволил получить представление о пространственной вариабельности текстуры изображения. Обнаружено самоподобие ландшафтной структуры, обусловленное сетью неотектонических разрывных нарушений. В целом пространственная структура определяется строением осадочного чехла. Сельскохозяйственные земли приурочены к наиболее хорошо выраженным крупным тектоническим швам и особенно их пересечениям.

#### ВВЕДЕНИЕ

Структура ландшафта рассматривается как результат действия естественных и антропогенных разномасштабных факторов. Их прямое отображение создает основу для понимания генетической природы пространственного разнообразия. Цель исследования – на основе методов пространственного анализа космического снимка выявить правила иерархической организации ландшафта.

#### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Анализ структуры ландшафта проведен на основе зимнего черно-белого космического снимка с максимальным разрешением 41 × 41 м для территории, расположенной на междуречье р. Вага и Сухона (рис. 1). Долина Сухоны пересекает ее с юго-запада на северо-восток. Кристаллический фундамент платформы здесь погружен на глубину 285 м [1]. Фундамент сложен пермской системой нижнеустыинского, сухонского и северодвинского горизонтов [2]. Четвертичные отложения на большей части территории представлены относительно маломощными моренными отложениями московского возраста. На междуречье Кокшеньги и Устьи (рис. 1б) на плоских водоразделах распространены озерно-ледниковые отложения важского приледникового озера поздневалдайского времени [3]. Флювиогляциальные отложения представлены также в среднем течении р. Кокшеньги и по правому берегу р. Сухоны. Характерными чертами речной сети являются резкие повороты долин, слияние рек под прямым углом непропорциональность между шириной

русел и шириной долин. Территория лежит в подзонах средней и южной тайги с господством мелколиственных лесов, замещающих коренные еловые леса по сплошным рубкам главного пользования. Коренные леса сохранились в виде небольших фрагментов, в основном в наиболее труднодоступных участках, и в настоящее время активно вырубаются. Для флювиогляциальных отложений типичны вторичные и коренные сосновые леса. Слабовогнутые и плоские поверхности обычно заняты верховыми болотами. Сельскохозяйственные земли приурочены к наиболее расчлененным приречным формам рельефа с наиболее хорошо дренированными склонами обычно при близком залегании карбонатных пород осадочного чехла.

Собственные полевые исследования, расширяющие возможности трактовки результатов анализа космического снимка, проведены в бассейне р. Кокшеньга (рис. 1). Полевые исследования в регионе осуществлялись под руководством заведующего кафедрой физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ К.Н. Дьяконова и выполнены при поддержке грантов РФФИ № 99-05-65099 и № 01-05-64822.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задачами анализа являются: 1) выявление правил иерархической организации; 2) отображение пространственного варьирования фрактальной размерности, или текстуры, изображения для основных иерархических уровней как средства отображения степени самоподобия и выделения территорий с качественно различной локальной фор-



Рис. 1. Исходное изображение (а) средней части бассейна р. Сухоны и р. Кокшеньги, полученное при сканировании космического снимка (март, 1984) с разрешением 100 dpi (246 м в пикселе); б – фрагмент сканированный с разрешением 300 dpi в – фрагмент, сканированный с разрешением 600 dpi (район полевых исследований).

мой организации; 3) разложение изображения по ортогональному базису с известной размерностью как средство отображения возможной факторной основы пространственного варьирования свойств ландшафта.

Иерархические уровни организации территории выделяются на основе двумерного спектра изображения [4], позволяющего по двум ортогональным направлениям оценивать степень симметричности территориальных структур. По параметрам зависимости “логарифм спектральной плотности–логарифм частоты” рассчитывается фрактальная размерность [5, 6]

$$\lg Sp = a + b \lg(1/P),$$

$$D = (7 - b)/2,$$

где  $Sp$  – спектральная плотность;  $P$  – период;  $a$   $b$  – константы;  $D$  – фрактальная размерность.

Фрактальная размерность для трехмерной поверхности может изменяться в интервале от 2 до 3. Если она близка к 2, то варьирование обычно определяют как “черный” шум [4]. Такую фрак-

тальную размерность имеют самоподобные пространственные структуры, сочетающие разномасштабные слабовыпуклые почти плоские возвышенности и слабовогнутые понижения. При размерности 2.5 говорят о “буром” шуме [4]. Структуры с такой фрактальной размерностью получаются из прямого суммирования по двум координатам нормального случайного процесса с нулевым средним. Изображение, соответствующее этой размерности, можно представить как сочетание разномасштабных холмов и соответствующих им понижений. Равновесная гидрологическая сеть обычно имеет размерность, соответствующую бурому шуму. Наконец, если размерность близка к 3, то говорят о “розовом” шуме [4]. Такой размерностью описывается поверхность, которую можно представить как сочетание разномасштабных дюн с резко очерченными элементарными формами рельефа разного иерархического уровня. Если фрактальная размерность неизменна на всех интервалах частот, то можно полагать, что рассматриваемая пространственная структура есть результат действия общего фрак-

тора. Если же отклонения от линии регрессии имеют нелинейную форму и описываются полиномом, то, скорее всего, действуют два и более факторов, определяющих генезис пространственных структур разного масштаба. Если отклонения от линии регрессии не случайны и содержат статистически значимые периодические составляющие, то территориальная структура может рассматриваться как суперпозиция нелинейных пространственных волн, порождаемых действием общего фактора и образующих иерархическую организацию территории [7]. Таким образом, многоплановый анализ двумерного спектра позволяет получить общее представление о факторной структуре территории и выделить по локальным максимумам спектральной плотности основные иерархические уровни в ее организации.

Оценка пространственного варьирования фрактальной размерности осуществляется на основе расчета двумерного спектра для скользящих квадратов с линейными размерами, соответствующими основным иерархическим уровням. Для каждого уровня строится собственное изображение варьирования фрактальной размерности. Сравнение этих оценок с реальными измерениями в природе позволяет ассоциировать их с конкретными природными объектами и объяснить генетическую основу ее пространственного варьирования.

Разложение изображения по ортогональному факторному базису осуществляется на основе следующих допущений: 1) оптические яркости на снимке распределены не случайно и отражают некоторые правила в организации ландшафта, а значения яркостей конкретных пикселей содержат информацию об оптической яркости по крайней мере своих соседей; 2) каждая точка может быть описана как собственной яркостью, так и яркостью ближайших соседей; 3) радиус соседства не должен быть меньше линейных размеров территориальных структур избранного иерархического уровня.

Следовательно, для каждого иерархического уровня можно выбрать скользящий квадрат с линейными размерами в половину его периода (теорема отчета), наилучшим образом отражающий правила взаимокоррелированности яркостей включенных в него пикселей. Иными словами, каждую точку поверхности можно описывать не только ее собственной яркостью, но и яркостью ее  $k$ -соседей ( $k$  – сторона квадрата). Таким образом, если существует правило, связывающее оптические яркости точек в пространстве, то можно определить число факторов, достаточных для воспроизведения этого правила, и отобразить варьирование значений каждого фактора. Размерность пространства можно оценить на основе многомерного непараметрического шкалирования, а определяется она по матрице дистанций между всеми точками, входящими в скользящий квадрат. Полагая, что исследуемая система может быть существенно нели-

нейна, размерность целесообразно оценивать как для метрики Евклида, так и для метрики Пирсона. Если получаемые в многомерном шкалировании отображения объекта в двух метриках тождественны, то для разложения изображения на ортогональные факторы можно использовать стандартный метод главных компонент. В противном случае необходимо использовать более сложные непараметрические методы.

Таким образом, в результате анализа изображения можно получить однозначные представления о правилах, лежащих в основе организации ландшафта, и сформулировать гипотезы о порождающих их механизмах. Если эти правила реальные, они неизбежно будут определять многие функциональные аспекты ландшафта и особенности природопользования. Интерпретация оценок, полученных на основе космического снимка, осуществляется с помощью комплексного ландшафтного трансекта с регулярным шагом опробования, заложенного на участке "с" (рис. 1). Трансект пересекает две плоских водораздельных поверхности с заболоченными депрессиями и долину р. Заячья, правого притока Кокшеньги. Нивелировка трансекта проведена с шагом в 12.5 м, а комплексные описания растительности и почв – с шагом 25 м. Общая длина трансекта составила 8025 м.

## РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Фрактальная размерность всего изображения с разрешением 246 м оценена по двумерному спектру (рис. 2а, табл.). В целом ее вариации близки бурому шуму, и эти оценки тождественны по обоим направлениям. Структура строго фрактальна в том случае, если в остатках уравнения регрессии нет достоверного полиномиального тренда и периодических составляющих. В действительности в остатках существует статистически значимый тренд второй степени (рис. 2б). Вид полинома позволяет полагать, что структура территории определяется по крайней мере двумя независимыми факторами, один из которых соответствует структурам с линейными размерами до 1.15 км, а второй – выше этого порога. Дифференцированная оценка фрактальной размерности для двух диапазонов частот (табл.) показывает, что мелко-масштабные структуры имеют формы, более близкие к черному шуму (более плоские, крупноволнистые), а более низкочастотные соответствуют бурому шуму. Наличие регулярной составляющей в остатках спектра и соответственно взаимоупорядоченных иерархических уровней можно выявить на основе спектрального анализа остатков как временного ряда (рис. 2в). Если в остатках существует достоверная автокорреляция, то гипотеза белого шума отрицается и доказывается реальное существование взаимосогласованных иерархических волновых структур. Если существует устой-

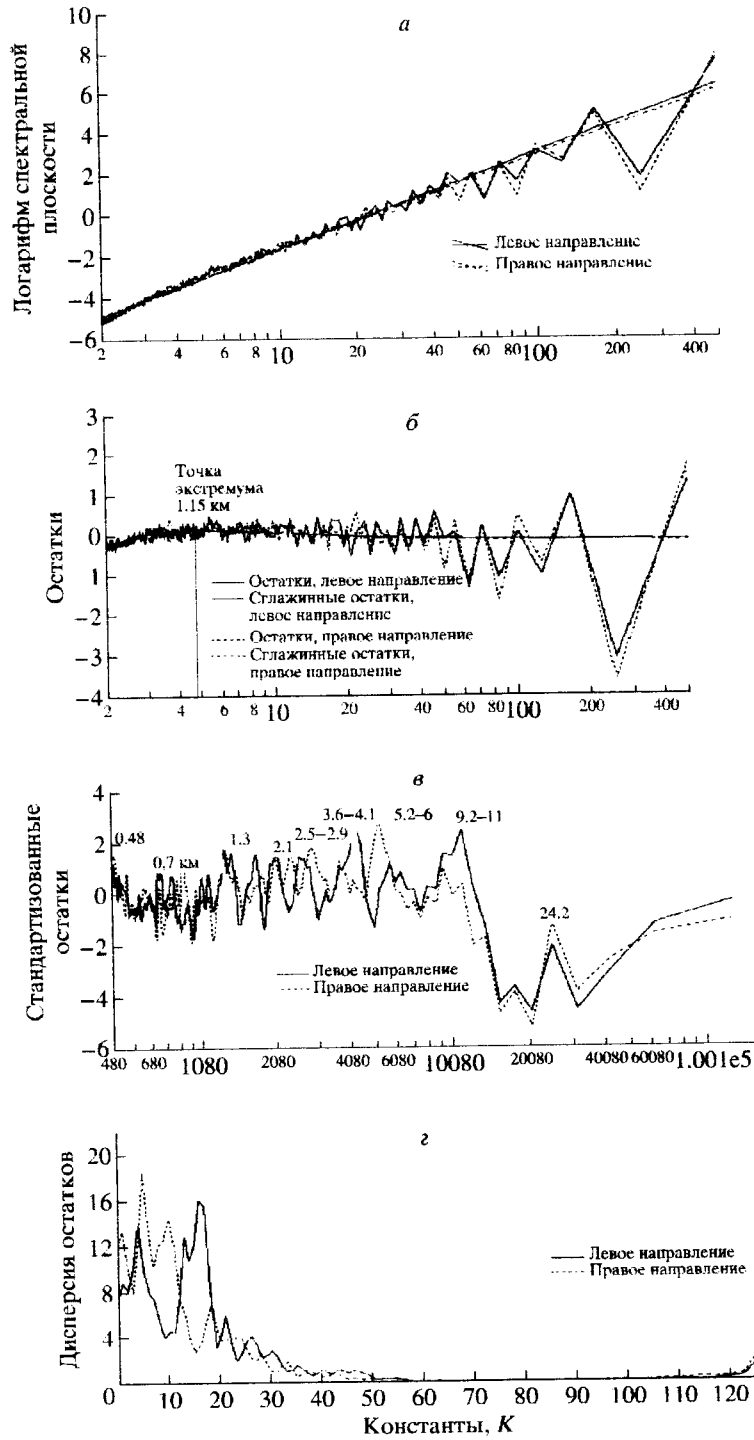


Рис. 2. Анализ иерархической организации территории: а – спектральная плотность, оцененная по всему снимку для квадрата  $500 \times 500$  пикселей по двумерному уравнению регрессии  $\log SD = a + b \times \log Fr$ , где  $SD$  – спектральная плотность,  $Fr$  – частота; б – полиномиальный тренд остатков от уравнения регрессии (точка перегиба полиномиальной предикаты определяет изменение фрактальной размерности); в – остатки от полиномиального тренда (цифрами выделены наиболее хорошо выраженные иерархические уровни); г – определение константы в уравнении, устанавливающим связь частоты с номером волны ( $Fr = 0.5 \cdot f_0 \cdot k \cdot WN$ , где  $Fr$  – частота;  $f_0$  – начальная частота;  $k$  – константа;  $WN$  – номер волны) по спектру остатков от полиномиального тренда.

Статистические параметры расчета регрессионной модели спектра (SP1 – спектр по левому направлению, SP2 – по правому, SP – общий спектр)

Разрешение, (м/пиксел)	Направление	B0	B1	Стандартная ошибка B0	Стандартная ошибка B1	t-критерий B0	t-критерий B1	Фрактальная размерность, D
41	SP1	1.77	-2.48	0.07	0.04	23.81	-63.39	2.25
	SP2	1.74	-2.56	0.06	0.03	27.53	-76.89	2.21
123	SP1	-1.35	-2.57	0.04	0.02	-30.59	-112.06	2.21
	SP2	-1.29	-2.58	0.04	0.02	-27.05	-104.70	2.20
246	SP1	-6.16	-2.04	0.04	0.02	-152.48	-97.77	2.47
	SP2	-6.07	-1.99	0.04	0.02	-135.21	-85.73	2.50
Меньше 1.15 км	SP1	-6.67	-2.48	0.03	0.03	-177.83	-71.98	2.25
	SP2	-6.67	-2.51	0.03	0.03	-187.85	-76.99	2.24
Больше 1.15 км	SP1	-5.76	-1.90	0.12	0.04	-47.19	-41.95	2.54
	SP2	-5.66	-1.85	0.13	0.05	-41.19	-36.15	2.57

чивая иерархия волн, то ее правила будут отражаться спектром от остатков, построенным по волновому числу. Наиболее распространенная модель иерархии волн в нелинейных колебаниях связывает частоту  $F_i$  с номером волны  $w_i$  как

$$F_i = fN - f_0^* K w_i,$$

где  $fN$  – частота Найквиста;  $f_0$  – начальная частота;  $K$  – константа, отражающая дистанцию между соседними волнами (обычно целое число). Таким образом, если дистанция по частоте между соседними волнами постоянна, то величина  $K$  определяет задержку автокорреляции остатков спектра и должна однозначно выявляться на спектрограмме. На рис. 2г приведены соответствующие оценки, отражающие общие правила иерархической организации территории. По левому направлению существуют по крайней мере две независимые волновые структуры с константами 4, 16 и, возможно, 21. По ориентации на северо-восток иерархическая структура сложнее и состоит из трех-четырех независимых волновых структур с константами 1, 5, 10 и, возможно, 18. Можно полагать, что структура территории в целом определяется действием четырех-пяти независимых факторов. При этом волны, порождаемые ими по ортогональным направлениям, имеют несколько различные линейные размеры. Наиболее хорошо выраженные территориальные структуры возникают в тех случаях, когда периоды волн, генерируемые различными факторами, оказываются близки или совпадают.

Аналогичный анализ, проведенный для участков при разрешении 41 м и 123 м в пикселе, дал в целом сходные результаты. Более крупный масштаб определяет оценку размерности более близкую к черному шуму (табл.). Все структуры также симметричны. Как и в мелком масштабе, вы-

деляется рубеж в 0.7–1 км с резким изменением фрактальной размерности. Анализ отклонений дает сходный принцип организации иерархической структуры (рис. 3). Вместе с тем вполне понятно, что полная тождественность в организации иерархической структуры большой территории и ее фрагментов невозможна и при общности правил оценки линейных размеров могут несколько различаться.

Общность организации ландшафта на различных иерархических уровнях хорошо демонстрируют результаты расчета фрактальной размерности по двумерному спектру по скользящим квадратам с размерами, соответствующими основным иерархическим уровням с линейными размерами 136, 279, 700 м, 1.7 км, 3.6–4.1, 5.2–6, 9.2–11, 24.2 км (рис. 3).

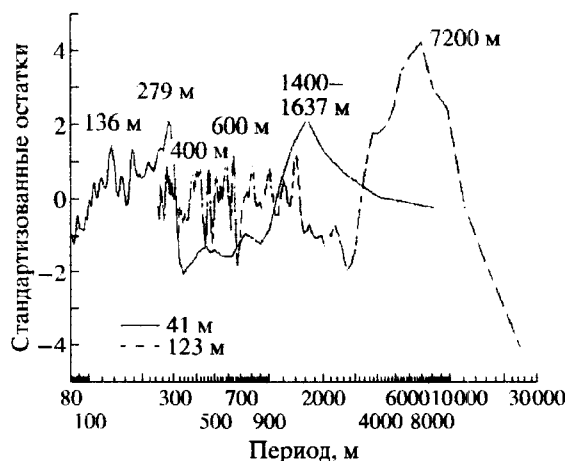


Рис. 3. Иерархическая структура территории для участков, сканированных с разрешением 300 dpi (123 м) и 600 dpi (41 м).

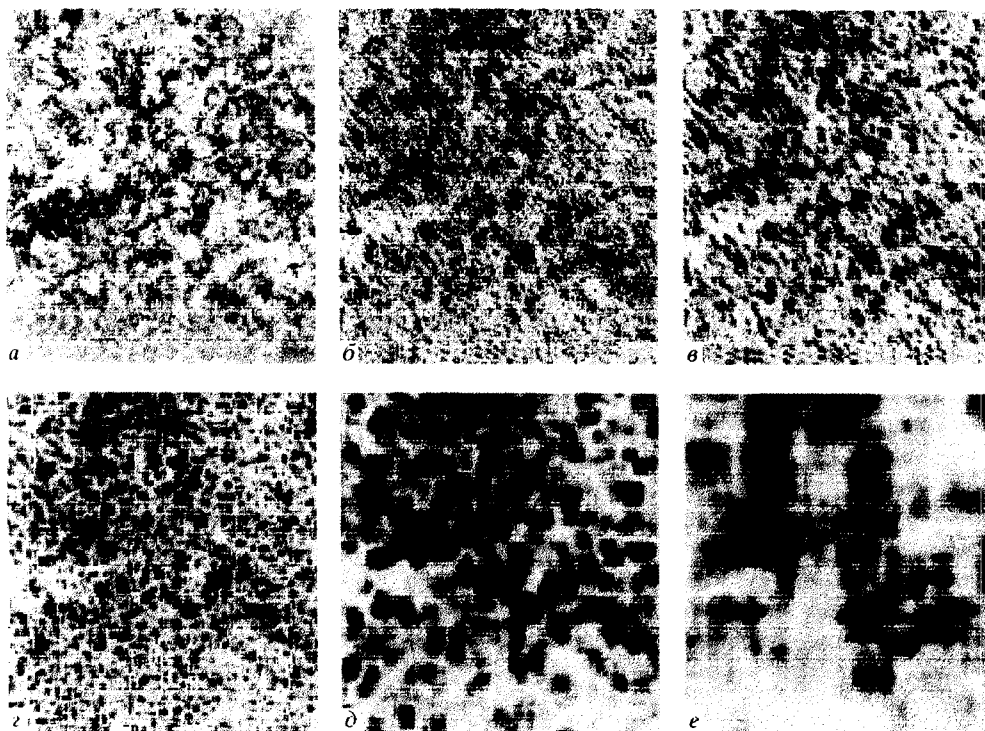


Рис. 4. Оценка значений фрактальной размерности для скользящих квадратов: *a* – исходное изображение, полученное при сканировании космического снимка (март, 1984) с разрешением 100 dpi (246 м в пикселе). Оптическая плотность нормализована извлечением квадратного корня из исходных данных; *b* – оценка фрактальной размерности по скользящему квадрату со стороной 1.7 км; *в* – то же со стороной 3.8 км; *г* – то же со стороной 6 км; *д* – то же со стороной 10 км; *е* – то же со стороной 24 км.

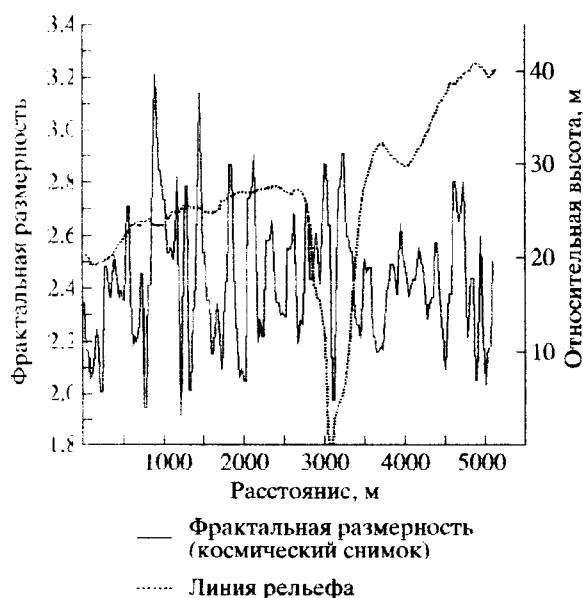


Рис. 5. Изменчивость фрактальной размерности вдоль трагсекта, оцененной по снимку с разрешением 600 dpi при скользящем квадрате со стороной 123 м.

Оценки фрактальной размерности для скользящих квадратов, соответствующих этим уровням, показывают (рис. 4), что правила варьирования значений фрактальной размерности в пространстве порождают разномасштабные, но удивительно подобные ячеистые структуры с сочетанием гомогенных территорий с фрактальной размерностью на уровне черного шума и более гетерогенных с большей представительностью территорий с текстурой, соответствующей розовому шуму. Точно та же схема повторяется на участке, сканированном с разрешением 41 м. Природа самоподобия структуры ландшафта отчасти объясняется прямым сравнением фрактальной размерности, оцененной по снимку, с рельефом на трансекте (рис. 5). Максимумы фрактальной размерности (белый цвет на снимке) соответствуют участкам с перегибами рельефа и, соответственно, с изменением состава растительности. Рассматриваемый фрагмент рельефа демонстрирует типичное сочетание структурных блоков, разделенных разрывным нарушением с долиной реки. Правая часть – склон приподнятого макроблока, левая – опущенный блок. Внутри макроблоков выделяются субблоки, понижения между которыми заняты болота-

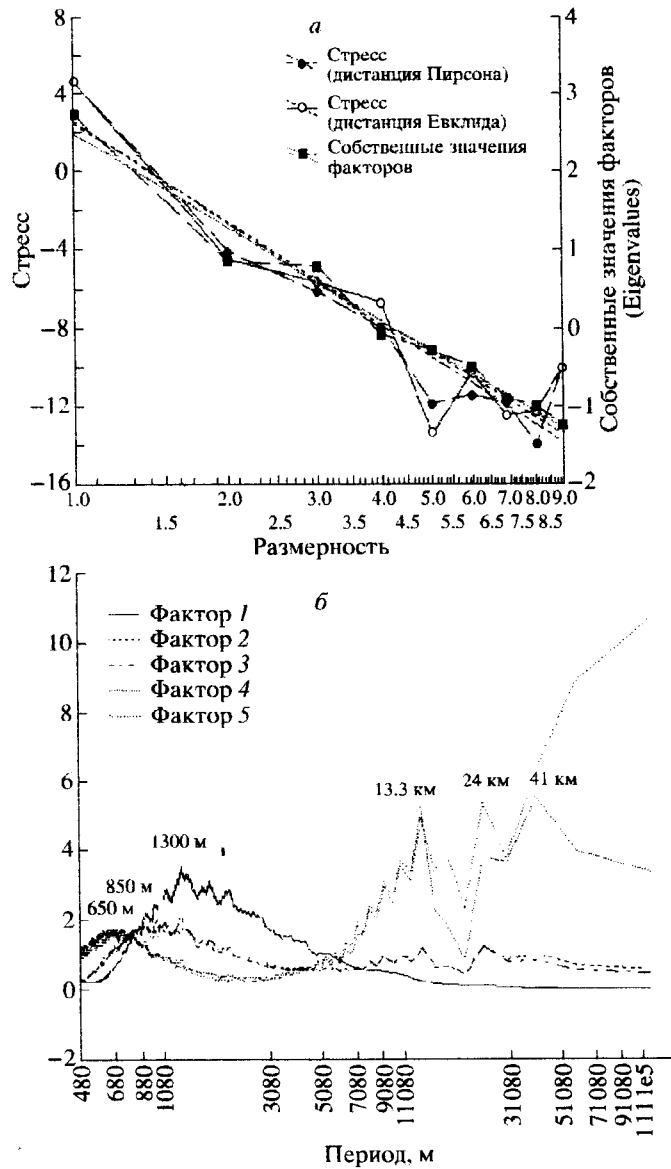


Рис. 6. Исследование факторной структуры изображения: а – определение размерности пространства методом многомерного непараметрического шкалирования по функции стресса при дистанции Пирсона и при дистанции Евклида. Собственные значения факторов (Eigenvalues) по методу главных компонент; б – периодограммы факторных отображений.

ми с мощностью торфа всего до 1 м при возрасте до 5000 лет [8]. Плоские поверхности заняты заболоченными сосново-березовыми лесами при уровне грунтовых вод, редко опускающемся глубже 1 м, с характерной кислой средой в почвах (рН = 4.0–5.0). На этом фоне участки разрывных нарушений хорошо выделяются высокими значениями рН почв (до 8), их высокой сезонной и межгодовой вариабельностью [9]. Склон макроблока также состоит из субблоков, границы которых маркируются долинами небольших ручьев. Отно-

сительно хороший дренаж макросклона при общей высокой минерализации грунтовых вод определяет развитие здесь сосново-еловых лесов – часто с травяным покровом из представителей широколиственных лесов. Рельеф, представленный через превышение, крутизну и профиль макро-, мезо-, микро- и наноформ, вместе с составом древесного яруса описывает 65% варьирования оптической плотности космического снимка. Таким образом, высокие значения факторной размерности на уровне розового шума отражают поло-

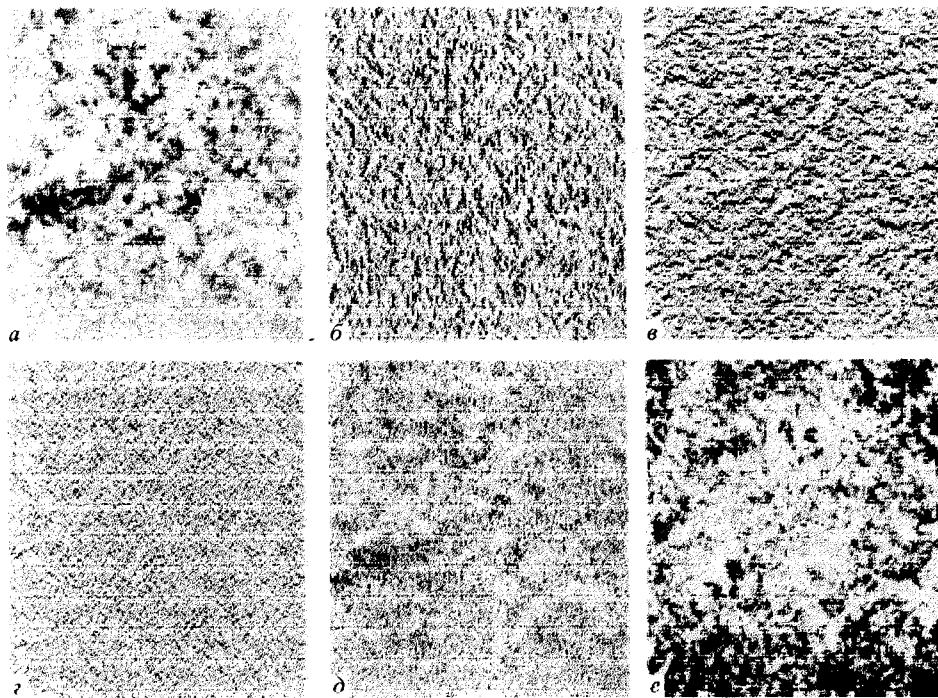


Рис. 7. Факторное разложение исходного изображения по скользящему квадрату  $5 \times 5$  пикселей: а–д – номера факторов; е – дистанция Махаланобиса наблюдаемых значений оптической плотности центральной точки скользящего квадрата от предиката по пяти факторам.

жение разрывных нарушений. При изменении масштаба, по-видимому, действует та же схема отношений.

Общее правило организации ландшафта рассматриваемой территории более полно раскрывается на основе многомерного анализа космического снимка по скользящему квадрату с линейными размерами в 5 пикселей. Оптическая яркость центральной точки скользящего квадрата описывается своими соседями с величиной коэффициента детерминации  $R_2 = 0.92$ , что указывает на высокую пространственную связь свойств ландшафта, отображаемых оптическими яркостями изображения.

Оценка размерности методом многомерного шкалирования (рис. 6а) позволяет принять размерность пространства равной 5, что совпадает с оценкой, полученной на основе спектрального анализа. Значения стресса, оцененные по двум метрикам, практически совпадают, что позволяет считать отношения в системе близкими к линейным. Линейность и нормализация распределения оптических плотностей делает корректным применение метода главных компонент при размерности в пять факторов (рис. 6б). Вместе с тем немонотонность функции стресса указывает на существование в рамках скользящего квадрата дополнительных иерархических структур. Этот эффект связан с тем, что квадрат с такими линейными размерами включает в себя два иерархических уровня организации территории. На рис. 7(1–

5) показаны результаты факторного анализа космического снимка по скользящему квадрату со стороной 5 пикселей. Первый фактор, описывая 60.3% варьирования, внешне сохраняет основные черты исходного изображения. Остальные четыре фактора содержат информацию в основном о линейных структурах и описывают соответственно 8.9%, 8.3%, 3.0%, 2.4% варьирования. Первый фактор в основном описывает структуры с линейными размерами 1300 м (рис. 6б), т.е. близкими к формам, соотносимым с отложениями четвертичного периода. Второй и третий факторы в основном отображают структуры от 850 до 1300 м; четвертый и пятый – структуры 13.3, 24.0 и 41 км, а также структуры с линейными размерами 650 м. Все они очень напоминают разномасштабные разрывные нарушения, отображавшиеся и во фрактальном анализе. На рис. 7(6) показаны дистанции Махаланобиса между наблюдаемыми оптическими яркостями и значениями, предсказанными в регрессионном уравнении от факторов для центральной точки скользящего квадрата. Светлые области выделяют территории с максимальной ошибкой аппроксимации без учета ее знака. Очевидно, что ошибки максимальны по границам контрастных контуров изображения, но вместе с тем выделяются обширные области, которые не описываются пятью факторами. Прямое сравнение показывает, что это территории с обширными вырубками на месте еловых лесов.



Наиболее однозначно описываются лесные территории, в то время как сельскохозяйственные земли описываются со средним уровнем ошибки.

Пять факторов описывают центральную точку пробного квадрата с коэффициентом детерминации  $R_2 = 0.91$  и средней ошибкой 16.9 единиц яркости при 256 градациях. При этом для ее описания достаточно только трех факторов. Таким образом, воспроизводимость оптических плотностей всех точек квадрата пятью факторами весьма высокая и мало отличается от прямой регрессионной модели.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам приведенного анализа есть основания полагать, что структура ландшафта рассматриваемой территории в целом определяется неотектоническими движениями, приводящими к разномасштабному дроблению коренных пород. Генеральные направления крупных линейных структур подчиняются направлению тектонических швов северной части Восточно-Европейской равнины, активных на новейшем этапе развития [10]. Так, долина р. Сухоны заложена непосредственно по одному из швов, границы которого маркируются вторым и третьим факторами. Эти же факторы выявляют и другие линейные структуры – как параллельные, так и ортогональные к долине р. Сухоны. Более тонкие, независимые от первых линейные структуры идентифицируются четвертым фактором. Пятый фактор отражает, с одной стороны, мозаичность четвертичных отложений, а с другой стороны, центры основных блоков. Наложение всех этих факторов порождает ячеистую структуру, выявляемую при фрактальном анализе.

Таким образом, можно утверждать, что пространственная структура ландшафта в основном определяется строением осадочного чехла, что подтверждается и прямыми полевыми наблюдениями, и, в том числе, высокой минерализацией грунтовых вод соответствующих выделяемым крупно масштабным линейным структурам. Залегание четвертичных отложений во многом опре-

деляется строением коренного основания. Флювиальные отложения в некоторых случаях еще более четко выявляют его структуру. В конечном итоге идентификация геологического строения определяется высокой косвенной зависимостью от него растительного покрова и хозяйственной деятельностью. Сельскохозяйственные земли в данном регионе строго приурочены к наиболее хорошо выраженным крупным тектоническим швам и особенно их пересечениям.

Таким образом, количественный многомерный анализ даже панхроматического изображения позволяет показать действие ведущих ландшафтообразующих факторов, способствуя тем самым генетической трактовке его строения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Север Европейской части СССР М.: Изд-во Академии наук, 1966.
2. Геология СССР / Под ред. А.В. Сидоренко. Т. 2. М.: Гостеолтехиздат, 1963.
3. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975
4. Turcotte D. Fractals and chaos in geology and geophysics N.Y.: Cambridge Univ Press, 1992. 221 p
5. Пузаченко Ю.Г. Методологические основы измерения сложности ландшафта // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 4. С. 30–50.
6. Пузаченко Ю.Г. Приложения теории фракталов к изучению структуры ландшафта // Известия РАН. Сер. геогр. 1997. № 2. С. 24–40.
7. Ланда П.С. Нелинейные колебания и волны. М.: Наука, 1997. 496 с.
8. Дьяконов К.Н., Пузаченко Ю.Г. Факторы эволюции и строение среднетаежного структурно-эрозивно-ледникового ландшафта // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2000. № 1. С. 37–44.
9. Хорошев А.В., Прозоров А.А. Динамика щелочно-кислотных условий в почвах среднетаежных ландшафтов // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2000. № 1. С. 50–55.
10. Бабак В.И., Башилов В.И., Гаврюшова Е.А. и др. Геоморфолого-неотектоническое районирование // Почвенно-геологические условия Нечерноземья. М.: Изд-во МГУ. 1984. С. 41–78.

## Analysis of Landscape Pattern Based on Space Image

Y. G. Puzachenko, A. V. Khoroshev, G. M. Aleshchenko

M.V. Lomonosov Moscow State University

Space image of the territory in the North of European Russia is analyzed using moving square window with size corresponding to certain hierarchical level. Each pixel in moving window is characterized not only by its own optical density but also by that of its neighbors. Regularities of landscape structure organization are revealed using spectral multidimensional spatial analysis based on theory of non linear oscillations. Hierarchical levels of landscape organization are determined by spectral analysis method. Evaluation of fractal dimensionality for moving window of relevant hierarchical levels ensures insight into spatial variability of image texture. Self similarity of landscape structure is proved for a wide range of scales. Self similarity is determined by network of joints emerged in neotectonic period. In general landscape spatial pattern is determined by structure of sedimentary cover. Agricultural areas occur along the main neotectonic lineament and to their intersections in particular.