

Использование градиентной матрицы для анализа данных EBSD

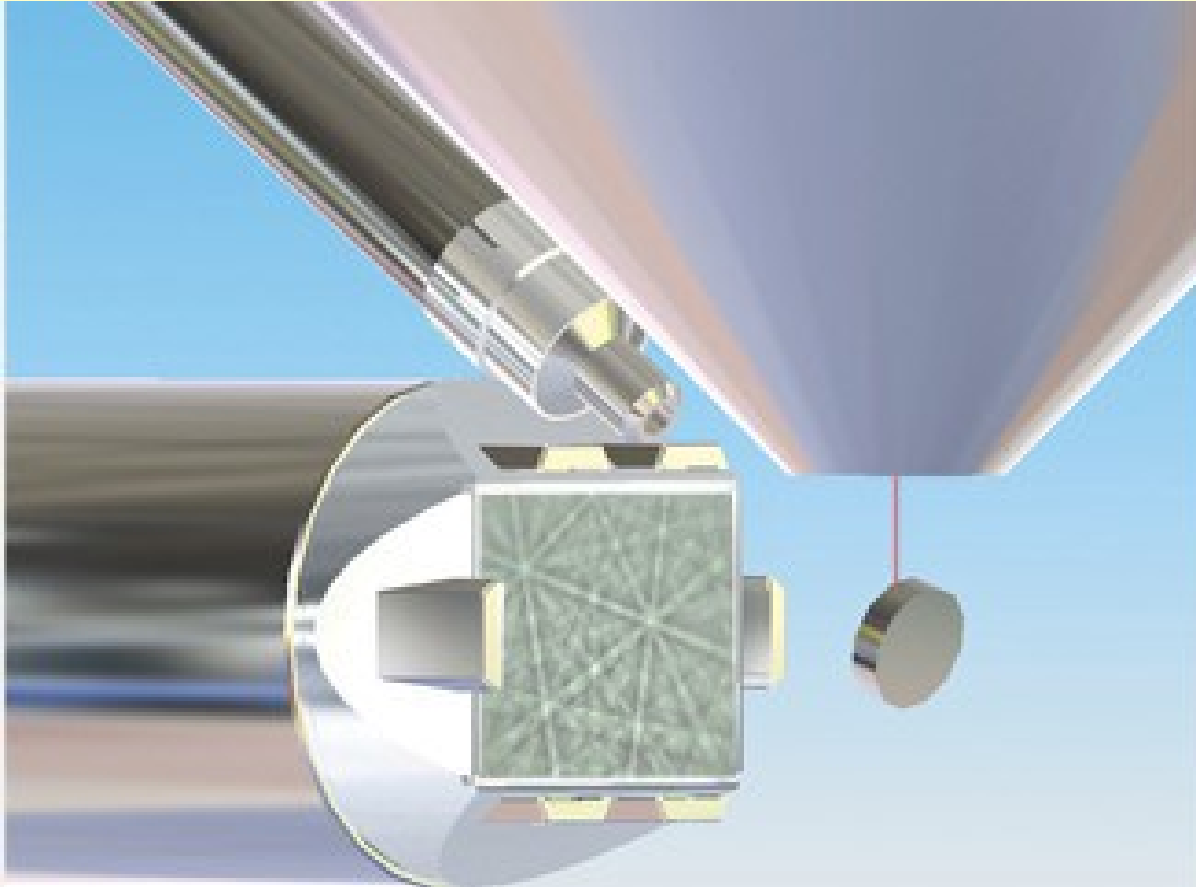
Выполнила студентка гр.43602/3

Научный руководитель, аспирант

М. Ю. Кравченко

С. Н. Панпурин

EBSD



Для работы системы EBSD необходимы:
SEM, устройство регистрации
Кикучи-картин (детектор и CCD-камера),
ПО для анализа полученных данных.

Требования:

- строгое соблюдение угла наклона с горизонталью 70° ;
- достаточно высокий контраст Кикучи-картины для успешного индексирования;
- чистота поверхности образца.

Поставленная цель и сопутствующие задачи

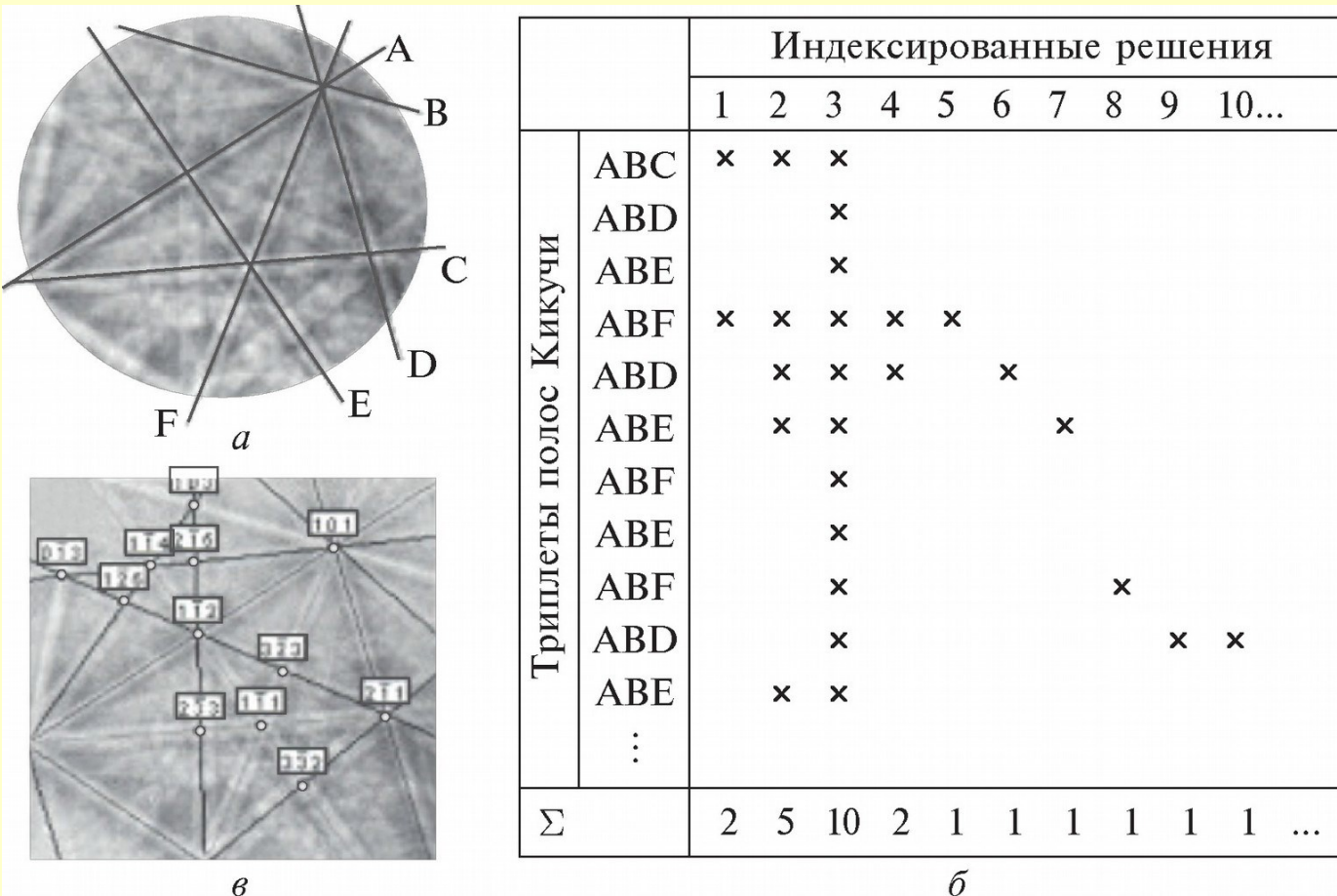
Цель: изучение возможности использования градиентных матриц, рассчитанных на основании данных EBSD, для анализа субструктуры в образцах из стали.

Задачи:

- удаление ориентировок в плохо индексированных точках с их последующим восстановлением на основе ориентаций ближайших соседей;
- расчет градиентной матрицы для точки с помощью 6 и 12 ближайших соседей;
- тестирование алгоритма на смоделированных данных с заданным распределением ориентацией;
- сравнение с данными, полученными с помощью встроенного в пакет MTEX способа расчета средней разориентации вокруг точки (КАМ) на реальных образцах аустенитной нержавеющей стали.

Выходные данные EBSD анализа.

Показатель достоверности (CI)



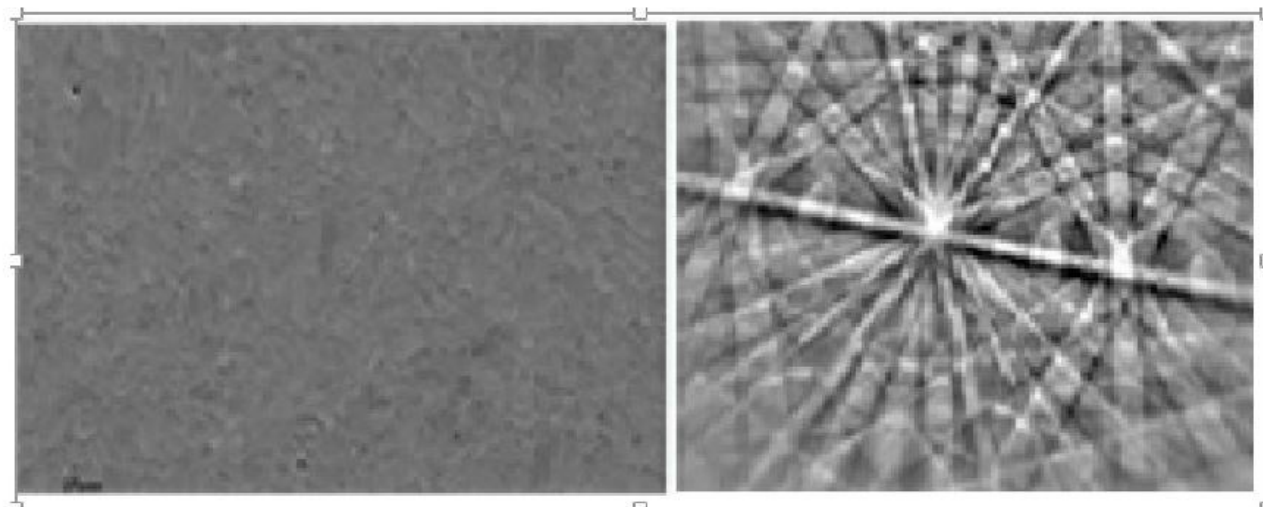
Величина C_I задается как

$$CI = \frac{V_1 - V_2}{V_{ideal}}$$

где V_1 и V_2 – количество голосов, приходящихся на первое и второе решение,
 $VIDEAL$ – это максимально возможное число голосов

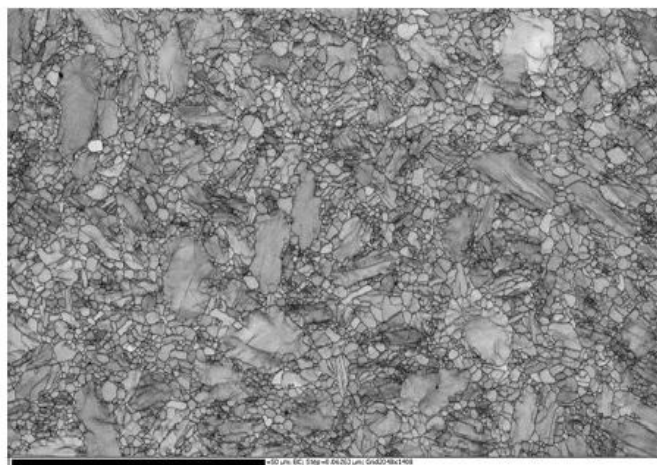
Иллюстрация схемы голосования для индексирования

Выходные данные EBSD анализа



а).

б).



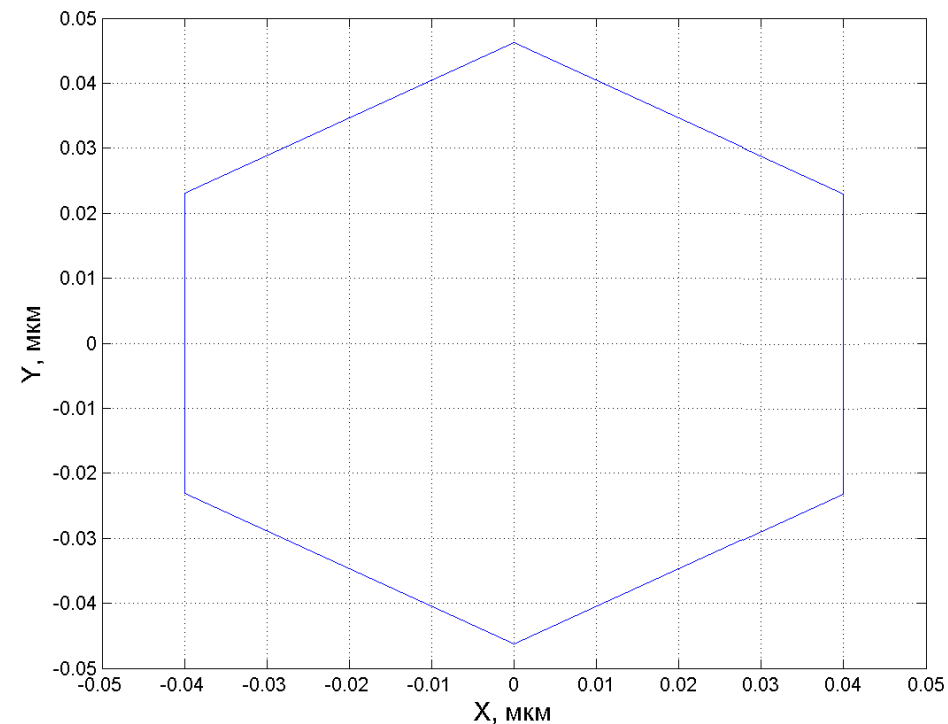
в).

Рис.10 . Пример представления поверхности образца

а) Пример поверхности образца, снятого с помощью SEM

б) Дифракционная картина Кикучи

в) Карта IQ



**Пример гексагональной
сетки сканирования**

Градиентная матрица

$$R = \begin{pmatrix} x^{(1)} & x^{(2)} & \dots & x^{(N)} \\ y^{(1)} & y^{(2)} & \dots & y^{(N)} \\ z^{(1)} & z^{(2)} & \dots & z^{(N)} \end{pmatrix}$$

$$U = \begin{pmatrix} u_x^{(1)} & u_x^{(2)} & \dots & u_x^{(N)} \\ u_y^{(1)} & u_y^{(2)} & \dots & u_y^{(N)} \\ u_z^{(1)} & u_z^{(2)} & \dots & u_z^{(N)} \end{pmatrix}.$$

По аналогии для непрерывного поля $u(r)$, где градиент может быть описан тензором (матрица 3x3):

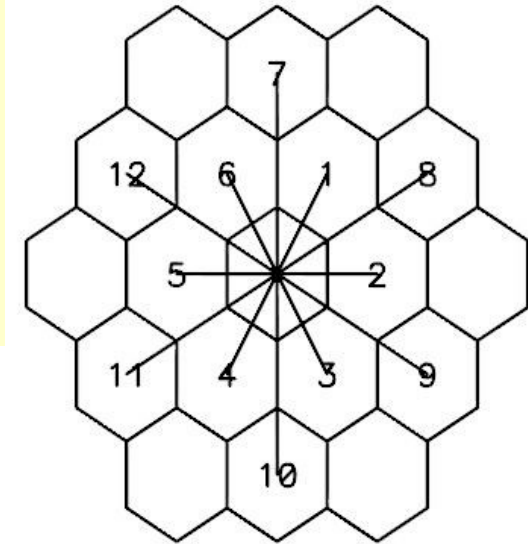
$$L = \nabla u, \quad (2.9)$$

запишем градиентную матрицу:

$$L = (U \tilde{\nabla})^T, \quad (2.10)$$

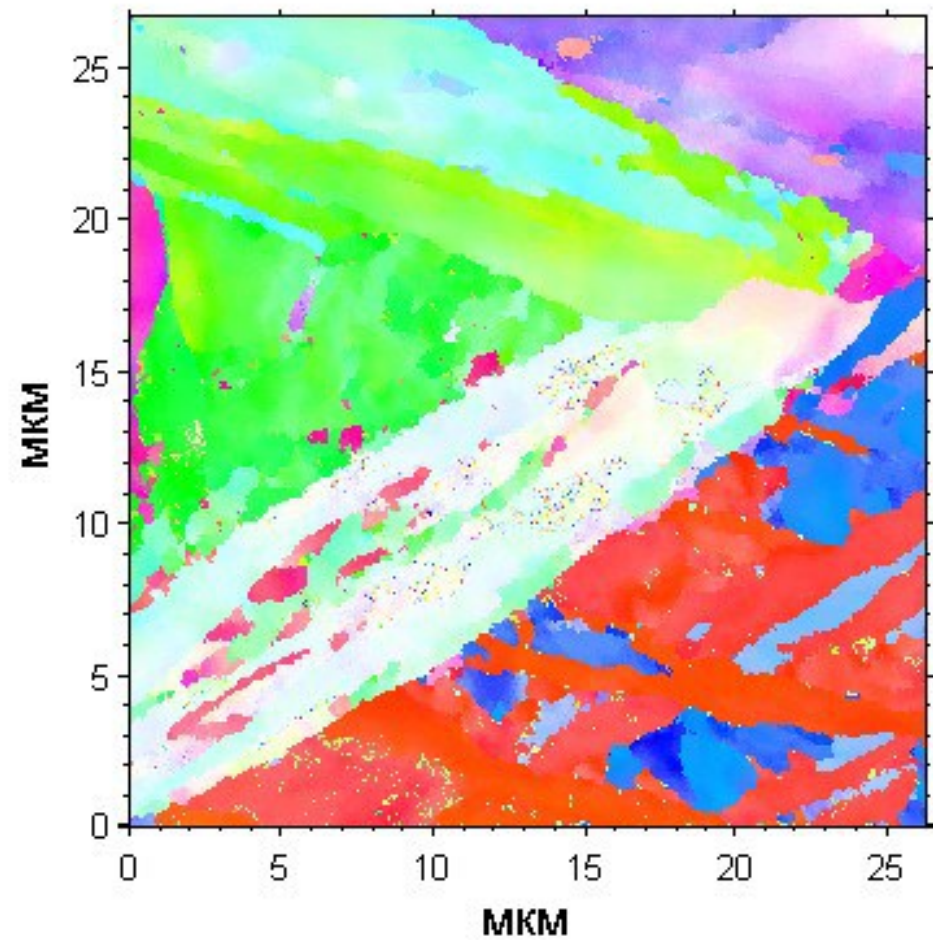
где $\tilde{\nabla}$ выражается как:

$$\tilde{\nabla} = R^T (R R^T)^{-1}, \quad (2.11)$$

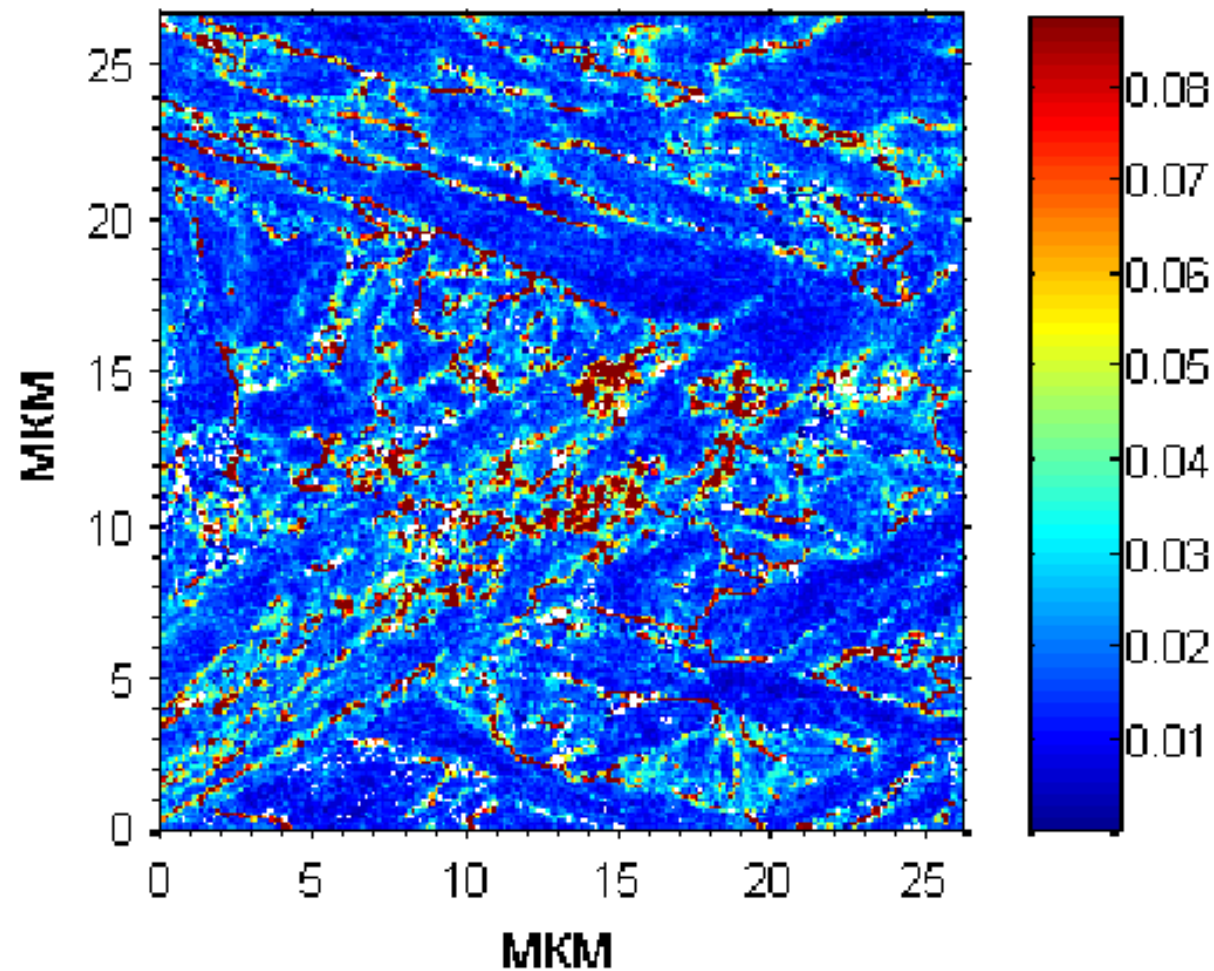


Определение
ближайших точек

KAM



Пример карты ориентаций



Пример карты КАМ

Алгоритм исследования

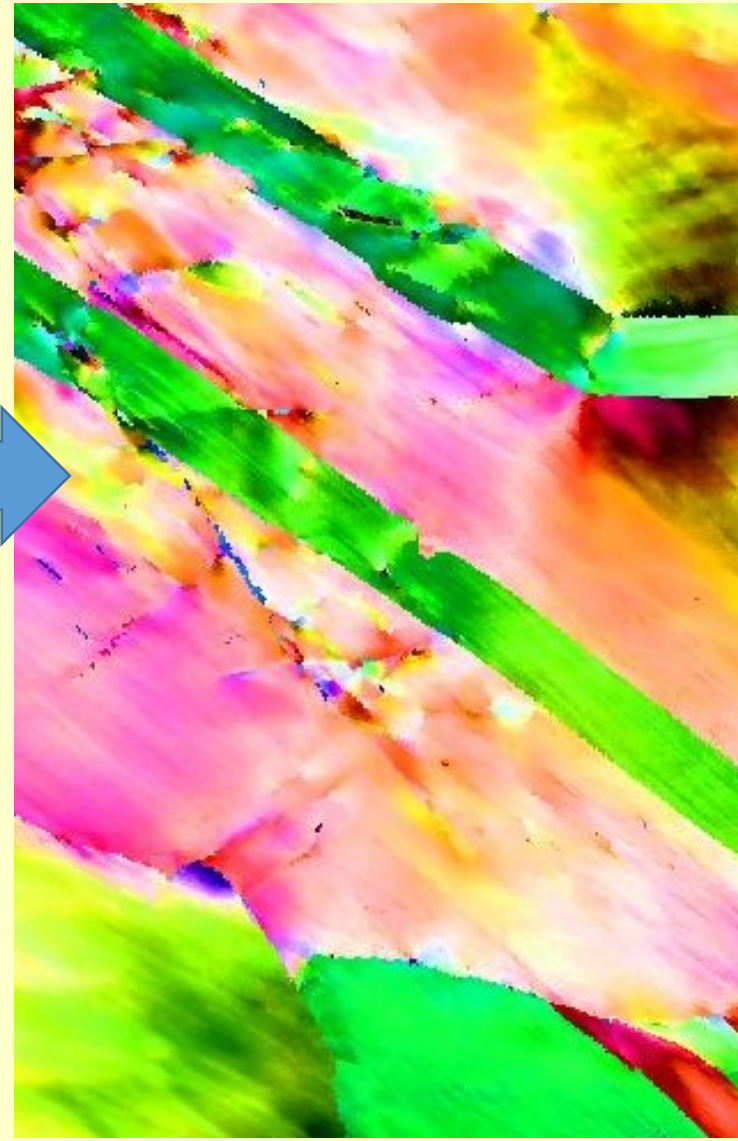
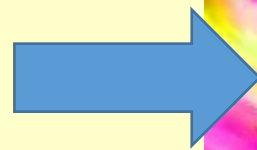
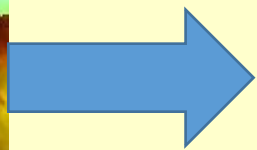


Восстановление данных

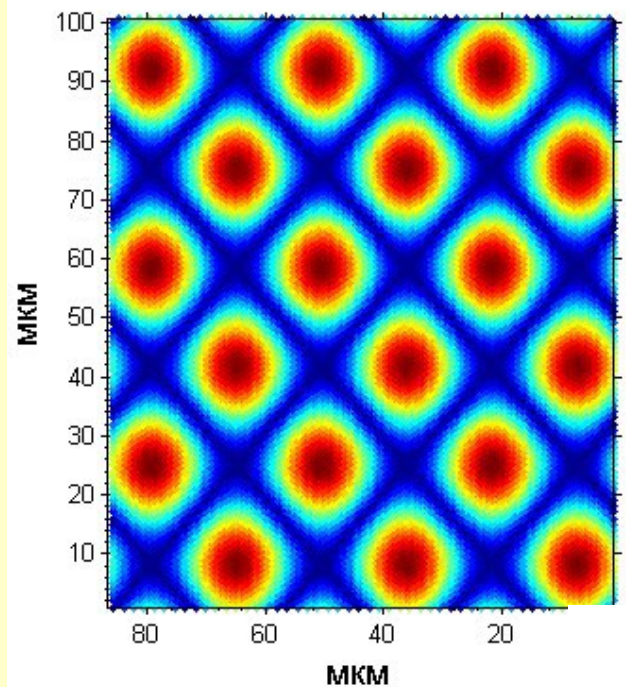
Начальные данные

Хорошие точки

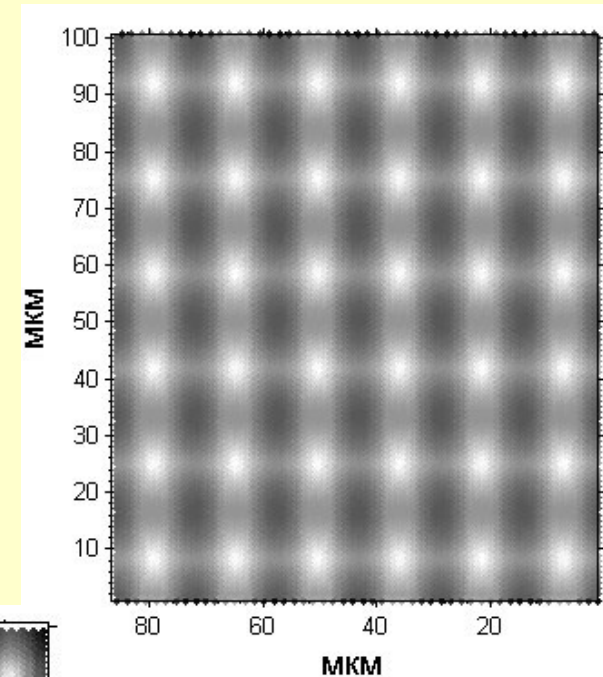
Восстановленные данные



Тестирование на моделях ориентаций без шума

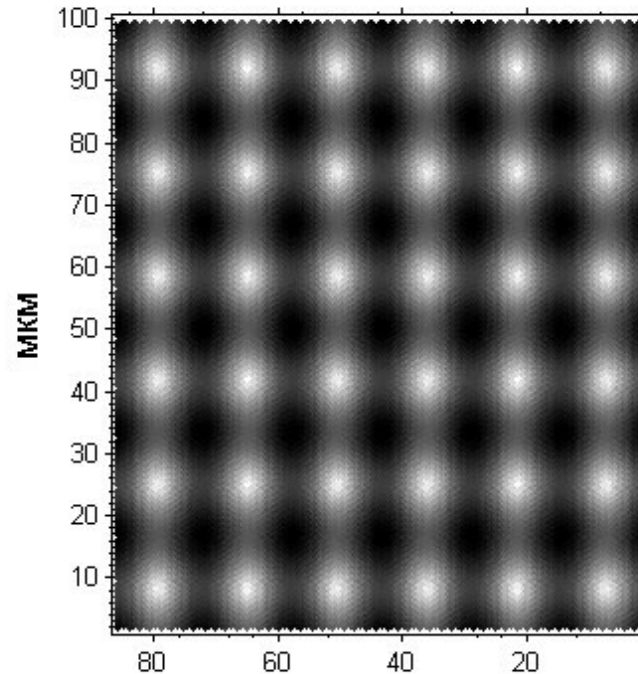


Угол разориентации

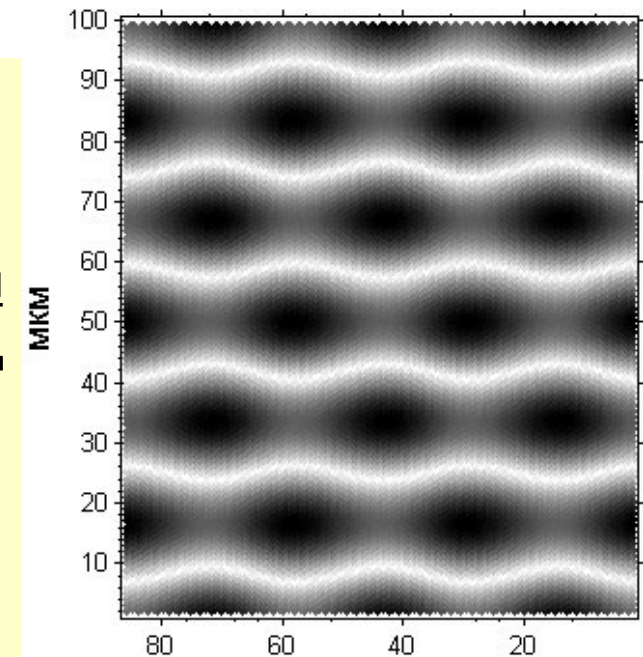


KAM

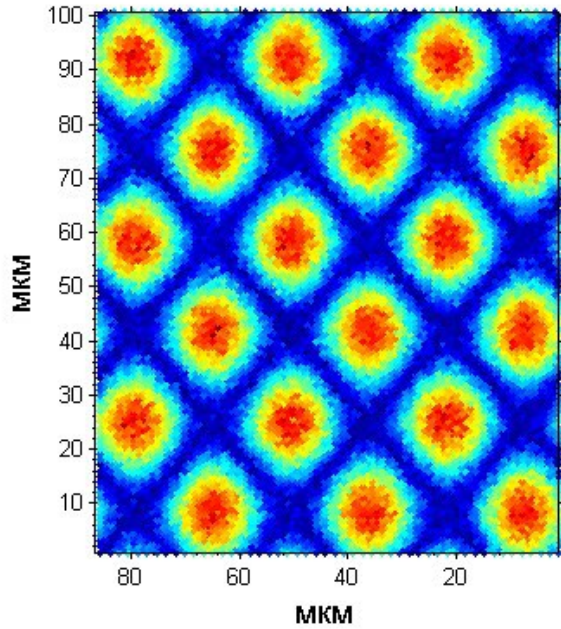
Оценка градиентной матрицы через норму



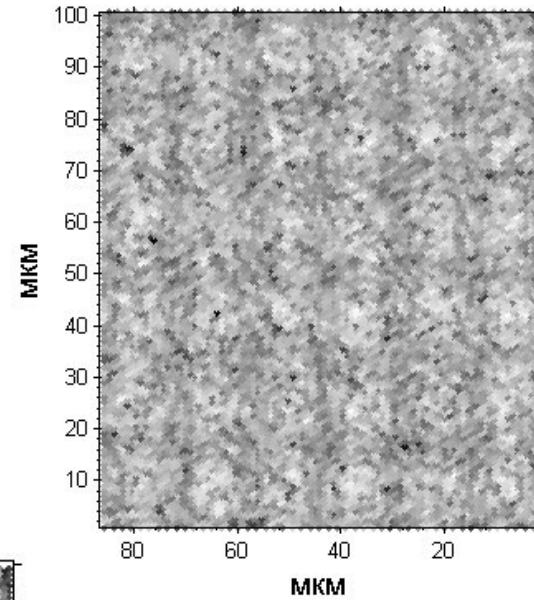
Оценка градиентной матрицы через след



Тестирование на моделях ориентаций с шумом

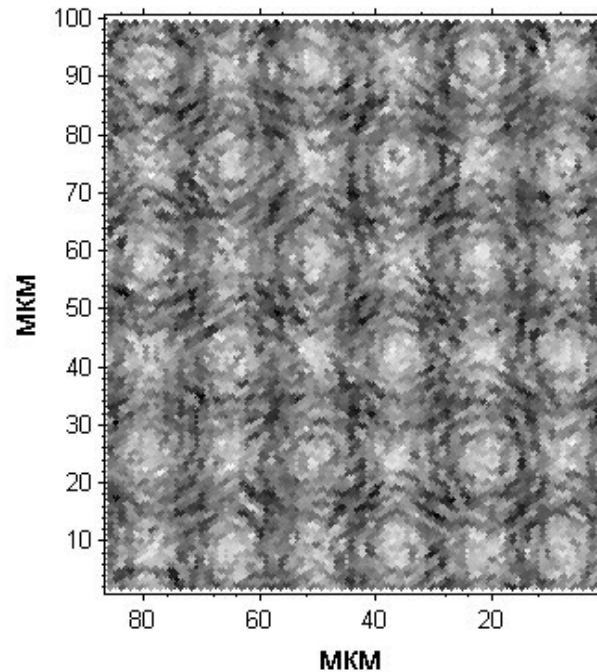


Угол разориентации

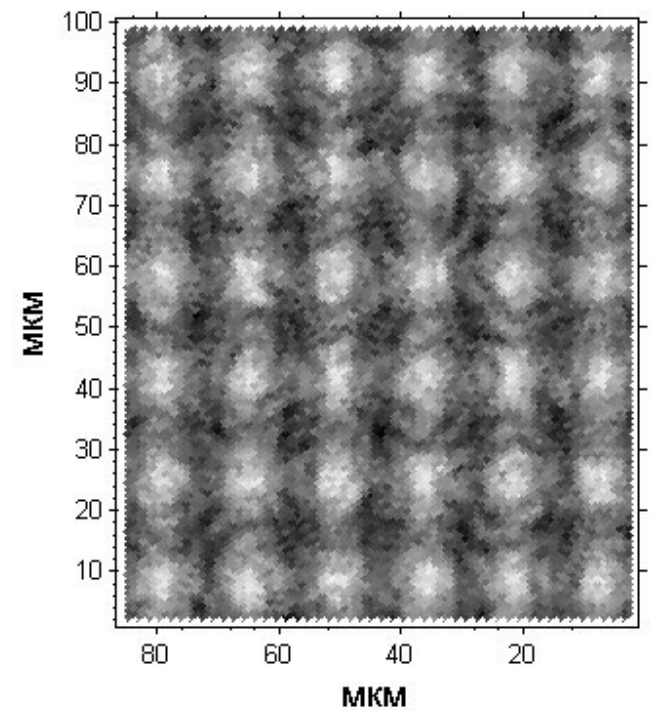


KAM

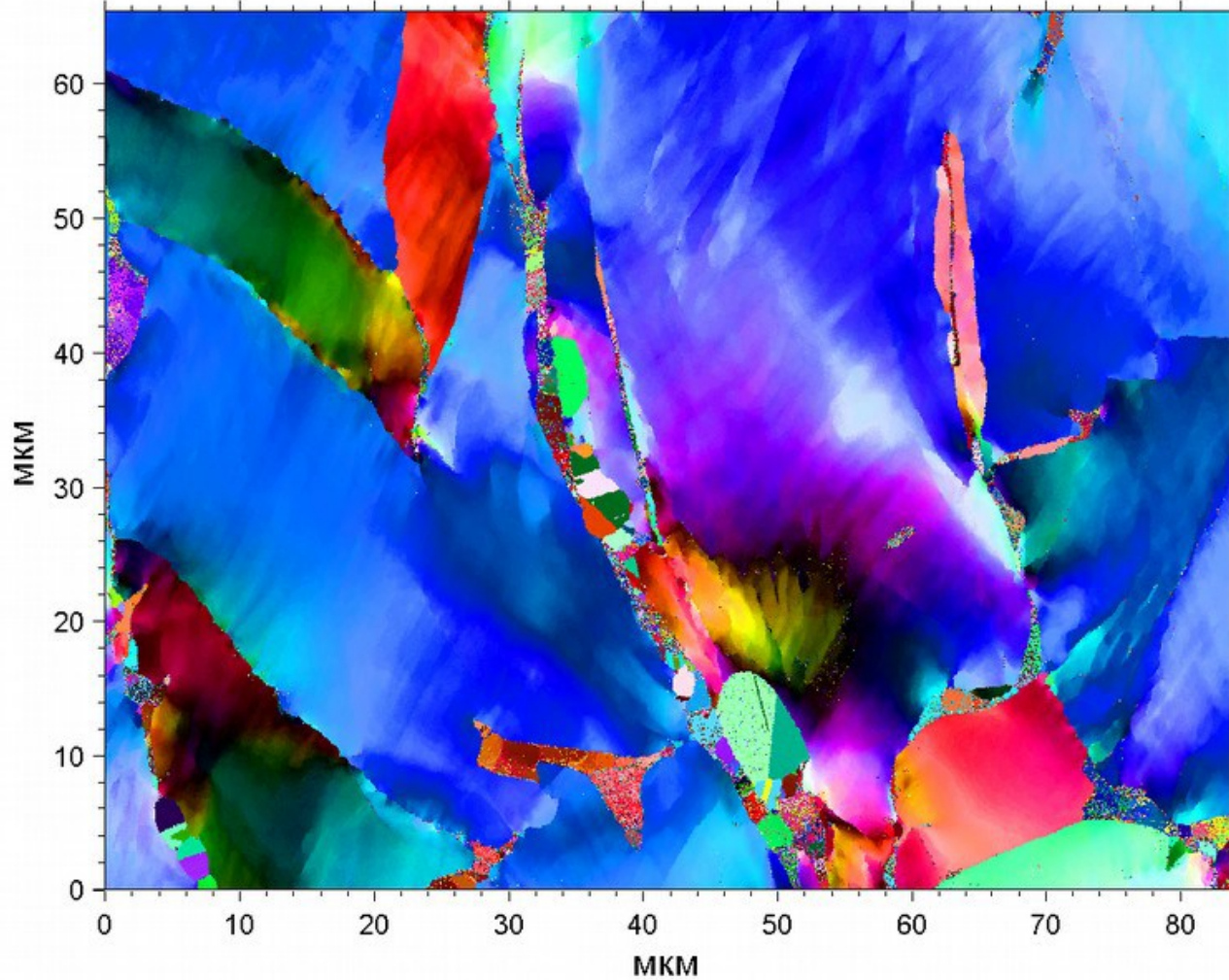
Оценка градиентной
матрицы через норму
6 соседей



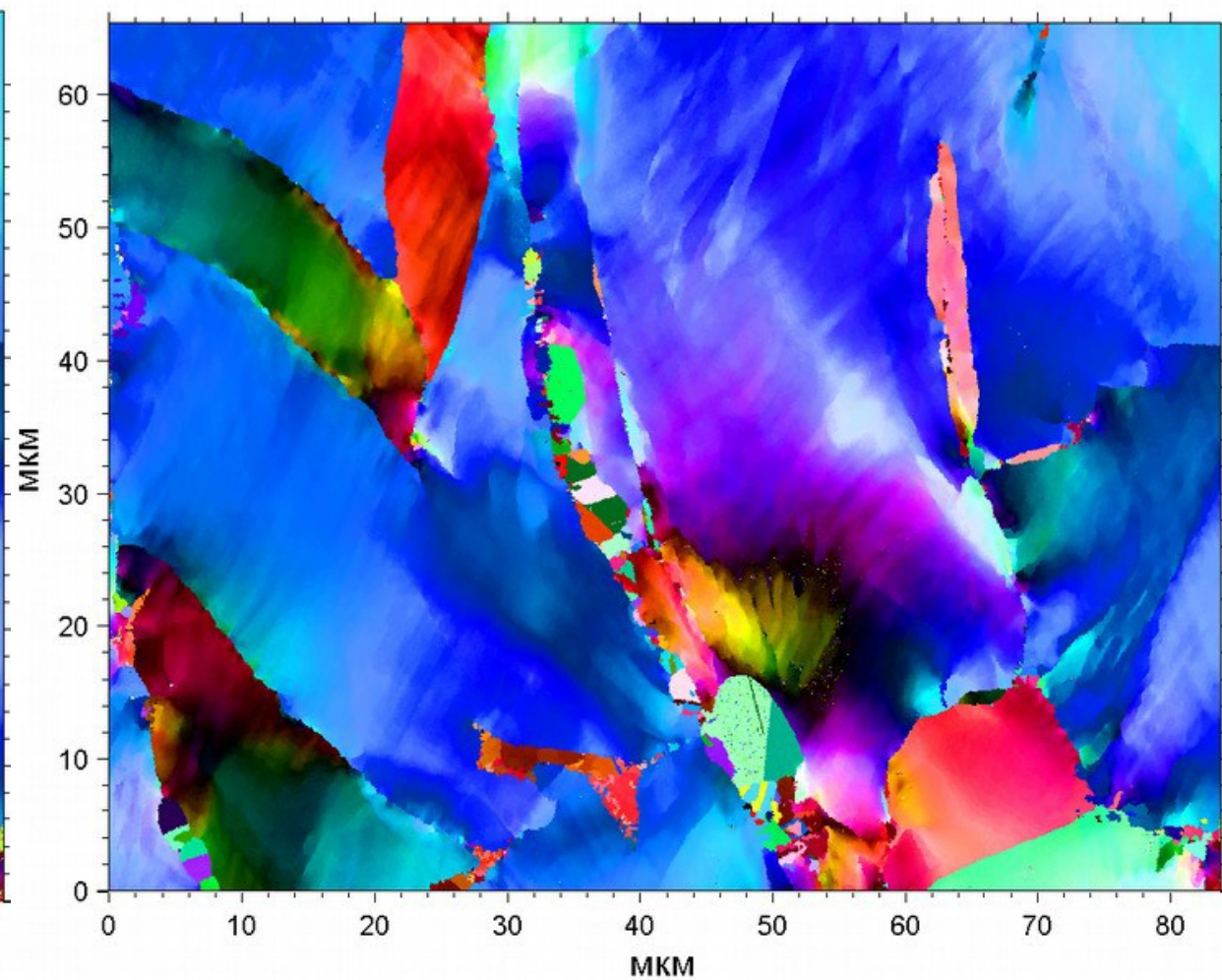
Оценка градиентной
матрицы через норму
12 соседей



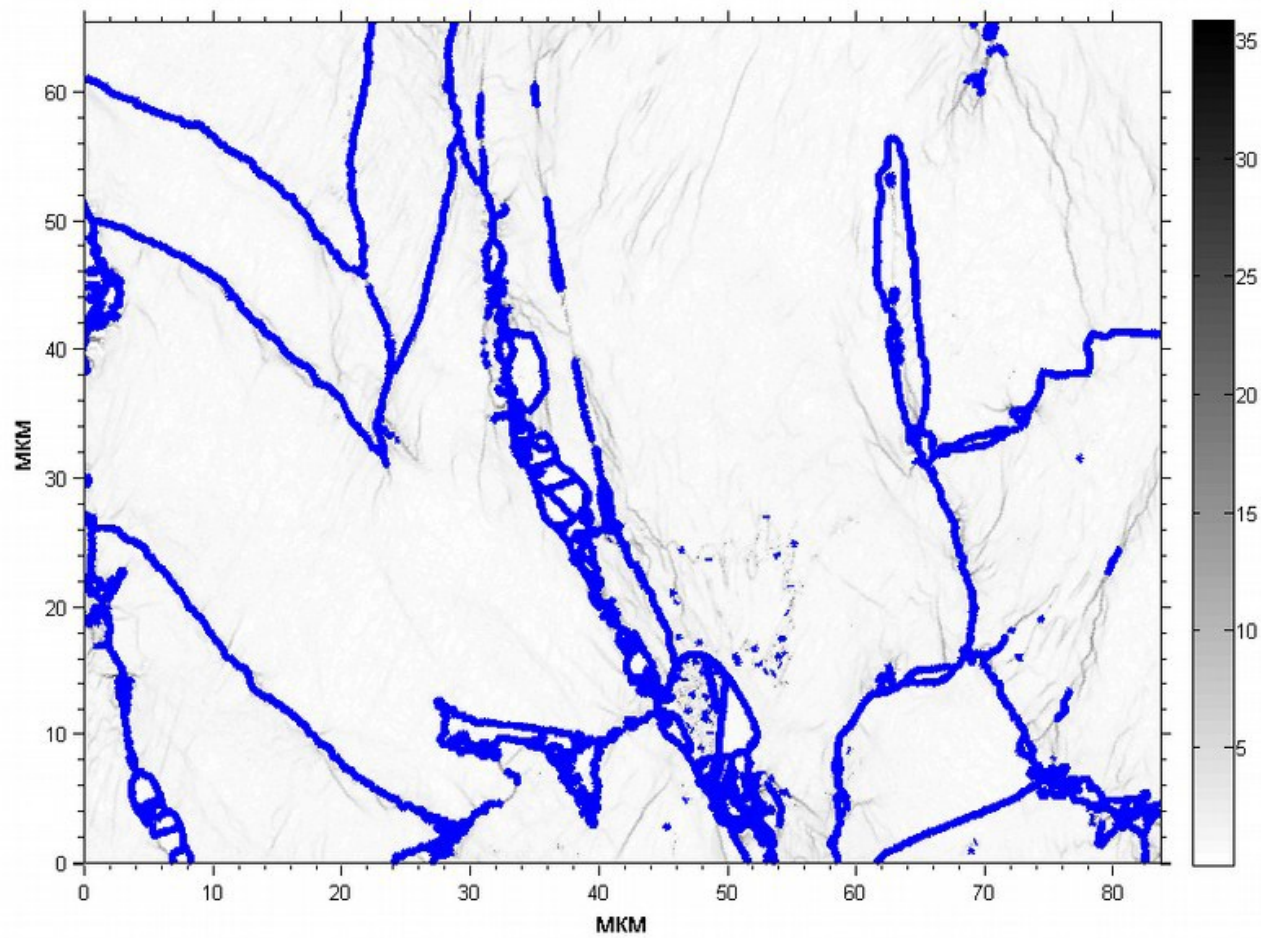
Аустенитная сталь, деформированная на 30 %



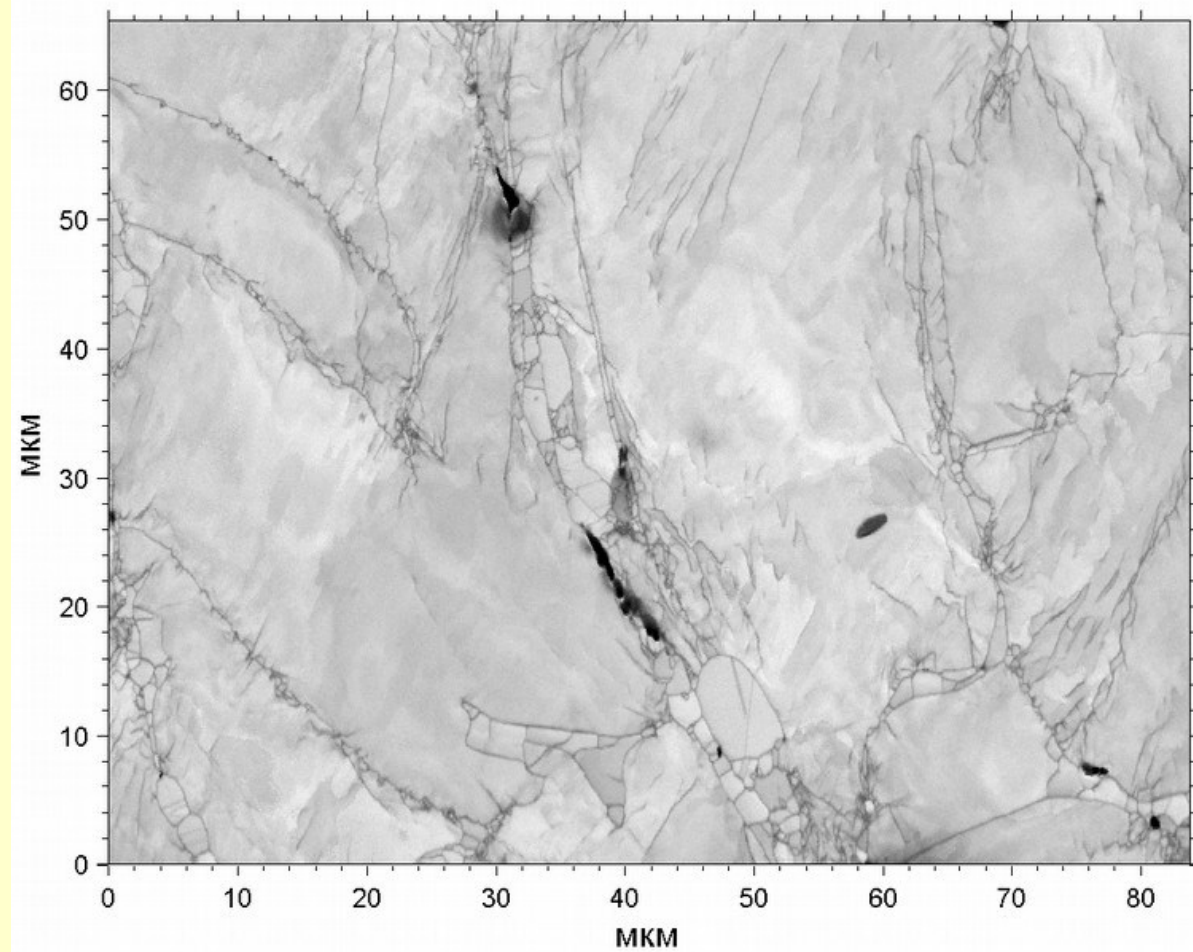
Начальный образец



Восстановленные данные



КАМ с отображенными границами



Карта IQ

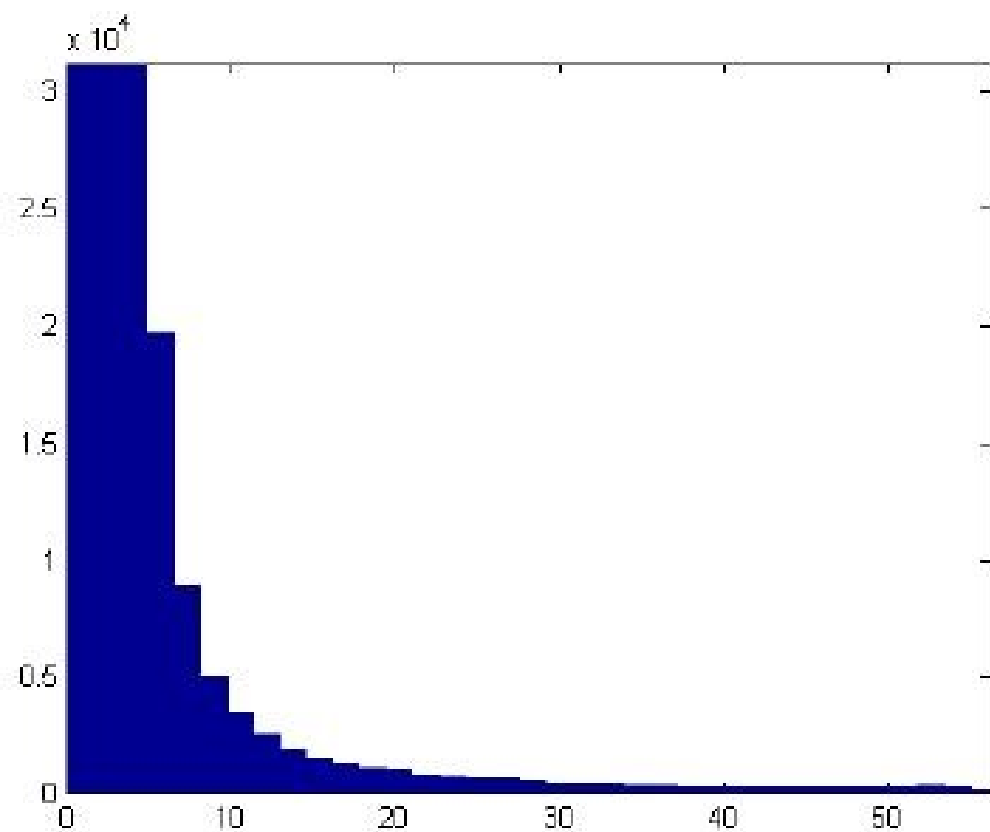


Рис. 36. Увеличенное изображение гистограммы значений кривизны (норма)

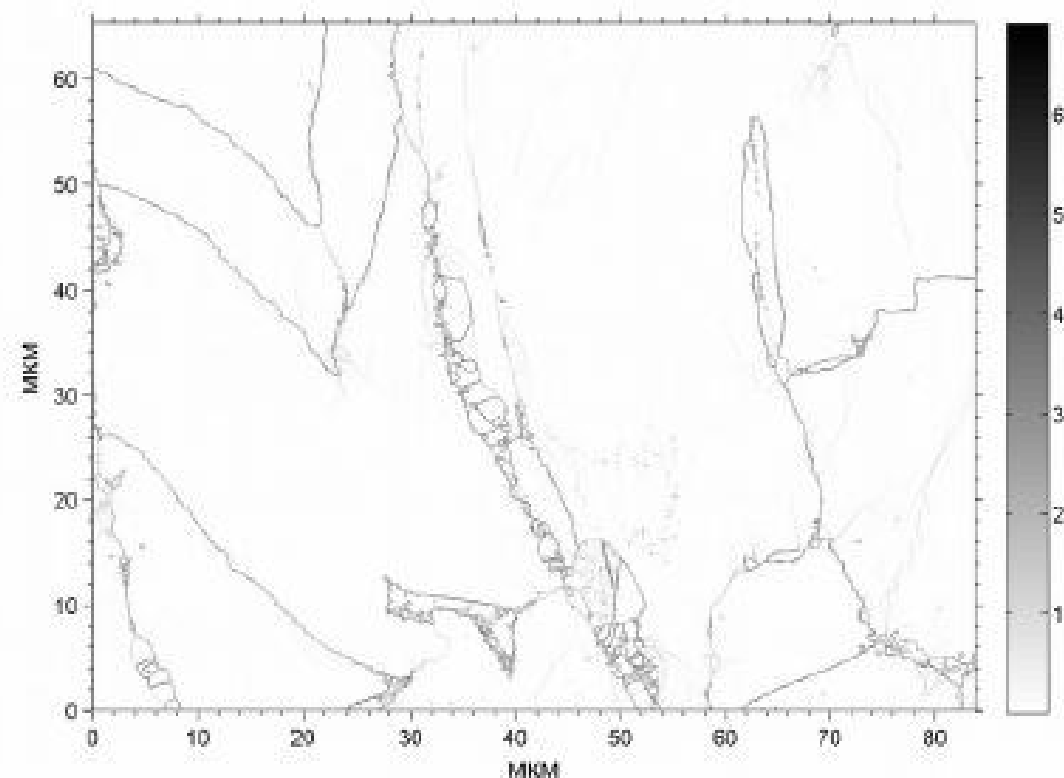


Рис. 37. Зеренная структура образца/ кривизна полная шкала значений

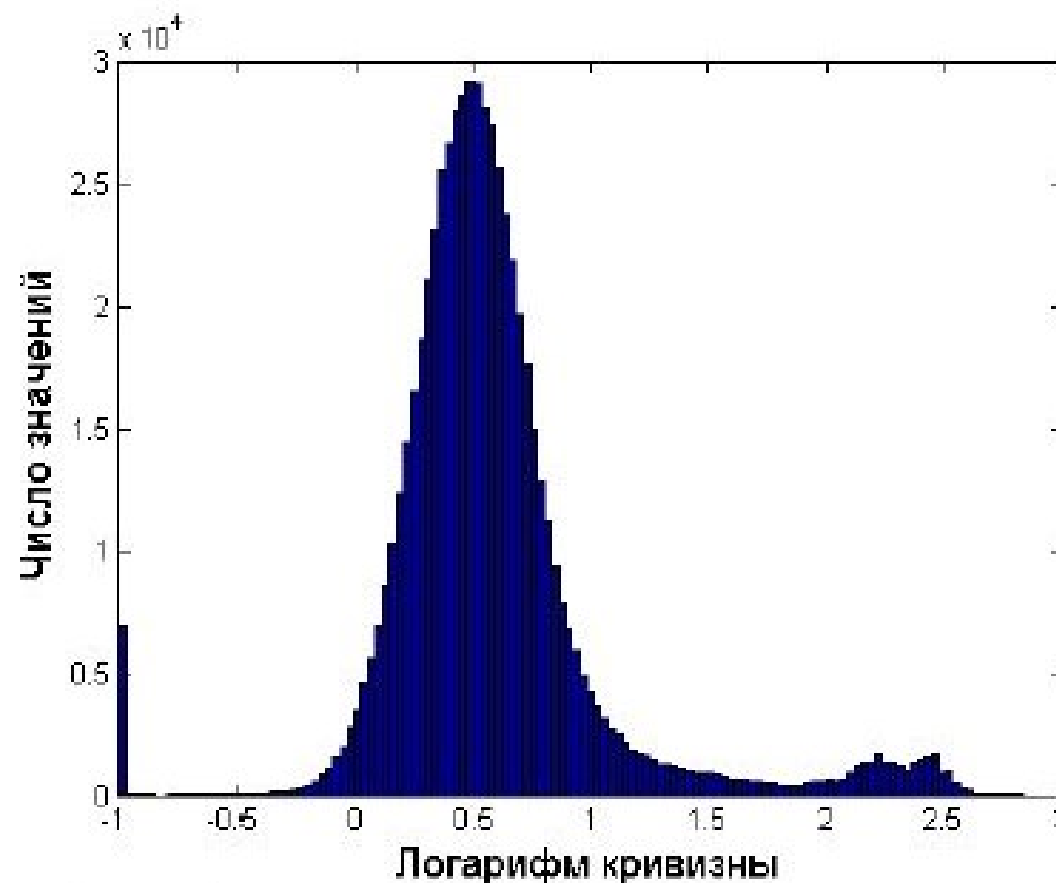


Рис. 38. Гистограмма значений кривизны (норма), логарифмическая шкала

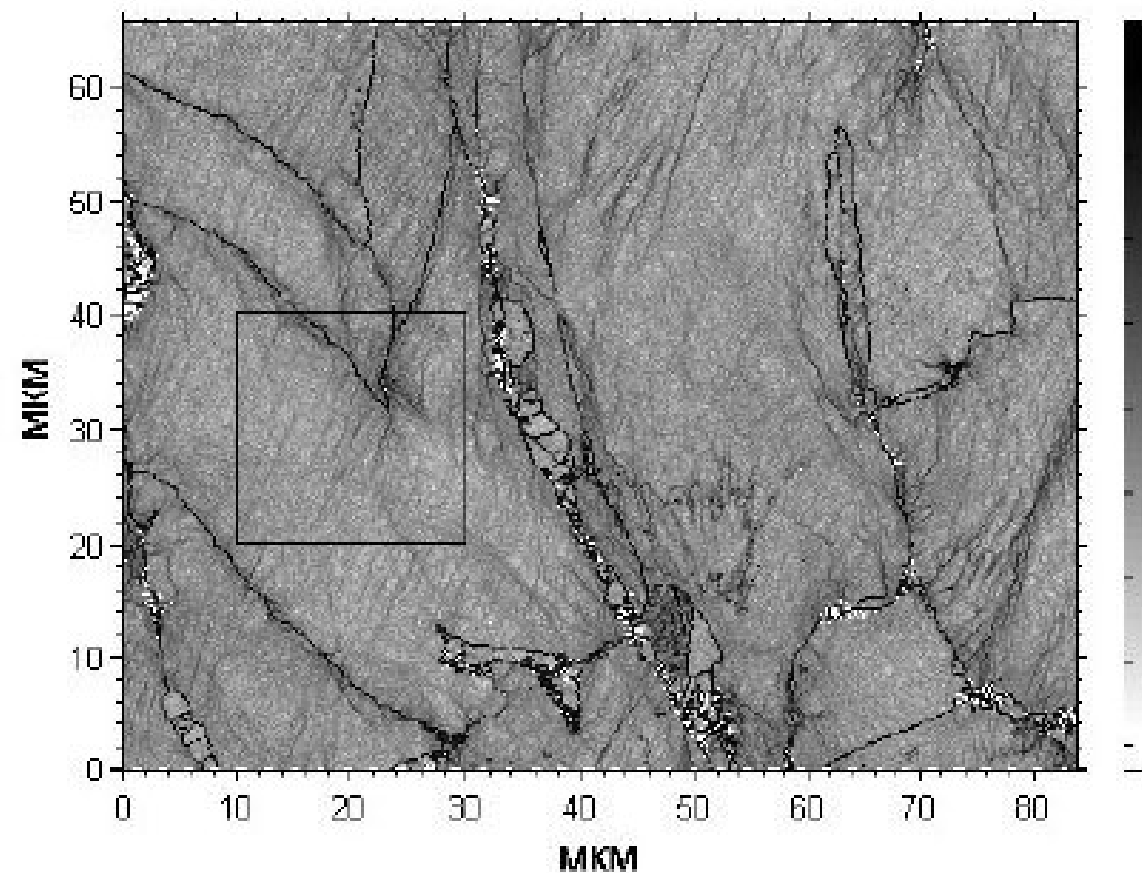


Рис. 39. Кривизна (норма), логарифмическая шкала

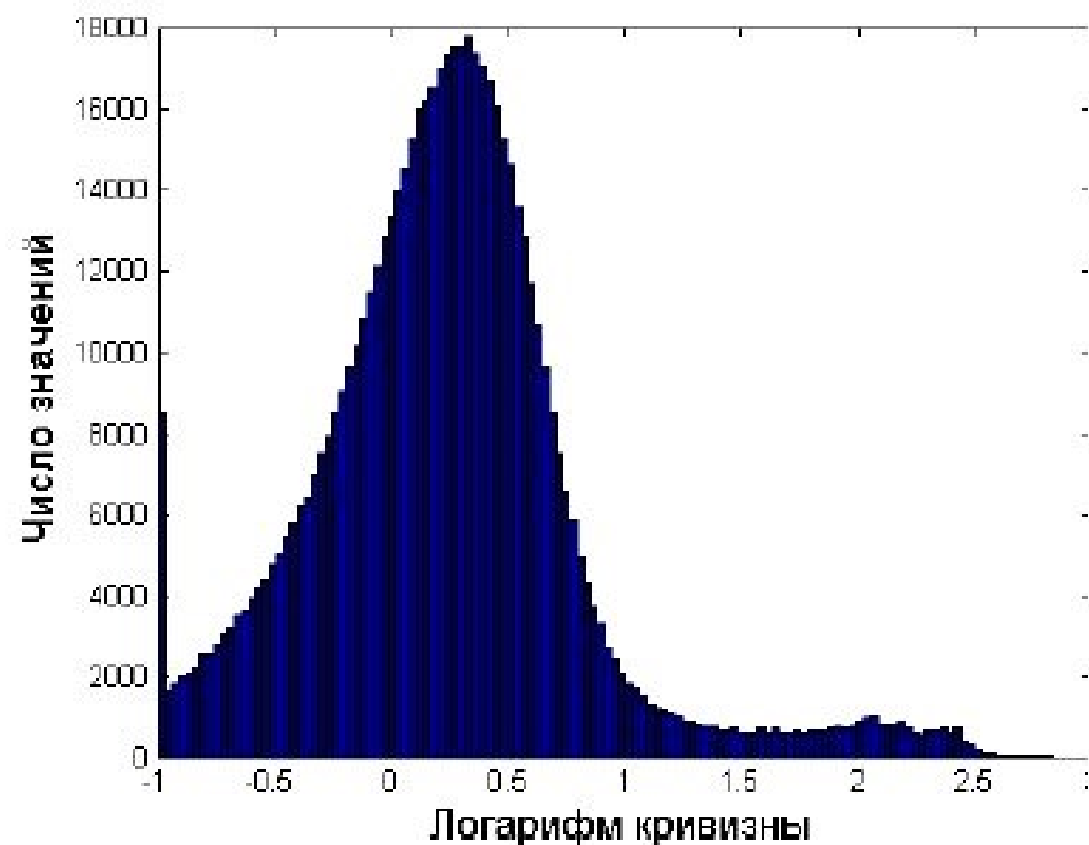


Рис. 40. Гистограмма значений кривизны (след), логарифмическая шкала

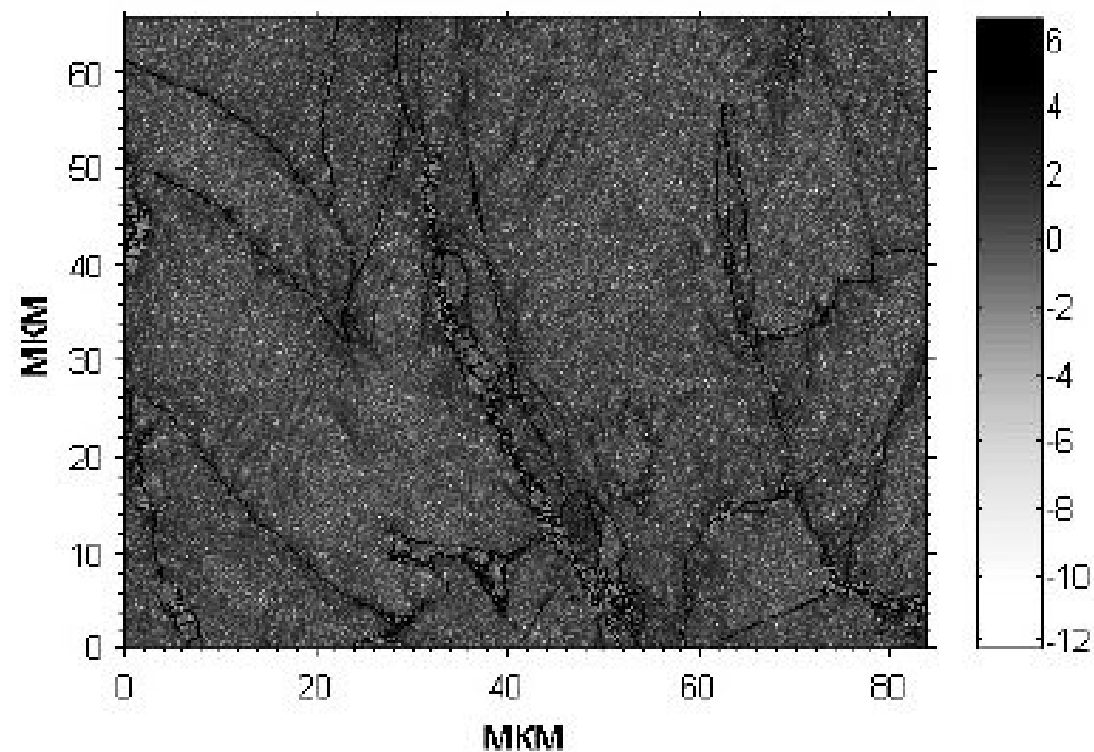


Рис. 41. Кривизна (след), логарифмическая шкала

Сравнение оценок кривизны

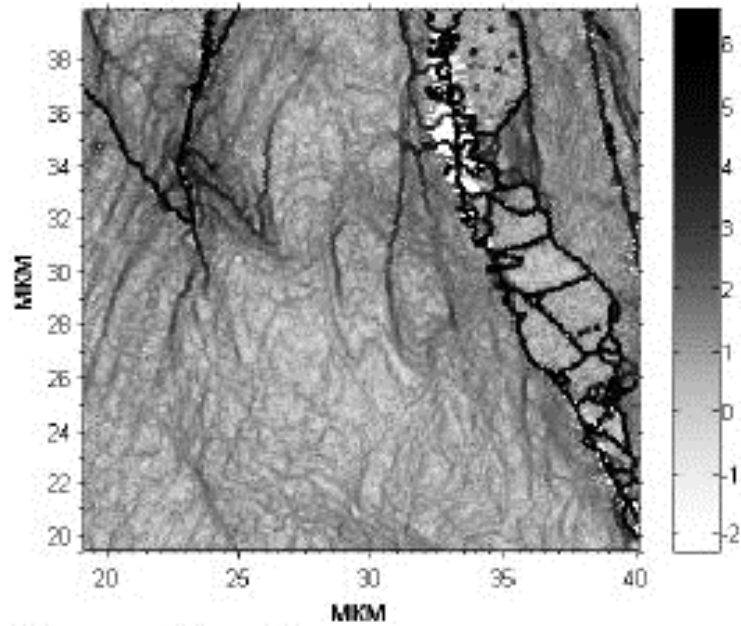


Рис. 42. Оценка кривизны
через норму

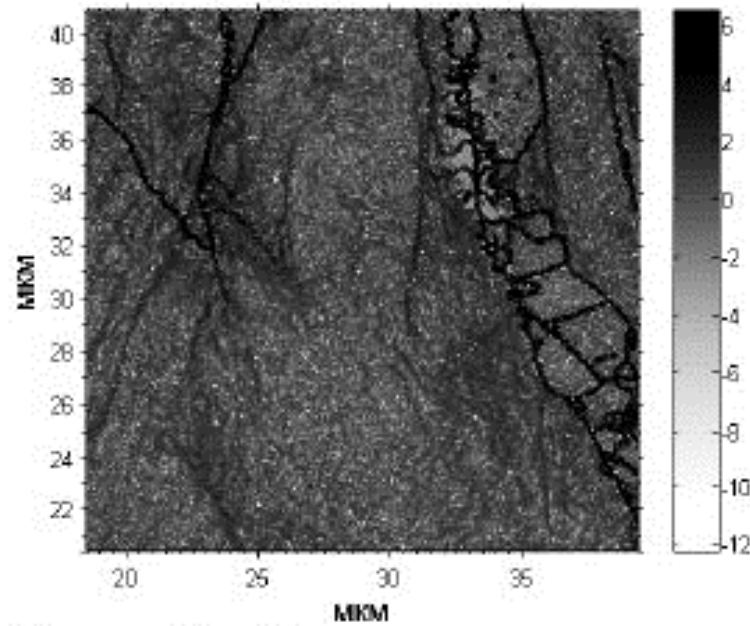


Рис. 43. Оценка кривизны
через след

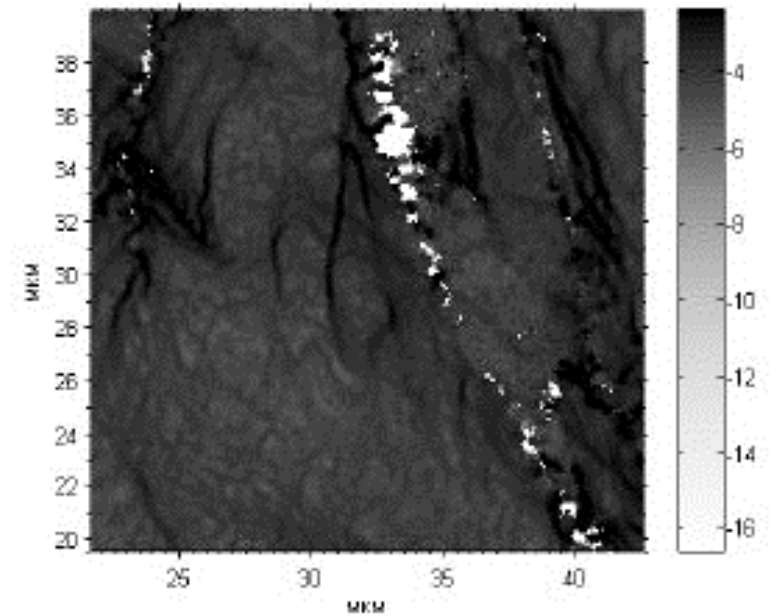


Рис. 44. КАМ в
логарифмической шкале

Выводы:

- Была написана оригинальная программа расчета кривизны решетки с помощью градиентной матрицы в математическом пакете MatLab.
- Произведено тестирование алгоритма на смоделированных данных с заданной ориентацией.
- Были исследованы реальные образцы.
- Продемонстрированы карты кривизны кристаллической решетки исследуемых образцов, их зеренная субструктура и микроструктура.
- Произведено сравнение встроенного метода анализа материала КАМ и предложенного алгоритма расчета.

В ходе сравнения были получены схожие результаты и **продемонстрировано преимущество отображения кривизны кристаллической решетки образца с помощью градиентной матрицы.**

Благодарю за внимание!