

## ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

© 2011 г. М. В. Щепин

ЗАО “СофтЛайн Трейд”, Москва

E-mail: [scerpin\\_m@mail.ru](mailto:scerpin_m@mail.ru)

Поступила в редакцию 25.01.2010 г.

В статье представлен анализ возможности применения программного метода, реализованного в программе ALINA, для выявления предвестников землетрясений по результатам обработки изображений разновременных космических снимков исследуемого сейсмоактивного района, сделанных в период, предшествующий событию. Исследуется динамика границ перепада яркости. Представлены несколько вариантов программной обработки, результаты которой могут быть использованы при среднесрочном прогнозе события, среди которых особо следует выделить индикацию динамики события с прогнозированием эпицентра по выявленному кольцевым структурам. Данные результаты получены при обработке четырех разновременных космических снимков MODIS района землетрясения произошедшего 22.02.2003 г. в США.

**Ключевые слова:** предвестники землетрясения, космический снимок, программное средство ALINA

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из важнейших исследовательских задач является выявление дистанционными методами новых предвестников землетрясений и создание теории их прогноза. Определение места, интенсивности и времени возникновения события.

Возникающие напряжения в толще земной коры сейсмоактивного района в период, предшествующий событию, вызывают деформацию и изменение слоя земной коры в результате возникновения процесса трещинообразования. Данные процессы, косвенно отраженные на материалах космической съемки (КС) сейсмоактивного района, сделанной в период, предшествующий событию, могут всесторонне исследоваться и анализироваться с применением разнообразных программных средств и методов. Полученные результаты, которые могут быть интерпретированы как предвестники события, можно использовать при своевременном проведенной КС и программной обработке, для прогноза, приближающегося события.

В статье представлен программный метод, который может быть использован при проведении сейсмических исследований для решения задачи выявления предвестников землетрясений, отражающихся на материалах КС. Суть данной технологии заключается в анализе динамики границ перепада яркости изображений, разновременных космических снимков исследуемого сейсмоактивного района, сделанных в период, предшествующий событию, и получении результатов, которые могут быть

интерпретированы как предвестники события. Принципиальным отличием и достоинством данной технологии является комплексный анализ поля границ перепадов яркостей изображения района исследования, которое косвенно отражает глубинные процессы в толще земной коры, процессы активизации и рудообразования.

Представленные результаты являются первым шагом на пути создания методики автоматизированного выявления предвестников землетрясений на материалах КС с использованием технологии “Метод свернутых роз”, изложенной автором в предыдущих статьях. Метод реализован в программе анализа плановых изображений аэрокосмических снимков ALINA Copyright © 2000–2010 Михаил Щепин для операционных систем Windows 2000–Vista.

### МЕТОД СВЕРНУТЫХ РОЗ

В геологических и сейсмических исследованиях при анализе изображений аэрокосмических снимков часто используется так называемый анализ поля линеаментов – спрямленных участков границ перепадов яркости изображения. “Метод свернутых роз” – это оригинальный автоматизированный программный метод решения подобных задач, основанный не на анализе массива векторизованных прямых отрезков-штрихов, а на формировании и последующем анализе матрицы направлений, границ перепадов яркости изображения. Каждый элемент матрицы направлений имеет свою ориентацию, определенную функцией свертки розы – диа-

граммы заданной апертуры поля градиента яркости изображения, и соответствует отдельному пикселу исходного изображения. Данный метод позволяет эффективно и комплексно исследовать все поле границ перепада яркости изображения КС района исследования, информативность которого значительно выше информативности массива векторизованных прямых отрезков-штрихов, который используется при традиционном линеаментном анализе.

Особенности данной технологии – алгоритм формирования матрицы направлений и последовательность технологических операций программной обработки изображений и экспертного анализа полученных результатов подробно представлены автором в предыдущих статьях (Щепин и др., 2007; Щепин, Евдокимов, 2009).

#### *Выявление – векторизация структур и образов*

Программный анализ матрицы направлений – ключевой шаг метода. По результатам этого анализа производятся выявление линейных и кольцевых структур, распознавание образов, трассировка и векторизация выявленных структурных объектов.

В программе ALINA реализовано три алгоритма выявления радиально-концентрических кольцевых структур, алгоритм распознавания структурных образов и пять алгоритмов трассировки границ перепадов яркости.

Выявление кольцевых структур производится в режиме сканирования по матрице направлений скользящим окном, размер которого ограничен окружностью области анализируемой структуры. В программе на данный момент реализованы три алгоритма выявления кольцевых структур (“Абсолютный максимум”, “Вариационный ряд экстремумов” и “Алгоритм пороговых интервалов”).

**“Абсолютный максимум”.** Программа в процессе обработки матрицы направлений производит вычисление коэффициентов радиальной и концентрической составляющих анализируемой области и сохраняет в рабочем буфере вычисленные параметры, координаты центра и радиус области лишь в том случае, если сумма коэффициентов радиальных и концентрических составляющих данной области превышает предыдущее, вычисленное и сохраненное значения. Таким образом, по завершению счета в рабочем буфере программы будут сохранены параметры, координаты центра и радиус кольцевой структуры, имеющей абсолютный максимум суммы коэффициентов радиальной и концентрических составляющих.

**“Вариационный ряд экстремумов”.** Программа при обработке матрицы направлений формирует массив параметров кольцевых структур, суммарные радиальные и концентрические составляющие которых образуют отсортированный по возрастанию

вариационный ряд, и по завершению счета выбирает из сформированного массива определенное число структур.

**“Алгоритм пороговых интервалов”.** Программа производит вычисление коэффициентов радиальной и концентрической составляющих анализируемой области и при принадлежности вычисленных значений установленным пороговым интервалам идентифицирует область как искомую структуру.

Трассировка границ перепадов яркости выделенных структурных объектов может быть произведена пятью разными алгоритмами трассировки (“слепая”, “ориентированная”, “радиальная”, “концентрическая”, “радиально-концентрическая”).

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

### *Использованные материалы КС*

Для исследований использовались четыре фрагмента разновременных изображений MODIS с пространственным разрешением 250 м района землетрясения  $M = 5.2$ , произошедшего в пустыне Мохаве, штат Калифорния, США 22.02.2003 г. (рис. 5a). Даты съемки: 04.12.2002 г., 03.02.2003 г., 19.04.2003 г. и 25.06.2003 г. Размеры исходных фрагментов изображений и координаты их углов практически совпадают, что является непереносимым условием проводимых исследований.

### *Район исследований*

В качестве полигона для проведения данных исследований была выбрана территория сейсмоактивной зоны разлома Сан-Андреас на западном побережье Тихого океана (пустыня Мохаве, штат Калифорния, США).

### *Задача исследований*

Основной задачей данных исследований являлась оценка возможностей технологии “Метод свернутых роз” при анализе динамики границ перепадов яркости изображений, разновременной КС района события и получении результатов, которые можно интерпретировать в качестве предвестников события.

Над решением подобной исследовательской задачи последние годы работает группа специалистов под руководством акад. В.Г. Бондура и проф. А.Т. Зверева, опубликовавшая свои результаты в 2005 г. (Бондур, Зверев, 2005). Эта группа строит свои исследования на анализе поля линеаментов – спрямленных участков границ перепада яркости изображения космической съемки, – с использованием программы линеаментного анализа LESSA. Из результатов группы В.Г. Бондура следует, что деформация поля линеаментов исследуемого района, предшествующая событию, начинается

**Таблица 1.** Результаты векторизации границ перепада яркости алгоритмами “ориентированной” и “слепой” трассировок

Дата съемки	“Ориентированная” “согласная”		“Ориентированная” “секущая”		“Слепая” трассировка	
	Число объектов	Суммарная длина	Число объектов	Суммарная длина	Число объектов	Суммарная длина
04.12.2002	4777	151975	3533	82695	7494	315920
03.02.2003	4351	125641	4293	107163	7988	314381
19.04.2003	4424	134690	4058	99450	7795	300754
25.06.2003	4574	140729	3985	97139	7663	307251

примерно за три месяца до события, достигая максимума непосредственно перед событием, и в течение трех месяцев после события постепенно исчезает. Проверка результатов группы В.Г. Бондура явилась составной частью задачи проведенных исследований.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

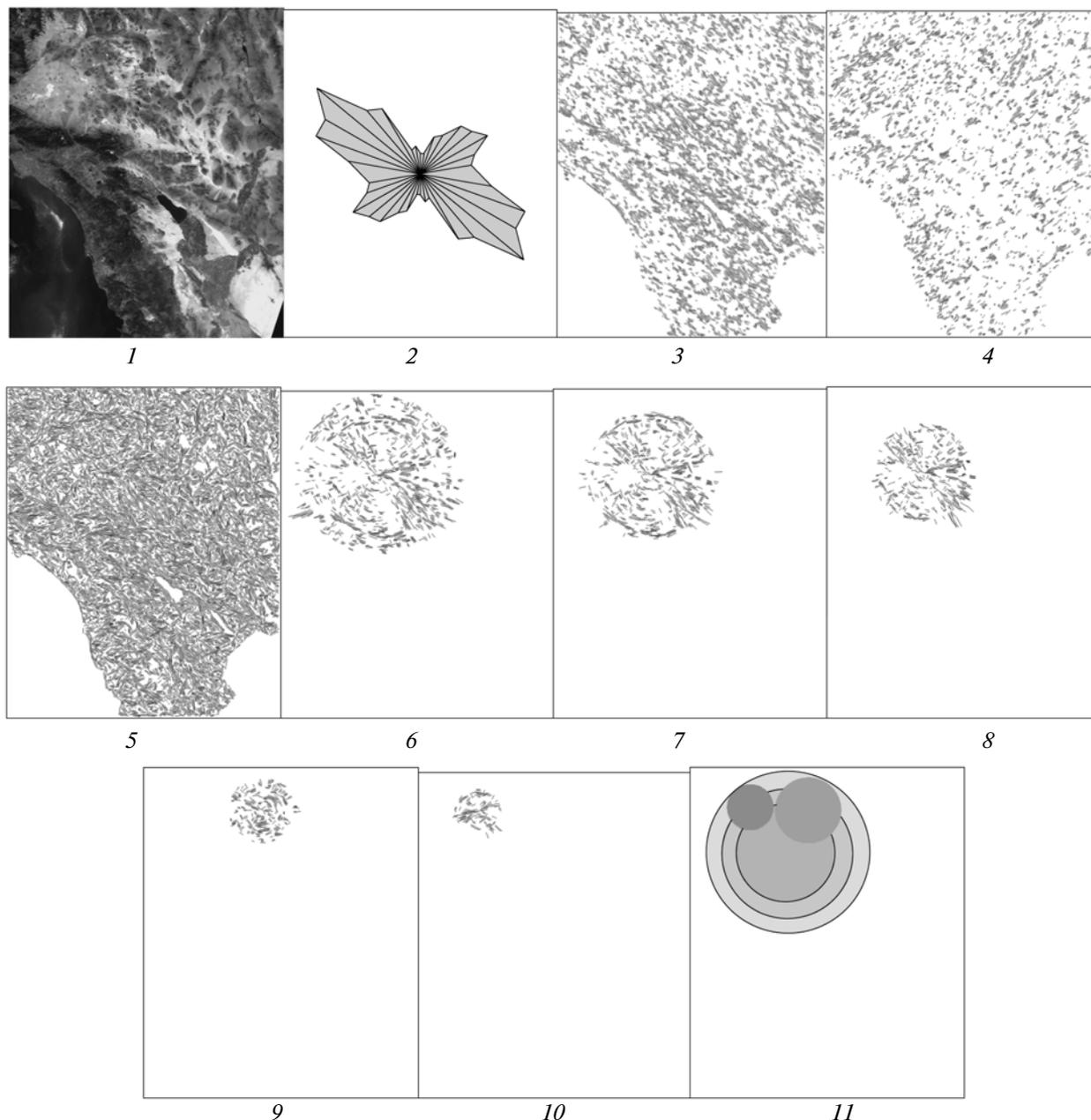
В процессе исследований вначале были проведены основные операции технологии “Метод свернутых роз”: сформированы матрицы направлений, произведена “слепая” трассировка границ перепада яркости и построены суммарные розы – диаграммы ориентации границ перепада яркости. Из результатов группы В.Г. Бондура известно, что основным критерием их исследований являлась количественная оценка “согласных” и “секущих” штрихов относительно разлома Сан-Андреас, выделенных программой LESSA, отраженная в розах-диаграммах. Естественно, проводя исследования с применением технологии “Метод свернутых роз”, было интересно это проверить.

Анализируя построенные суммарные розы-диаграммы границ перепада яркости (см. рис. 5в) хорошо видно, что роза, построенная для фрагмента съемки 04.12.2002 г. (80 дней до события), имеет наиболее сильную составляющую, ориентированную вдоль разлома, и минимальную “секущую” его. Роза, построенная для фрагмента съемки 03.02.2003 г. (19 дней до события), имеет максимальную составляющую из всех роз “секущую” разлом Сан-Андреас, что говорит о максимальной деформации поля границ перепада яркости и в целом подтверждает результаты исследований группы В.Г. Бондура

Аналогичный, но значительно более обоснованный вывод можно сделать, проводя дальнейшие ис-

следования по технологии “Метод свернутых роз” и анализируя результаты “слепой” и “ориентированной” трассировок. Векторизованные линии границ перепада яркости отображают силовые линии поля градиента яркости обработанного изображения, отражая динамику его изменения и деформации. Из полученных результатов следует (табл. 1; рис. 1–4 (поля 3, 4, 14, 15, 25, 26, 36, 37); рис. 6 и 7), что при “ориентированной” трассировке суммарная длина векторизованных линейных объектов в секторе, “согласном” с ориентацией разлома, максимальна –  $L = 151975$  – для фрагмента съемки 04.12.2002 г. (80 дней до события) и минимальна –  $L = 125641$  – для фрагмента съемки 03.02.2003 г. (19 дней до события). При “ориентированной” трассировке в “секущем” секторе разлома суммарная длина векторизованных линейных объектов минимальна –  $L = 82695$  – для фрагмента съемки 04.12.2002 г. и максимальна –  $L = 107163$  – для фрагмента съемки 03.02.2003 г. При “слепой” трассировке (рис. 1–4 (поля 5, 16, 27, 38)) суммарные длины векторизованных линейных объектов фрагментов съемки до события 04.12.2002 г. и 03.02.2003 г. превышают суммарные длины векторизованных линейных объектов фрагментов съемки после события 19.04.2003 г. и 25.06.2003 г., причем число векторизованных объектов для фрагмента съемки 03.02.2003 г. является максимальным, что говорит о максимальной деформации поля границ перепада яркости для данного фрагмента съемки.

Далее исследования велись в направлении выявления радиально-концентрических кольцевых структур на разновременных снимках, сравнительной оценки их характеристик и расположения. И в этом направлении был получен самый интересный результат.

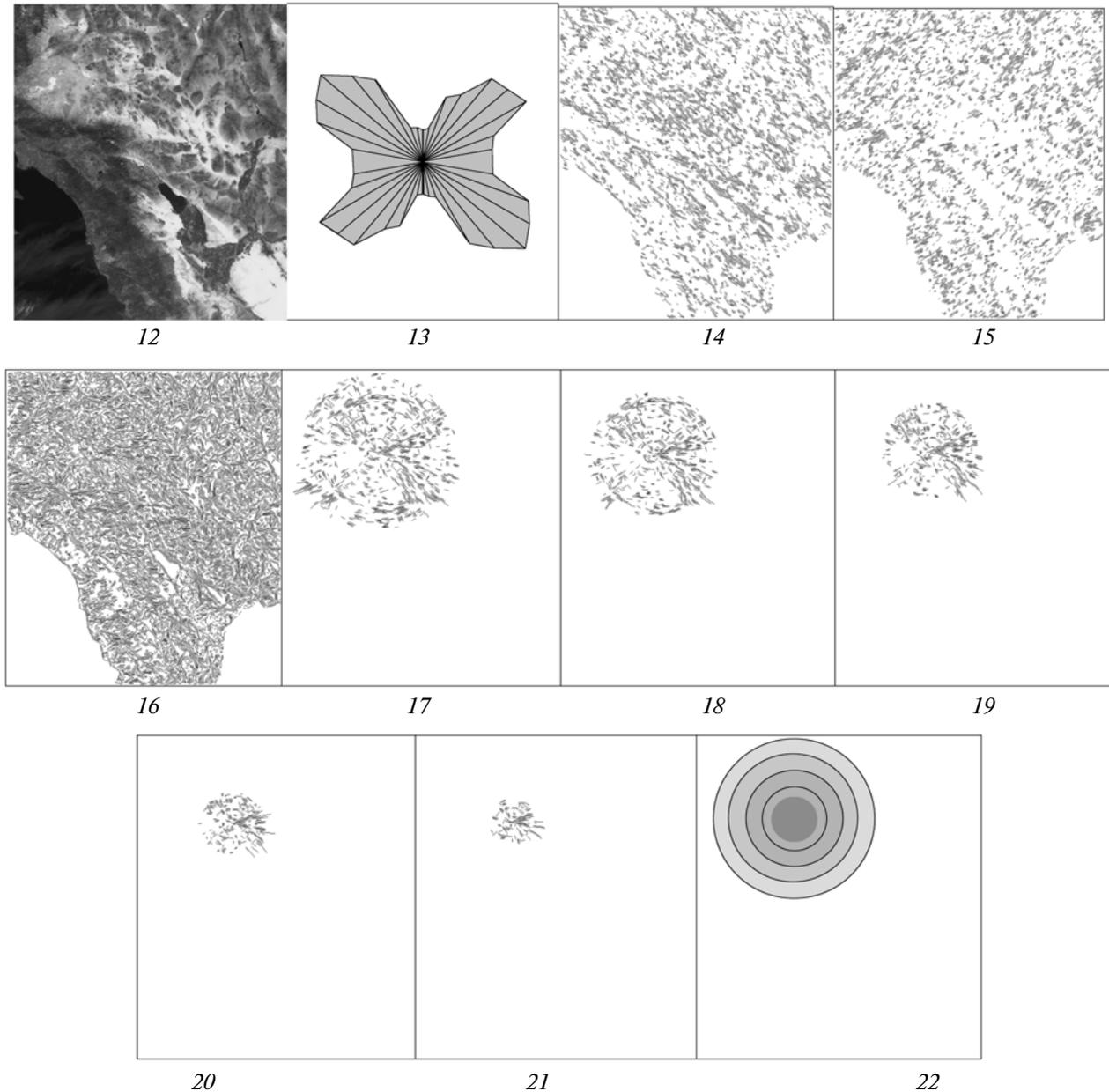


**Рис. 1.** Результаты программной обработки изображения MODIS 04.12.2002 г. (80 дней до события): 1 – фрагмент изображения MODIS; 2 – суммарная роза-диаграмма ориентации границ перепада яркости; 3 – векторизованные линейные объекты “согласная” трассировка ( $N = 4777$ ,  $L = 151975$ ); 4 – векторизованные линейные объекты “секущая” трассировка ( $N = 3533$ ,  $L = 82695$ ); 5 – векторизованные линейные объекты “слепая” трассировка ( $N = 7494$ ,  $L = 315920$ ); 6 – выявленная кольцевая структура  $D = 250$  км ( $KR = 106$ ,  $KK = 91$ ); 7 – выявленная кольцевая структура диаметром 200 км ( $KR = 110$ ,  $KK = 94$ ); 8 – выявленная кольцевая структура диаметром 150 км ( $KR = 125$ ,  $KK = 86$ ); 9 – выявленная кольцевая структура диаметром 100 км ( $KR = 100$ ,  $KK = 125$ ); 10 – выявленная кольцевая структура  $D = 70$  км ( $KR = 132$ ,  $KK = 113$ ); 11 – круговые области пяти кольцевых структур  $D = 250$ , 200, 150, 100 и 70 км, последовательно выявленные программой (центры трех кольцевых структур совпадают с эпицентром события).

### *Кольцевые структуры – предвестники и индикаторы события*

Естественно предположить, что возникающая деформация поля границ перепада яркости изображения КС в период, предшествующий событию, имеет достаточно сложный характер и для ее все-

стороннего исследования явно недостаточно оценивать только “согласную” и “секущую” разлом составляющие. Естественно также предположить, что эпицентр события, до его возникновения, является центром силового поля, которое косвенно отражено полем границ перепада яркости изображения, и

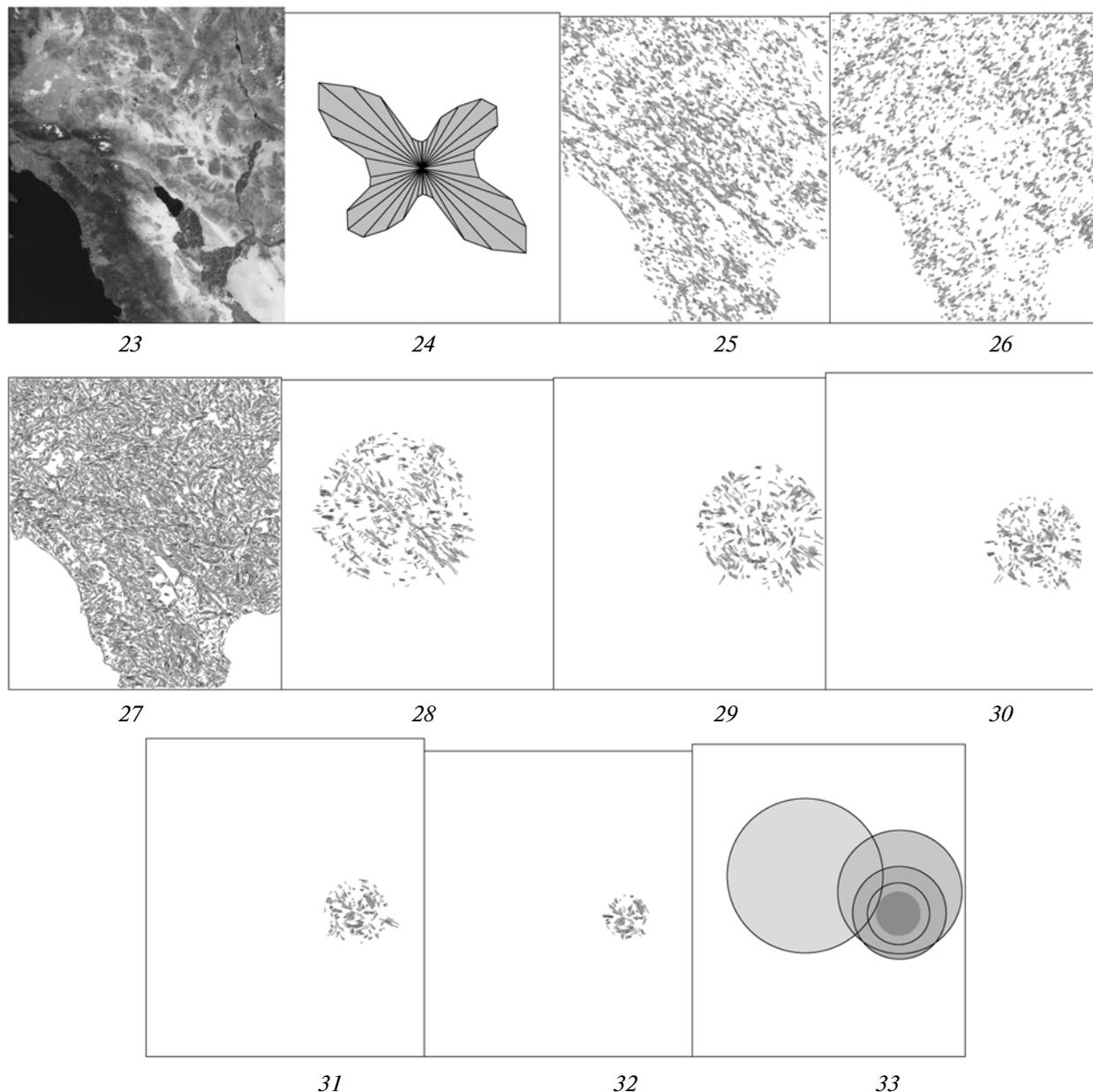


**Рис. 2.** Результаты программной обработки изображения MODIS 03.02.2003 г. (19 дней до события): 12 – фрагмент изображения MODIS; 13 – суммарная роза-диаграмма ориентации границ перепада яркости; 14 – векторизованные линейные объекты “согласная” трассировка ( $N = 4351$ ,  $L = 125641$ ); 15 – векторизованные линейные объекты “секущая” трассировка ( $N = 4293$ ,  $L = 107163$ ); 16 – векторизованные линейные объекты “слепая” трассировка ( $N = 7988$ ,  $L = 314381$ ); 17 – выявленная кольцевая структура  $D = 250$  км ( $KR = 116$ ,  $KK = 90$ ); 18 – выявленная кольцевая структура  $D = 200$  км ( $KR = 118$ ,  $KK = 91$ ); 19 – выявленная кольцевая структура  $D = 150$  км ( $KR = 131$ ,  $KK = 84$ ); 20 – выявленная кольцевая структура  $D = 100$  км ( $KR = 146$ ,  $KK = 89$ ); 21 – выявленная кольцевая структура  $D = 70$  км ( $KR = 152$ ,  $KK = 96$ ); 22 – круговые области пяти кольцевых структур  $D = 250, 200, 150, 100$  и  $70$  км, последовательно выявленные программой (центры всех пяти кольцевых структур совпадают с эпицентром).

данное поле может быть отображено в виде радиально-концентрической кольцевой структуры.

Дальнейшие исследования велись в направлении выявления радиально-концентрических кольцевых структур с использованием алгоритма “Абсолютный максимум”. Для каждого фрагмента изоб-

ражения были последовательно выявлены пять кольцевых структур разных диаметров (250, 200, 150, 100 и 70 км) и произведена сравнительная оценка их расположения (рис. 1–4 (поля 11, 22, 33, 44) и характеристик (табл. 2; рис. 1–4 (поля 6–10, 17–21, 28–32, 39–43); рис. 8 и 9).



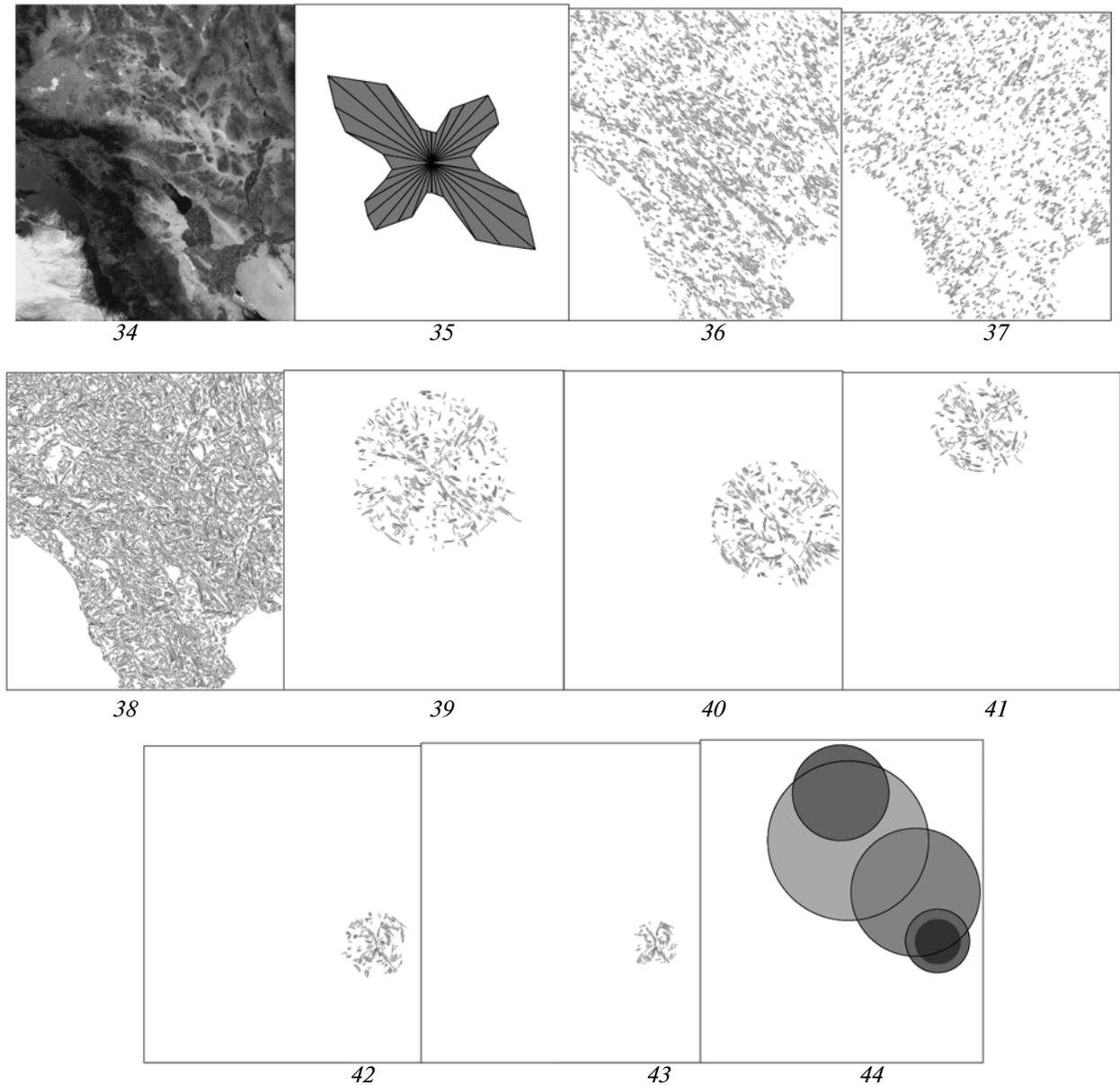
**Рис. 3.** Результаты программной обработки изображения MODIS 19.04.2003 г. (56 дней после события): 23 – фрагмент изображения MODIS; 24 – суммарная роза-диаграмма ориентации границ перепада яркости; 25 – векторизованные линейные объекты “согласная” трассировка ( $N = 4424$ ,  $L = 134690$ ); 26 – векторизованные линейные объекты “секущая” трассировка ( $N = 4058$ ,  $L = 99450$ ); 27 – векторизованные линейные объекты “слепая” трассировка ( $N = 7795$ ,  $L = 300754$ ); 28 – выявленная кольцевая структура  $D = 250$  км ( $KR = 100$ ,  $KK = 89$ ); 29 – выявленная кольцевая структура  $D = 200$  км ( $KR = 109$ ,  $KK = 85$ ); 30 – выявленная кольцевая структура  $D = 150$  км ( $KR = 114$ ,  $KK = 87$ ); 31 – выявленная кольцевая структура  $D = 100$  км ( $KR = 125$ ,  $KK = 103$ ); 32 – выявленная кольцевая структура  $D = 70$  км ( $KR = 141$ ,  $KK = 106$ ); 33 – круговые области пяти кольцевых структур  $D = 250$ , 200, 150, 100 и 70 км, последовательно выявленные программой (ни один из центров кольцевых структур не совпадает с эпицентром).

Было установлено, что:

1) суммарные коэффициенты радиальных и концентрических составляющих всех пяти выявленных кольцевых структур для фрагмента изображения от 03.02.2003 г. (19 дней до события) являются макси-

мальными из всех выявленных на четырех фрагментах съемки кольцевых структур соответствующих диаметров (табл. 2, рис. 8 и 9);

2) центры всех пяти выявленных кольцевых структур для фрагмента съемки 03.02.2003 г. (19 дней

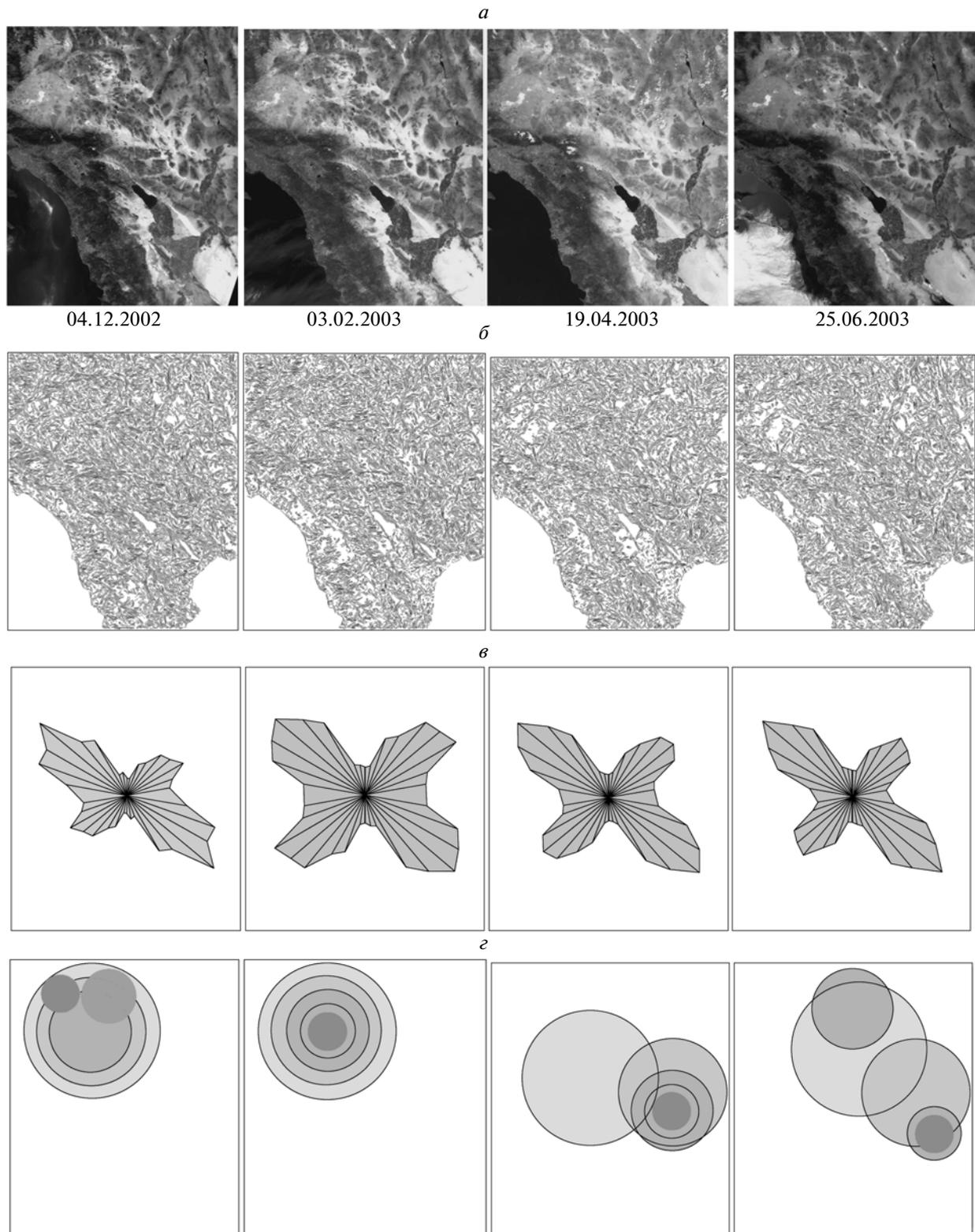


**Рис. 4.** Результаты программной обработки изображения MODIS 25.06.2003 г. (три месяца после события): 34 – фрагмент изображения MODIS; 35 – суммарная роза-диаграмма ориентации границ перепада яркости; 36 – векторизованные линейные объекты “согласная” трассировка ( $N = 4574$ ,  $L = 140729$ ); 37 – векторизованные линейные объекты “секущая” трассировка ( $N = 3985$ ,  $L = 97139$ ); 38 – векторизованные линейные объекты “слепая” трассировка ( $N = 7663$ ,  $L = 307251$ ); 39 – выявленная кольцевая структура  $D = 250$  км ( $KR = 93$ ,  $KK = 94$ ); 40 – выявленная кольцевая структура  $D = 200$  км ( $KR = 109$ ,  $KK = 82$ ); 41 – выявленная кольцевая структура  $D = 150$  км ( $KR = 96$ ,  $KK = 106$ ); 42 – выявленная кольцевая структура  $D = 100$  км ( $KR = 123$ ,  $KK = 108$ ); 43 – выявленная кольцевая структура  $D = 70$  км ( $KR = 135$ ,  $KK = 112$ ); 44 – круговые области пяти кольцевых структур  $D = 250, 200, 150, 100$  и  $70$  км, последовательно выявленные программой (ни один из центров кольцевых структур не совпадает с эпицентром события).

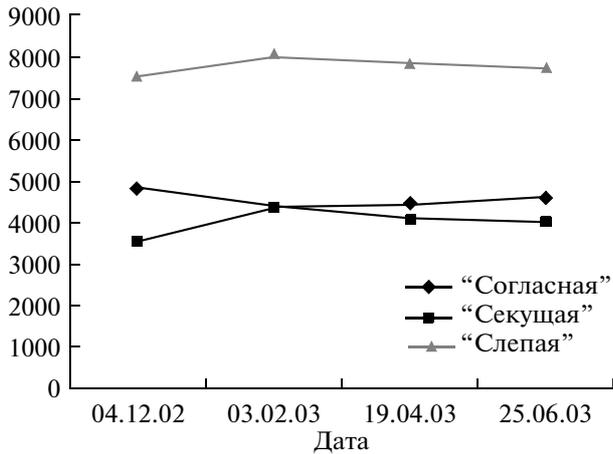
до события) примерно совпадают, приблизительно совпадая с эпицентром произошедшего события (рис. 2 (поле 22)). Для фрагмента изображения от 14.12.02 (80 дней до события), три из пяти выявленных кольцевых структур ( $D = 250, 200$  и  $150$  км) име-

ют центр, приблизительно совпадающий с эпицентром события (рис. 1 (поле 11));

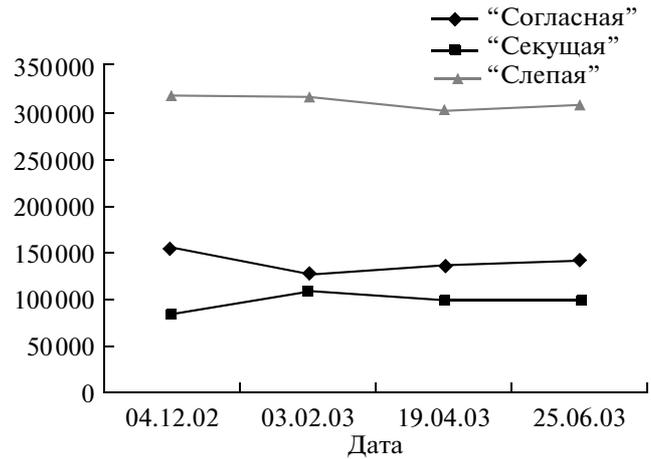
3) динамика изменения коэффициентов радиальных и концентрических составляющих выявленных структур такова, что по мере приближения



**Рис. 5.** Результаты программной обработки четырех разновременных изображений MODIS: *a* – фрагменты изображений MODIS; *b* – векторизация границ перепада яркости; *в* – суммарные розы-диаграммы; *г* – круговые области выявленных кольцевых структур диаметром 250, 200, 150, 100 и 70 км (для снимка 03.02.2003 г. центра всех пяти КС совпадают с эпицентром).



**Рис. 6.** Графики изменения числа векторизованных объектов в результате программной обработки четырех одновременных изображений MODIS, при «согласной», «секущей» и «слепой» трассировках (табл. 1).



**Рис. 7.** Графики изменения суммарных длин векторизованных объектов в результате программной обработки четырех одновременных изображений MODIS, при «согласной», «секущей» и «слепой» трассировках (табл. 1).

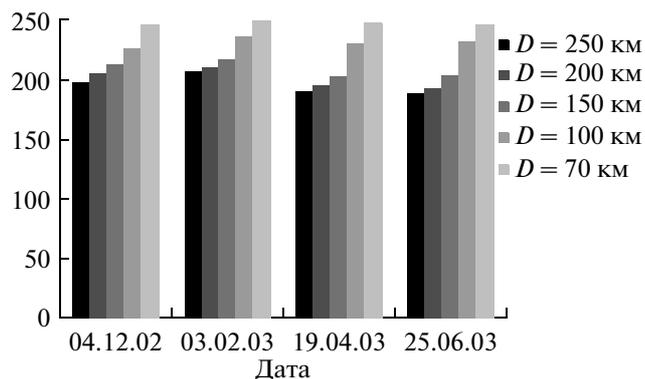
события данные коэффициенты возрастают, а по его завершению начинают падать (табл. 2, рис. 8 и 9).

Все изложенное выше позволяет высказать предположение, что напряженное состояние среды приближающегося события, косвенно отраженное на материалах космической съемки района события и отображенное полем границ перепада яркости изображения космической съемки, отображается в виде

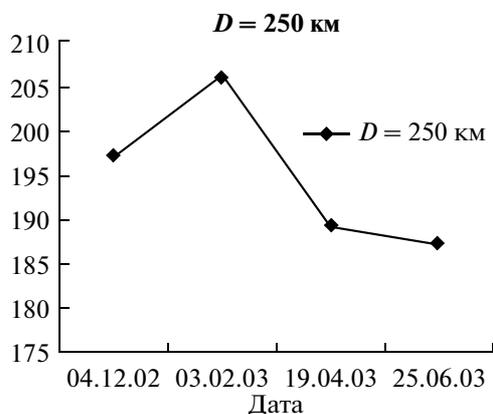
радиально-концентрической кольцевой структуры, центр которой приблизительно совпадает с эпицентром события. По мере приближения события радиальные и концентрические составляющие данной кольцевой структуры усиливаются, достигая максимального значения непосредственно перед событием, кольцевая структура приобретает наиболее ярко выраженный вид. После произошедшего события

**Таблица 2.** Коэффициенты радиальной *KR*- и концентрической *KK*-составляющих, выявленных программой по алгоритму «Абсолютный максимум» кольцевых структур диаметрами 250, 200, 150, 100 и 70 км

Дата съемки	<i>D</i> = 250 км		<i>D</i> = 200 км		<i>D</i> = 150 км		<i>D</i> = 100 км		<i>D</i> = 70 км	
	<i>KR</i>	<i>KK</i>	<i>KR</i>	<i>KK</i>	<i>KR</i>	<i>KK</i>	<i>KR</i>	<i>KK</i>	<i>KR</i>	<i>KK</i>
04.12.2002	106	91	110	94	125	86	100	125	132	113
03.02.2003	116	90	118	91	131	84	146	89	152	96
19.04.2003	100	89	109	85	114	87	125	103	141	106
25.06.2003	93	94	109	82	96	106	123	108	135	112



**Рис. 8.** Гистограммы изменения суммарных радиально-концентрических коэффициентов ( $KR + KK$ ) пяти кольцевых структур  $D = 250, 200, 150, 100$  и  $70$  км, последовательно выявленных с использованием алгоритма “Абсолютный максимум” в результате программной обработки четырех изображений MODIS района события (табл. 2).



**Рис. 9.** График изменения суммарного радиально-концентрического коэффициента ( $KR + KK$ ) четырех кольцевых структур  $D = 250$  км, последовательно выявленных с использованием алгоритма “Абсолютный максимум” в результате программной обработки изображений четырех одновременных изображений MODIS (табл. 2).

радиальные и концентрические составляющие данной кольцевой структуры слабеют, и кольцевая структура постепенно исчезает.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования с применением технологии “Метод свернутых роз” по выявлению предвестников землетрясений по результатам обработки программой ALINA изображений одновременных космических снимков MODIS, района землетрясения  $M = 5.2$ , произошедшего 22.02.2003 г. в пустыне Мохаве, штат Калифорния, США, позволили сделать следующие выводы.

1. По мере приближения события, возникающие напряжения вызывают деформацию и изменение верхнего слоя земной коры. Данные изменения

отображаются полем границ перепада яркости изображений района события. Анализ динамики этого поля для одновременных космических снимков, сделанных в период активной деформации, предшествующей событию, дает возможность выявлять предвестники события при проведении своевременной программной обработки и использовать полученные данные в теории прогноза.

2. Технология “Метод свернутых роз” явилась эффективным инструментом проведенных исследований, позволив получить ряд разнообразных интересных результатов.

3. Деформация поля границ перепада яркости исследуемых изображений хорошо видна на суммарных розах-диаграммах границ перепада яркости (рис. 5а). Роза, построенная для фрагмента съемки 14.12.2002 г. (80 дней до события), имеет максимальную составляющую, “согласную” с ориентацией разлома Сан-Андреас, а роза, построенная для фрагмента съемки 03.02.2003 г. (19 дней до события), имеет максимальную составляющую, “секущую” разлом.

4. Значительно более точную оценку “согласных” и “секущих” разлом составляющих поля границ перепада яркости можно получить, анализируя результаты “ориентированной” трассировки (табл. 1). Из полученных результатов следует, что при “ориентированной” трассировке суммарная длина векторизованных линейных объектов в секторе, “согласном” с ориентацией разлома, максимальна для фрагмента съемки 04.12.2002 г. (80 дней до события) и минимальна для фрагмента съемки 03.02.2003 г. (19 дней до события). При “ориентированной” трассировке в “секущем” секторе суммарная длина векторизованных линейных объектов минимальна для фрагмента съемки 04.12.2002 г. и максимальна для фрагмента съемки 03.02.2003 г.

5. Суммарные коэффициенты радиальных и концентрических составляющих всех пяти выявленных по алгоритму “Абсолютный максимум” кольцевых структур для фрагмента съемки 03.02.2003 г. (19 дней до события) являются максимальными из всех выявленных на четырех фрагментах КС кольцевых структур соответствующих диаметров (табл. 2., рис. 8 и 9).

6. Центры всех пяти выявленных кольцевых структур для фрагмента съемки 03.02.2003 г. (19 дней до события) примерно совпадают, приблизительно совпадая с эпицентром произошедшего события (см. рис. 2 (поле 22)). Для фрагмента съемки 14.12.2002 г. (80 дней до события) три из пяти выявленных кольцевых структур ( $D = 250, 200$  и  $150$  км) имеют центр, приблизительно совпадающий с эпицентром события (см. рис. 1 (поле 11)).

7. Динамика изменения суммарных коэффициентов радиальных и концентрических составляющих ( $KR + KK$ ) выявленных структур такова, что по

мере приближения события данные суммарные коэффициенты возрастают, а по его завершению начинают падать (табл. 2, рис. 8 и 9). Особенно хорошо эта динамика проявилась при выявлении структур максимального диаметра 250 км (рис. 9).

Представленные результаты следует рассматривать как исследовательский поиск по созданию методики автоматизированного выявления предвестников землетрясений на материалах КС в период, предшествующий событию, и использованию полученных результатов для среднесрочного прогноза события.

Представляется целесообразным вести дальнейшие исследования в этом направлении с применением технологии “Метод свернутых роз”, уделив особое внимание выявлению и анализу радиально-концентрических кольцевых структур. В случае устойчивого подтверждения полученных результатов при проведении дальнейших исследований, кольцевые структуры, выявляемые на материалах КС в период активной, предшествующей событию деформации поля границ перепада яркости, могут быть использованы как индикатор и предвестник приближающегося события. И в этом случае данные результаты можно с успехом использовать в

теории прогноза, определения места, интенсивности и времени события.

Представленные в статье результаты — первый шаг на пути создания методики автоматизированного выявления предвестников землетрясений на материалах разновременной КС сейсмоактивного района, сделанной в период предшествующей событию деформации поля границ перепада яркости и использования полученных результатов для среднесрочного прогноза события.

Технология “Метод свернутых роз” является эффективным инструментом данных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондур В.Г., Зверев А.Т.* Космический метод прогноза землетрясений на основе анализа динамики систем линеаментов // Исслед. 2005. № 3. С. 37–52.
- Щепин М.В., Евдокимов С.В.* Выявление алмазоносных кимберлитов на материалах космической съемки // Исслед. Земли из космоса. 2009. № 4. С. 71–77.
- Щепин М.В., Евдокимов С.В., Головченко Ю.В.* Выявление кольцевых структур по результатам обработки изображений космических снимков // Исслед. Земли из космоса. 2007. №4. С. 74–87.

## Revealing of Harbingers of Earthquakes by Results of Software Processing of Space Pictures

M. V. Schepin

*“Sofiline”, Moscow*

In article the analysis of possibility of application of a program method realized in program ALINA for revealing of earthquake harbingers by results of space images processing of investigated seismoactive area occurring at different times made during the period previous event is presented, dynamics of borders of difference of brightness is investigated. Some variants of the program processing which results can be used at the intermediate term forecast of event among which especially it is necessary to allocate indication of dynamics of event with epicenter forecasting on the revealed ring structures are presented. Given results are received at processing of four MODIS images earthquake area of an event occurring at different times 22.02.2003 in the USA.

**Keywords:** earthquake harbingers, space image, software ALINA