

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.4:551.24+528.81:519.21

© 1999 г. Л.Н. ВАСИЛЬЕВ, В.М. МОРАЛЕВ, А.Б. КАЧАЛИН,
Е.Н. ТЕРЕХОВ, А.С. ТЮФЛИН

РЕЛЬЕФ, НЕОТЕКТЕНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ И СКЕЙЛИНГОВЫЕ СВОЙСТВА ЛИНЕАМЕНТНЫХ СЕТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА)¹

Исследование связи морфологии рельефа со структурой и историей развития геологического субстрата – важная составная часть морфоструктурного анализа, ориентированного на распознавание областей различной неотектонической активности, отличающихся, в конечном счете, и по сейсмической опасности. Эта связь неоднократно указывалась и анализировалась как в аспекте общей теории образования рельефа земной поверхности [1], так и применительно к мегарельефу Земли [2] или крупнейшим формам рельефа, например, Восточно-Европейской платформы [3]. Однако если при анализе самых общих черт морфологии рельефа и проявления неотектонических движений в глобальном или очень мелком масштабе выявляется их связь со строением или процессами, происходящими в глубоких геосферах, то при более крупномасштабном исследовании существенной становится зависимость от литолого-структурных характеристик близповерхностных частей литосферы, т.е. от собственно рельефообразующего геологического субстрата [4]. Ведущая роль именно этих факторов рельефообразования выявляется при региональных исследованиях морфологической структуры рельефа путем анализа тематических геоморфологических карт [5], причем очевидна главенствующая роль таких активных в новейшее время элементов структуры геологического субстрата, как системы трещин и разрывных нарушений.

В настоящее время в связи с интенсивным развитием различных дистанционных методов исследования природной среды стало очевидно, что наиболее объективно отражают плановое расположение разломно-трещиноватых структур земной коры сети линеаментов (ЛС), выявляемые путем опознавания на аэро- или космических снимках ландшафтных индикаторов дизъюнктивных нарушений сплошности геологического субстрата. Целесообразность исследования отдельных элементов этих сетей как важных геологических и геоморфологических объектов известна давно; возможность анализа сетей как хаотических сообществ линейных структур, обладающих определенными геометрическими характеристиками, начинает осознаваться только в последнее время.

Проведенные опыты анализа ЛС показали, что они являются фрактальными структурами, геометрические характеристики которых могут коррелироваться с определенными природными, в частности, геоморфологическими и геологическими объектами весьма широкого масштабного диапазона [6, 7]. Фрактальность этих структур означает, что если какую-либо территорию разделить на равные клетки некоторого размера и определить в них общую длину линеаментов (или их плотность), то при увеличении стороны клетки, например, в 2 раза длина линеаментов возрастает непропорционально увеличению площа-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 98-05-64737 и 96-05-64605).

ди, т.е. менее, чем в 4 раза. Такое масштабное преобразование называется скейлингом. Дальнейший анализ ЛС позволил выявить их мультифрактальные свойства, при которых масштабное преобразование каждого значения плотности зависит от значения самой плотности; такое явление называется мультискейлингом. Линеamentная сеть в отдельных произвольно выбранных клетках образуется различными сочетаниями линеаментов, которые мы называем структурными элементами типа пересечений, проходных звеньев, свободных концов, оперяющих элементов. Различные сочетания структурных элементов отличаются разной плотностью. Следовательно, для них характерен и разный скейлинг, а вся ЛС обнаруживает мультискейлинговое поведение [8, 9].

Увеличение пространственного разрешения при использовании для дешифрирования крупномасштабных снимков всегда сопровождается сгущением ЛС, однако закономерности прироста общей плотности и особенно относительной роли отдельных элементов рисунка ЛС остаются совершенно не исследованными. Обычно ЛС анализируются лишь с точки зрения распределения плотностей и ориентировки линеаментов (плотностей по направлениям или анизотропии линеаментов), что часто не позволяет выявить связь между их рисунком и морфологией рельефа или какими-либо морфометрическими параметрами. Между тем, свойства мультискейлинга могут быть использованы для определения прироста плотностей линеаментов и изменения характера рисунка ЛС методом анализа ЛС двух масштабов, когда увеличение разрешения в клетках того же размера (на местности) позволяет рассматривать ЛС как бы в лупу и выявлять совершенно новые параметры строения ЛС. При этом есть основания предполагать, что такие параметры могут коррелироваться с интенсивностью и характером новейших тектонических движений и соответственно с морфологической структурой рельефа.

Авторами приведена экспериментальная проверка применимости теории мультискейлинга для анализа зависимости между строением рельефа, проявлением новейших движений и характеристиками ЛС. Сам эксперимент заключался в сравнительном анализе характеристик ЛС двух масштабов – 1 : 2500000 и 1 : 500000, полученных для одной и той же территории Кольского полуострова одним дешифровщиком путем интерпретации различных космических снимков, пространственное разрешение которых соответствовало информационному уровню каждого масштаба. Карта ЛС более мелкого масштаба (малого разрешения) составлена по многозональным снимкам: 1 : 1000000, полученным в разные годы со спутников "Landsat" – 1, 2 и 5 (каналов 4 и 5, а также цветных синтезированных изображений). Для карты ЛС крупного масштаба (более высокого разрешения) использованы космические снимки масштабов 1 : 500000 и 1 : 200000, а также фотосхемы высотных аэрофотоснимков масштаба 1 : 200000.

Таким образом, анализируемые ЛС, имевшие различный рисунок, обусловленный изменениями соотношений их структурных элементов в зависимости от используемого масштаба (т.е. мультискейлингом), в то же время отражали и различия в пространственном разрешении исходных материалов дистанционного зондирования. Необходимо при этом отметить, что дешифрирование и составление карт ЛС проводилось задолго до этого эксперимента и вне всякой связи с его задачами.

Рельеф и неотектоника района

Территория Кольского полуострова принадлежит к тектонической области Балтийского щита, вступившей в платформенную стадию развития после протерозоя и подвергшейся тектоническим деформациям дизъюнктивного характера, продолжающимся вплоть до настоящего времени. Важная роль трещинно-разрывных дислокаций в формировании современного рельефа была замечена уже первыми исследователями геоморфологии и геологии этой области – В. Рамсеем, И. Седерхольмом, А.А. Григорьевым, А.А. Полкановым, Г.Д. Рихтером, а позднее была подтверждена работами Н.И. Апухтина, А.Д. Арманда, Г.С. Бискэ, М.К. Граве, Б.И. Кошечкина, М.А. Лаврова, В.Г. Легковой, С.И. Макиевского, Ю.Е. Мусатова, А.А. Никонова, С.А. Стрелкова, Г.С. Рубинраута, В.В. Шаркова, Л.А. Щукина и многих других. Результаты детальных исследований последних лет, проведенных с использованием геоморфологических методов и анализа сети линеаментов, отдешифрированных по материалам различных дистанционных съемок, подтверждают принадлежность района к классическим областям блоковой тектоники, где густая сеть новейших разломов показывает отчетливую унаследованность от структур древнего (дорифейского) заложения, нередко являющихся границами блоков разных порядков, а в отдельных случаях совпадающих с сейсмогенными зонами [10, 11].

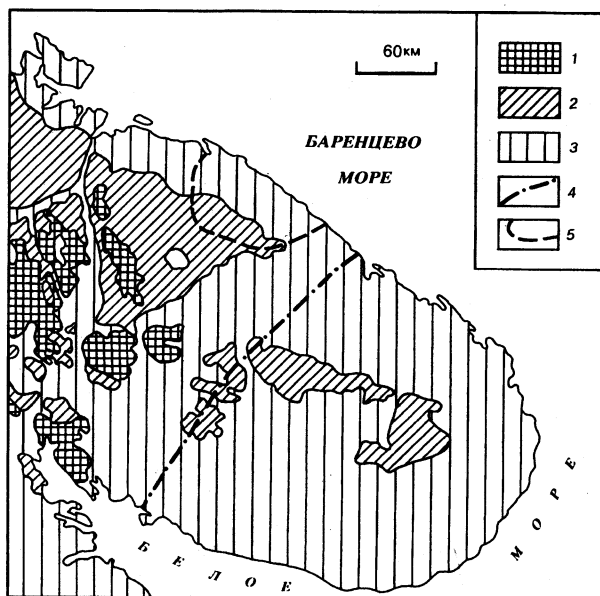


Рис. 1. Схема неотектонического районирования Кольского полуострова 1–3 – области распространения рельефа разных генетических категорий, различающихся по степени интенсивности и преобладающей направленности неотектонических движений: 1 – интенсивных и значительных поднятий, 2 – умеренных поднятий, 3 – слабых поднятий, стабильных участков или с тенденцией к опусканию; 4 – условная граница Западно- и Восточно-Кольской неотектонических областей; 5 – контуры участка неполного дешифрирования линеаментов (по техническим причинам), исключаемого из расчетов геометрических параметров

Изучение морфологии и истории развития рельефа позволило провести районирование территории Кольского полуострова по интенсивности неотектонических движений. Выделение районов с различной скоростью и направленностью движений было проведено путем анализа густоты размещения на площади крутосклонных поверхностей и спрямленных элементов рельефа, а также вертикальной расчлененности рельефа [12]. Намеченные и представленные на карте неотектонического районирования районы могут быть сгруппированы в три класса, отвечающие: 1 – интенсивным и значительным поднятиям, 2 – умеренным поднятиям и 3 – слабым и незначительным поднятиям, объединяемым со стабильными или даже с участками с тенденцией к опусканию (рис. 1). Эти классы отвечают основным генетическим категориям рельефа района: 1 – денудационно-тектоническому рельефу средне- и низогорных массивов, 2 – структурно-денудационному рельефу холмистых, грязовых и грядово-увалистых расчлененных равнин и 3 – денудационному и аккумулятивному рельефу плоских и плосковолнистых низменных (0–200 м) или возвышенных (200–500 м) равнин [12].

Распределение рельефа указанных категорий на площади позволяет весьма четко разделить территорию Кольского полуострова на две части, различающиеся по интенсивности неотектонических движений, – западную, где участки интенсивных, значительных и умеренных поднятий (амплитуды 250–300 м и более) занимают около 80% площади, и восточную, где преобладают слабые и незначительные поднятия (амплитуды 0–50 и до 200 м). Эти части известны в литературе как Западно-Кольская и Восточно-Кольская неотектонические структуры, различающиеся как по интенсивностям, так и по степени дифференцированности неотектонических движений [13]. Важно подчеркнуть, что их выделение основывается как на морфологии и гипсометрических характеристиках рельефа, так и на различиях в сочетаниях тектонических разломов и трещин, образующих "структурный рисунок" рельефа [14]. Последнее обстоятельство позволяет предположить существование зависимости между структурным рисунком трещинно-разломной сети геологического субстрата и строением рельефа, определяемым амплитудами новейших тектонических движений и интенсивностью современных экзогеодинамических процессов [15].

Плотности линеаментов определяли в ячейках квадратной сетки 3,8×3,8 км, причем размеры клеток на местности в масштабах 1 : 2500000 и 1 : 500000 оставались равными, а их положение – идентичным. Полученные распределения плотностей ЛС малого и высокого разрешения, а также скейлинговые коэффициенты различных структурных элементов ЛС анализировали для двух частей Кольского полуострова – упомянутых выше Западно- и Восточно-Кольской неотектонических структур. Граница между ними является условной линией, разделяющей области с резко различным режимом неотектонических движений. Это различие хорошо выражено в центральной части полуострова и слабее в прибрежных зонах юго-западного и северо-восточного побережья (рис. 1).

Фрактальность ЛС проявляется в увеличении общей длины линеаментов при повышении разрешения в зависимости от размера клетки в степени, равной фрактальной размерности. Хотя само по себе возрастание общей плотности ЛС на Кольском полуострове в 1,5 раза при увеличении масштаба картирования в 5 раз дает представление о его непропорциональной связи с пространственным разрешением, тем не менее такая осредненная оценка малоинформативна, что заставляет предпринять попытки анализа механизма приращения отдельно для разных сочетаний элементов ЛС (мультискейлинга). Геометрические элементы и сочетания линеаментов для анализа мультискейлинговых свойств могут быть разделены на четыре группы: свободные концы, проходные звенья, пересечения и оперяющие элементы (*T*- и *Y*-образные сочетания). При этом нетрудно заметить, что три последние категории сочетаний могут давать одинаковый прирост плотности линеаментов, хотя их значение как индикаторов характера тектонических движений совершенно различно: проходные элементы не являются индикаторами кинематики разломов, пересечения свидетельствуют о блоковой делимости без заметных горизонтальных смещений, оперяющие элементы доказывают наличие существенной горизонтальной составляющей.

Геометрия этого явления может быть иллюстрирована простой схемой, показывающей, как приблизительно равное увеличение плотности (т.е. общей длины линеаментов в ячейках квадратной сетки) возникает для совершенно различных сочетаний элементов структурного рисунка ЛС (рис. 2). В соответствии с устанавливаемой таким образом зависимостью между геометрическими характеристиками ЛС и вероятной кинематикой отображаемых трещинно-разломных структур, были подсчитаны количества клеток *n* (*a*, *b*) с сочетаниями оперяющих элементов (*a*) и пересечений (*b*) в клетках одинакового размера (14 км² на местности) для ЛС масштабов 1 : 2500000 (*A*) и 1 : 500000 (*B*) (табл. 1).

Столбцы матриц *A* и *B* соответствуют количеству оперяющих элементов, а строки – количеству пересечений. Например, в столбце 2 и строке 1 в матрице *A* 14 клеток с сочетанием 2 оперяющих элемента и 1 пересечение, а в матрице *B* – их 83. Увеличение разрешения привело к появлению структурных элементов в пустых клетках в ЛС низкого разрешения. Из 4159 клеток пустыми остались только 3057. Сравнение одинаковых элементов двух матриц отчетливо показывает мультискейлинговое поведение сочетаний при возрастании пространственного разрешения. Отсюда следует весьма важное заключение о том, что здесь наблюдается интересное явление, называемое скринингом, или экранированием [16]. Скрининг представляет собой одну из особенностей роста фрактальных структур, заключающуюся в том, что при возрастании разрешения рост плотностей в клетках с пересечениями линеаментов ограничен и невелик, а почти весь прирост плотностей наблюдается в соседних клетках, т.е. в периферийных (экранирующих) зонах роста. Следовательно, скрининговое поведение структурных элементов позволяет выявлять

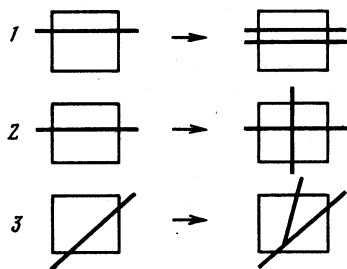


Рис. 2. Основные варианты трансформации рисунка линеаментной сети при переходе к более высокому (правая колонка) разрешению с практически одинаковым увеличением плотности (т.е. суммарной длины) линеаментов
Преобразования одного прохода элемента: 1 – в два; 2 – в пересечение; 3 – в сочетание с оперяющим

Матрицы распределения количеств сочетаний оперяющих элементов (a) и пересечений (b) в ЛС Кольского полуострова масштаба 1 : 2500000 (А) и 1 : 500000 (Б)

А

	0	1	2	3	4	a
0	4159	601	115	13	2	
1	216	57	14	2	0	
2	30	7	1	0	0	
3	2	0	1	0	0	

 b

Б

	0	1	2	3	4	a
0	3057	934	384	141	99	
1	211	174	83	35	10	
2	53	34	18	6	2	
3	9	9	4	2	1	
4	2	0	0	0	0	
5	2	0	0	0	0	

 b

Таблица 2

Матрицы распределения количеств сочетаний оперяющих элементов (a) и пересечений (b) в ЛС масштаба 1 : 500000 для восточной (В) и западной (Г) частей Кольского полуострова

В

	0	1	2	3	4	a
0	1467	448	151	57	14	
1	94	75	25	10	4	
2	21	12	7	3	0	
3	2	4	1	0	0	
4	1	0	0	0	0	
5	1	0	0	0	0	

 b

Г

	0	1	2	3	4	a
0	1590	486	233	84	35	
1	117	99	58	25	6	
2	32	22	11	3	2	
3	7	5	3	2	1	
4	1	0	0	0	0	
5	1	0	0	0	0	

 b

места ожидаемого роста плотностей линеаментов. При этом увеличение числа элементов в матрице Б происходит преимущественно за счет роста числа клеток с изолированными оперяющими элементами n ($a, b = 0$). Они составляют 70% прироста, и только в 20% клеток к пересечениям происходит добавление новых оперяющих звеньев. То есть при повышении разрешения в участках пересечения разломов происходит незначительное увеличение общей плотности линеаментов и в основном за счет оперяющих элементов. Заметим, что и относительный рост числа пересечений (2,22) при повышении разрешения также значительно ниже роста числа оперяющих элементов (3,55).

Отношение средних плотностей линеаментов в масштабе 1 : 500000 в обеих частях полуострова составляет 1,075. Это показывает, что они практически не различимы по этому показателю, а наблюдающиеся различия в морфологии рельефа не отображаются в величинах плотностей линеаментов и связаны с иными характеристиками строения геологического субстрата. Полагая, что мультискейлинговые характеристики элементов ЛС могут быть показателями кинематики разломов и режима неотектонических движений, сравним эти параметры для западной и восточной частей Кольского полуострова. Причина несогласования скейлингового поведения плотности линеаментов и структурных элементов несомненно заключается в том, что одинаковый рост их плотности в элементарных клетках может быть обусловлен сочетаниями различной конфигурации и разного тектонического значения (см. рис. 2). Обратимся к результатам расчета числа сочетаний отдельных элементов ЛС и, в частности, пересечений и оперяющих элементов в ЛС масштаба 1 : 500000 для двух неотектонических областей. Эти результаты представлены в виде двух матриц для равных по площади восточной (В) и западной (Г) частей Кольского полуострова (табл. 2). Значение элементов этих матриц аналогично значениям в матрицах (А) и (Б).

Нетрудно видеть, что полученные оценки показывают значимое различие в структуре ЛС западной и восточной частей полуострова. Если соотношение сумм оперяющих элементов (запад/восток) составляет всего 1,29, то скорость роста соответственно 2,38 и 1,76. Этот же показатель для пересечений линеаментов составляет соответственно 1,46, а

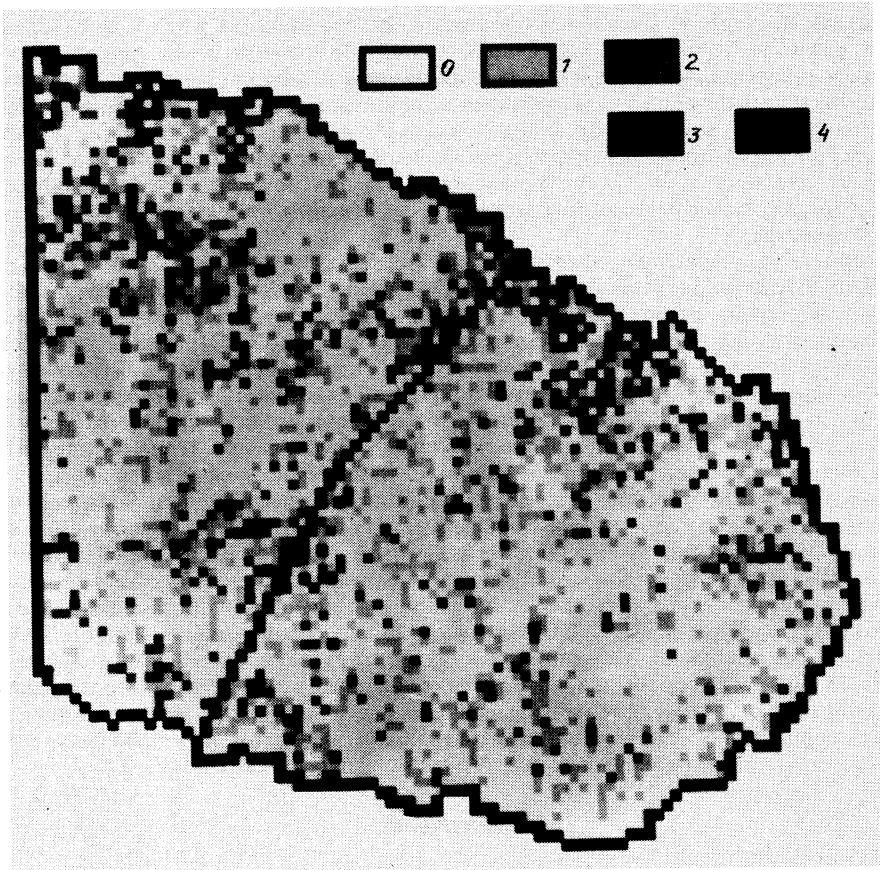


Рис. 3. Результат компьютерной обработки линейamentной сети в масштабе 1 : 500000, показывающий пространственное распределение плотностей оперяющих элементов в клетках регулярной сетки площадью 14 км²

0 – отсутствие оперяющих элементов, 1–4 – прирост от 1 до 4 элементов в клетке соответственно. Условная граница неотектонических областей та же, что и на рис. 1

для скоростей роста – 3,32 и 1,25. Пространственное распределение плотностей оперяющих элементов в клетках размером 14 км² показано на рис. 3. Совместно с матрицами В и Г рис. 3 демонстрирует, что различие заключается не только в увеличении общего количества оперяющих звеньев, но и их концентрации. Действительно, соотношение клеток с одним оперяющим элементом (т.е. отношение сумм колонки 1 матрицы Г и матрицы В) составляет только 1,13, а для клеток с 4 элементами возрастает до 2,44. Следовательно, в западной части существенно больше клеток с повышенной плотностью оперяющих элементов.

Обсуждение результатов

Для интерпретации полученных результатов экспериментального исследования необходимо напомнить, что, как известно, разломы земной коры почти всегда обнаруживают как вертикальную, так и горизонтальную составляющие движения [17]. При полевых геоморфологических и геологических наблюдениях сравнительно просто обнаруживается вертикальная составляющая, особенно в тех случаях, когда по разломам образуются уступы в рельефе или смещаются лежащие слои. Значительно труднее при этом выявить горизонтальную составляющую, особенно направленную по простиранию сместителя, хотя имеются многочисленные свидетельства значительной роли сдвиговых перемещений при деформациях земной коры, в том числе, при новейших тектонических движениях и формировании

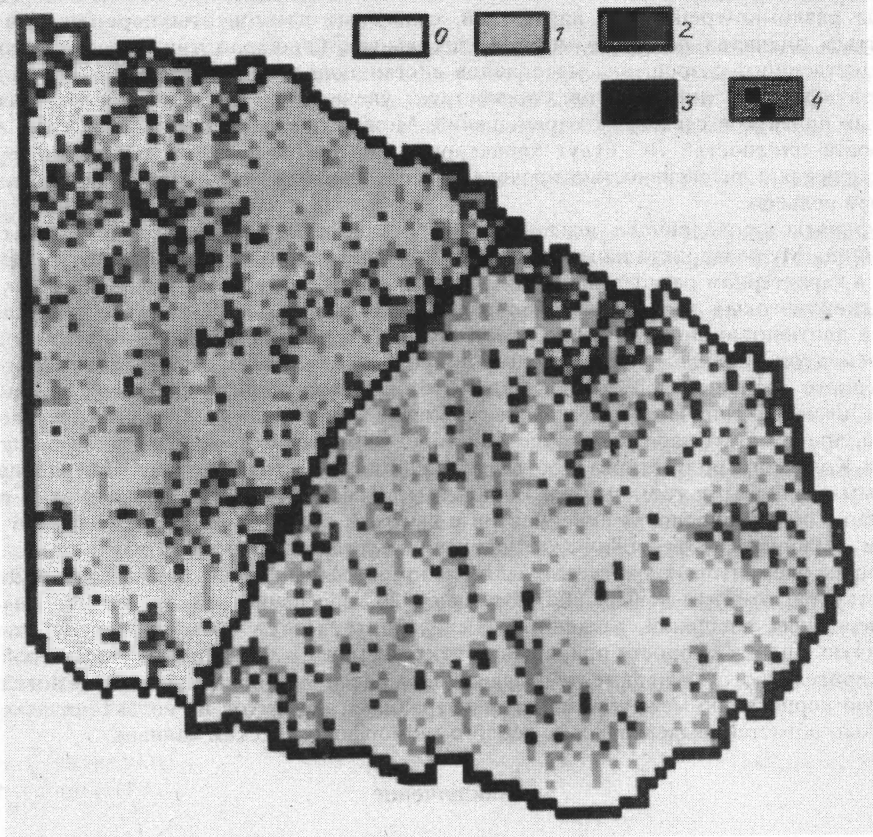


Рис. 3. Результат компьютерной обработки линейamentной сети в масштабе 1 : 500000, показывающий пространственное распределение плотностей оперяющих элементов в клетках регулярной сетки площадью 14 км^2

0 – отсутствие оперяющих элементов, 1–4 – прирост от 1 до 4 элементов в клетке соответственно. Условная граница неотектонических областей та же, что и на рис. 1

для скоростей роста – 3,32 и 1,25. Пространственное распределение плотностей оперяющих элементов в клетках размером 14 км^2 показано на рис. 3. Совместно с матрицами В и Г рис. 3 демонстрирует, что различие заключается не только в увеличении общего количества оперяющих звеньев, но и их концентрации. Действительно, соотношение клеток с одним оперяющим элементом (т.е. отношение сумм колонки 1 матрицы Г и матрицы В) составляет только 1,13, а для клеток с 4 элементами возрастает до 2,44. Следовательно, в западной части существенно больше клеток с повышенной плотностью оперяющих элементов.

Обсуждение результатов

Для интерпретации полученных результатов экспериментального исследования необходимо напомнить, что, как известно, разломы земной коры почти всегда обнаруживают как вертикальную, так и горизонтальную составляющие движения [17]. При полевых геоморфологических и геологических наблюдениях сравнительно просто обнаруживается вертикальная составляющая, особенно в тех случаях, когда по разломам образуются уступы в рельефе или смещаются лежащие слои. Значительно труднее при этом выявить горизонтальную составляющую, особенно направленную по простиранию сместителя, хотя имеются многочисленные свидетельства значительной роли сдвиговых перемещений при деформациях земной коры, в том числе, при новейших тектонических движениях и формировании

рельефа [18]. Вместе с тем ясно, что в строении ЛС, являющейся плановым изображением системы разломно-трещинных нарушений, сдвиговые компоненты перемещений могут выявляться значительно легче, чем вертикальные. Очевидно также, что увеличение пространственного разрешения материалов дистанционного зондирования, используемых для идентификации линеаментов, способствует увеличению числа и достоверности выявляемых признаков сдвиговых перемещений. Можно предполагать, что высокие показатели роста плотностей ЛС будут характерны для тех элементов ЛС, которые прямо коррелируются с интенсивностью проявления новейшей тектонической активности и морфологией рельефа.

Результаты проведенного исследования подтверждают справедливость этих предположений. Мультифрактальные свойства ЛС Кольского полуострова отражаются не только в характерном распределении плотностей линеаментов в ЛС двух масштабов, но и в мультискейлинговых характеристиках разных элементов ЛС. При этом для клеток с высокой плотностью линеаментов, соответствующих пересечениям или появлению оперяющих элементов, устанавливается разный прирост плотности ЛС при возрастании пространственного разрешения. В то же время этот прирост различается и для районов различных по неотектонической активности и морфологии рельефа. В данном случае такое отличие, причем статистически вполне значимое, установлено между западной и восточной частями Кольского полуострова, соответствующими двум неотектоническим районам, выделенным различными геоморфологическими методами. Важно подчеркнуть, что помимо повышения общей плотности линеаментов и высокой скорости роста числа пересечений в области активных неотектонических движений, установлен и быстрый прирост числа оперяющих элементов, характерных для разломов со сдвиговой компонентой. Это свидетельствует о том, что повышение разрешения ЛС обеспечивает возможность выявления горизонтальных смещений, а скейлинговые характеристики позволяют получать количественную оценку скорости приращения этих элементов в различных частях района. В случае проведенного эксперимента выявившиеся различия вполне отчетливо показывают значимую корреляцию между скейлингом оперяющих элементов и неотектонической подвижностью областей, выделенных по геолого-геоморфологическим данным.

Заключение

1. Проведенные на примере Кольского полуострова экспериментальные исследования показали, что районы, различающиеся по морфологии рельефа, интенсивности неотектонических движений и морфометрическим параметрам, характеризуются различными показателями роста определенных структурных элементов ЛС при увеличении разрешения.

2. Разработанная методика является по существу картометрическим способом анализа связи геоморфологических характеристик рельефа со структурой разломно-трещинной сети геологического субстрата, позволяющим выявлять сдвиговую компоненту неотектонических движений, выражающуюся в рисунке ЛС.

3. Скейлинг оперяющих элементов оказался параметром, который наиболее тесно связан с интенсивностью неотектонических подвижек и дифференцированностью рельефа. Значимость этой характеристики отображает большую роль горизонтальной (сдвиговой) компоненты перемещений по разломам, которая нередко является плановым индикатором вертикальных амплитуд рельефообразующих тектонических подвижек.

4. Изучение фрактальных свойств ЛС и, в частности, анализ мультискейлинга отдельных элементов ЛС может явиться новым инструментом оценки интенсивности и характера тектонических движений, коррелируемых со строением рельефа, неотектонической и, возможно, сейсмической активностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов И.П. Современные аспекты общей теории образования рельефа земной поверхности // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1982. № 5. С. 11–17.
2. Хаин В.Е. Мегарельеф Земли и тектоника литосферных плит // Геоморфология. 1989. № 3. С. 3–15.
3. Бронзулеев В. Вад. Крупнейшие формы рельефа Русской равнины и их связь со строением земной коры // Геоморфология. 1989. № 3. С. 15–24.
4. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988. 491 с.
5. Курбатова Л.С., Тимофеев Д.А. К познанию морфологической структуры рельефа: опыт картометрического анализа данных о расчлененности рельефа // Геоморфология, 1996. № 3. С. 62–71.

6. Hirata T. Fractal dimension of fault system in Japan: Fractal structure in rock fracture geometry at various scales // *Pageophys.* 1989. V. 131. № 1/2. P. 157–170.
7. Васильев Л.Н., Качалин А.Б., Моралев В.М., Терехов Е.Н. Фрактальные перколяционные кластеры в сети линеаментов, выявленных по космическим снимкам, и тектоническое районирование восточной части Балтийского щита // *Исслед. Земли из космоса.* 1994. № 5. С. 39–50.
8. Cowie P.A., Sornette D., Vanneste C. Multifractal scaling properties of a growing fault population // *Geophys. J. Int.* 1995. V. 122. № 2. P. 457–469.
9. Васильев Л.Н., Качалин А.Б., Моралев В.М. и др. Мультифрактальность плотности линеаментов // *Исслед. Земли из космоса.* 1996. № 2. С. 25–32.
10. Мусатов Ю.Е. Современная геодинамика Балтийского щита (на основе новых данных по Кольскому полуострову) // *Тектоника и геодинамика: общие и региональные аспекты.* М.: ГЕОС, 1998. Т. II. С. 53–56.
11. Мусатов Ю.Е. Рельеф и возможная природа неотектонических деформаций верхних частей литосферы // *Геоморфология.* 1996. № 1. С. 11–17.
12. Геоморфология Карелии и Кольского полуострова / Под ред. Легковой В.Г. и др. Л.: Недра, 1977. 183 с.
13. Земная кора восточной части Балтийского щита / Под ред. Кратца К.О. и др. Л.: Наука, 1978. 232 с.
14. Стрелков С.А. Морфоструктуры северо-восточной части Балтийского щита и основные закономерности их формирования // *Палеогеография и морфоструктуры Кольского полуострова Л.*: 1973. С. 5–80.
15. Бронгулеев В.Вад., Благоволин Н.С., Денисова Т.Б. и др. Некоторые особенности современной экзогеодинамики Русской равнины и вопросы ее картографирования // *Геоморфология.* 1977. № 3. С. 42–50.
16. Meakin P., Coniglio A., Stanley E. Scaling properties for the surfaces of fractal and nonfractal objects: An intimate hierarchy of critical exponents // *Physical Review. A.* 1986. V. 34. № 4. P. 3325–3340.
17. Лукьянов А.В. Горизонтальные движения по разломам, происходящие при современных катастрофических землетрясениях // *Разломы и горизонтальные движения земной коры.* М.: Изд-во АН СССР. Геол. ин-т АН СССР. Тр. 1963. Вып. 80. С. 34–112.
18. Сим Л.А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // *Изв. вузов. Геология и разведка.* 1991. № 10. С. 3–22.

Институт географии РАН,
Институт литосферы РАН

Поступила в редакцию
25.02.98

LANDFORMS, NEOTECTONIC MOVEMENTS AND MULTISCALING BEHAVIOUR OF LINEAMENT NETS (KOLA PENINSULAR AS AN EXAMPLE)

L.N. VASIL'EV, B.M. MORALEV, A.B. KACHALIN, E.N. TEREKHOV,
A.S. TYUFLIN

S u m m a r y

The results of the experimental study of the interrelation between geomorphological features and multiscaling behaviour of lineament nets in the scales 1 : 250000 and 1 : 500000 are presented. The scaling of fledg-faults was found to be the most indicative parameter for the intensity of neotectonic movements. The multiscaling study of lineament nets is considered to be an effective new tool for cartometric analysis of spatial morphological structure of the relief and for the estimation of neotectonic and possibly seismic activity.