

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ ПОСТОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

П.В. Космачев^{1,2,*}, А.В. Тяжев¹, Д.Ю. Степанов^{1,2}, А.Е. Винник¹, И.Д. Щербаков¹, Л.К. Шаймерденова¹,
А.В. Шемерянкина¹, К.А. Чаштанов¹, М.С. Трофимов¹, Ю.С. Петрова¹, О.П. Толбанов¹, С.В. Панин²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

²Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е. Панина СО РАН, г. Томск

*kosmachev@mail.tsu.ru

Решение задачи контроля дефектности/поврежденности при разработке полимерных композиционных материалов (как дисперсно-наполненных, так и армированных длинными и непрерывными волокнами), в том числе со связующими на основе суперконструкционных термопластов, равно как и мониторинга структурной целостности изделий из них, требует создания и использования современных диагностических решений. При этом волоконно-армированные полимерные композиты по определению являются многоуровнево-организованными, что требует привлечения разных по масштабу определяемых дефектов, в том числе комбинированных, средств контроля структуры и целостности.

В данной работе была поставлена задача развить подход к выявлению повреждений в волоконно-армированных полимерных композитах с использованием установки на основе рентгеновского полупроводникового детектора с шагом пикселей 55 мкм за счет постобработки радиографических снимков. Предложено использовать методы фазовой вариации и фазовой конгруэнтности для выделения малоcontrastных объектов на рентгенографических изображениях.

Для проведения сравнительного анализа рентгеновских изображений объектов до и после постобработки были отобраны тестовые образцы слоистых полимерных композитов с имитацией ярко-выраженных эксплуатационных дефектов – вплоть до образования расслоений и магистральных трещин, полученных в результате ударного воздействия и последующего нагружения на сжатие

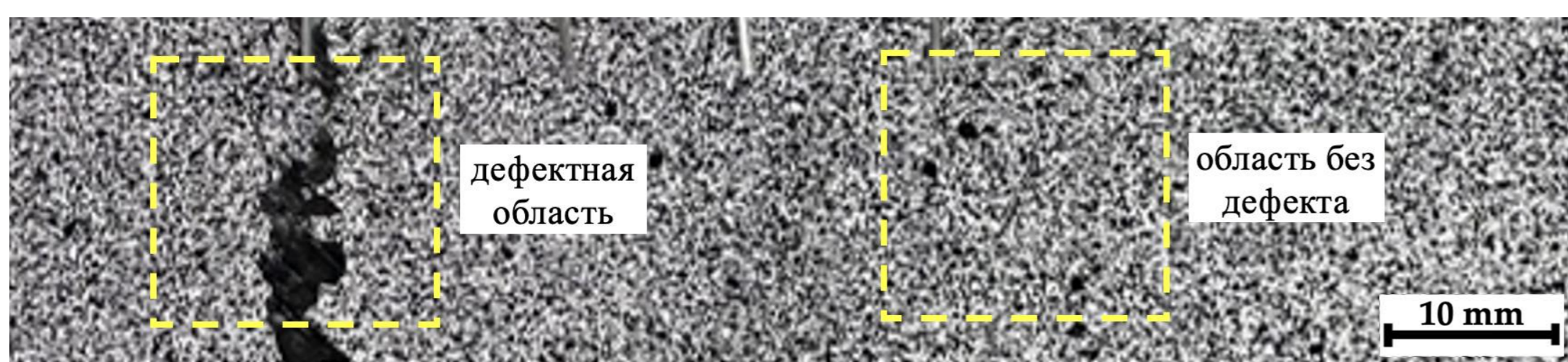


Рисунок 1 – Области проведения радиографической съемки

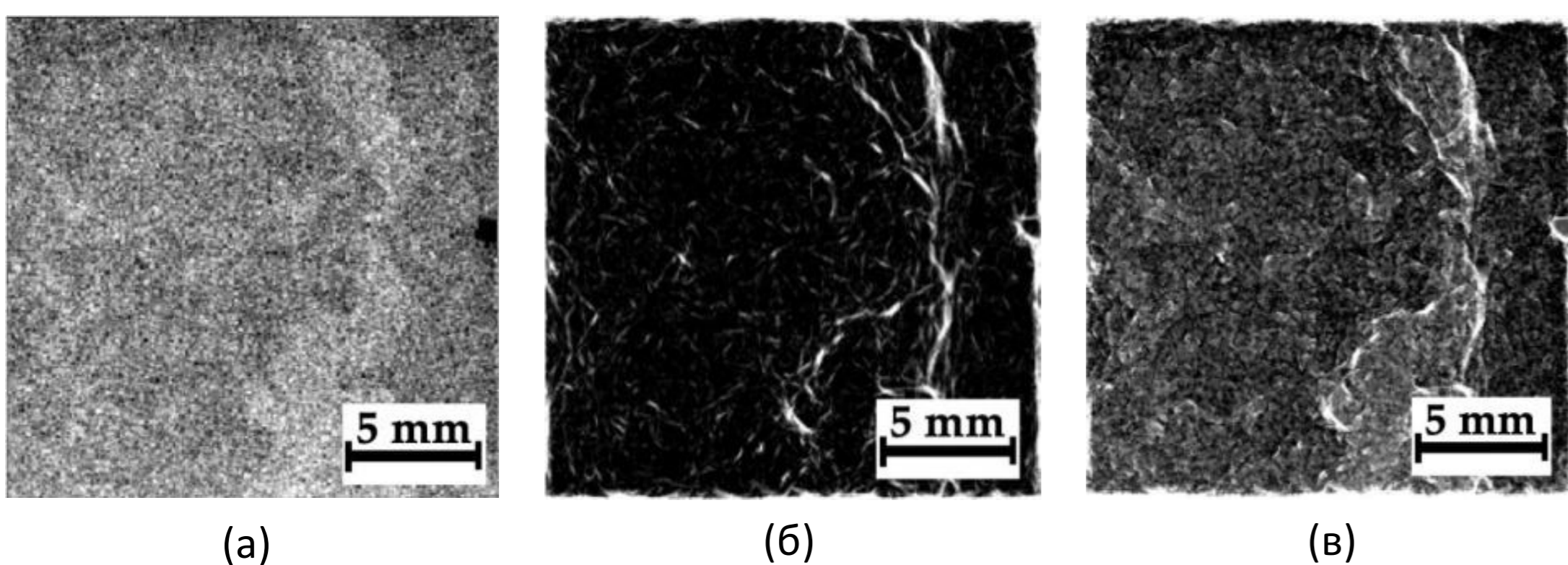


Рисунок 2 – Полученные изображения: а - исходное радиографическое изображение, б - изображение фазовой вариации, в - смесь исходного изображения и фазовой вариации

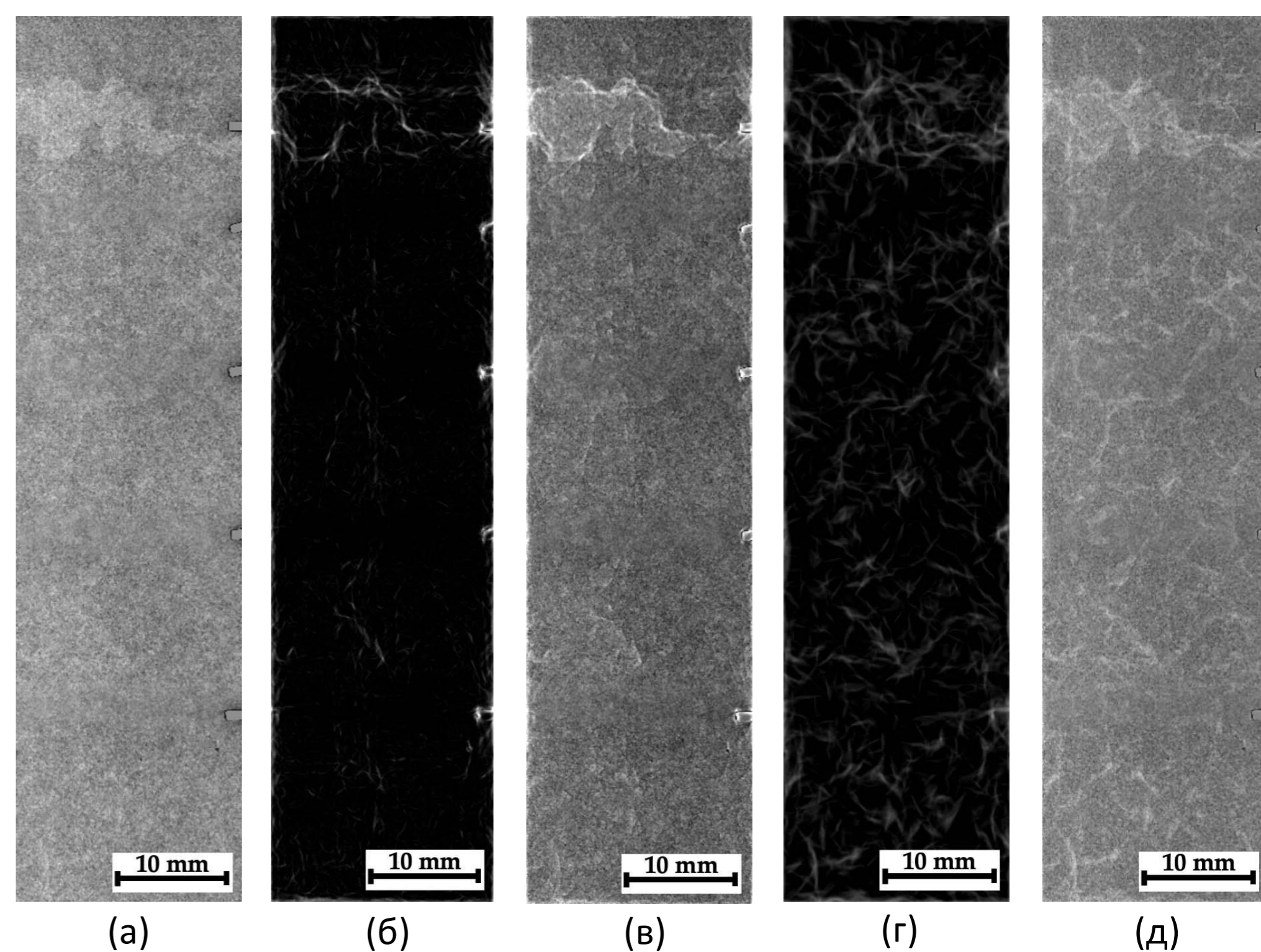


Рисунок 3 – Улучшенные радиографические снимки композита: предварительная обработка (а), фазовая вариация (б) и сумма фазовой вариации и изображения после предварительной обработки (в), изображение фазовой конгруэнтности (г) и сумма фазовой конгруэнтности и изображения после предварительной обработки (д)

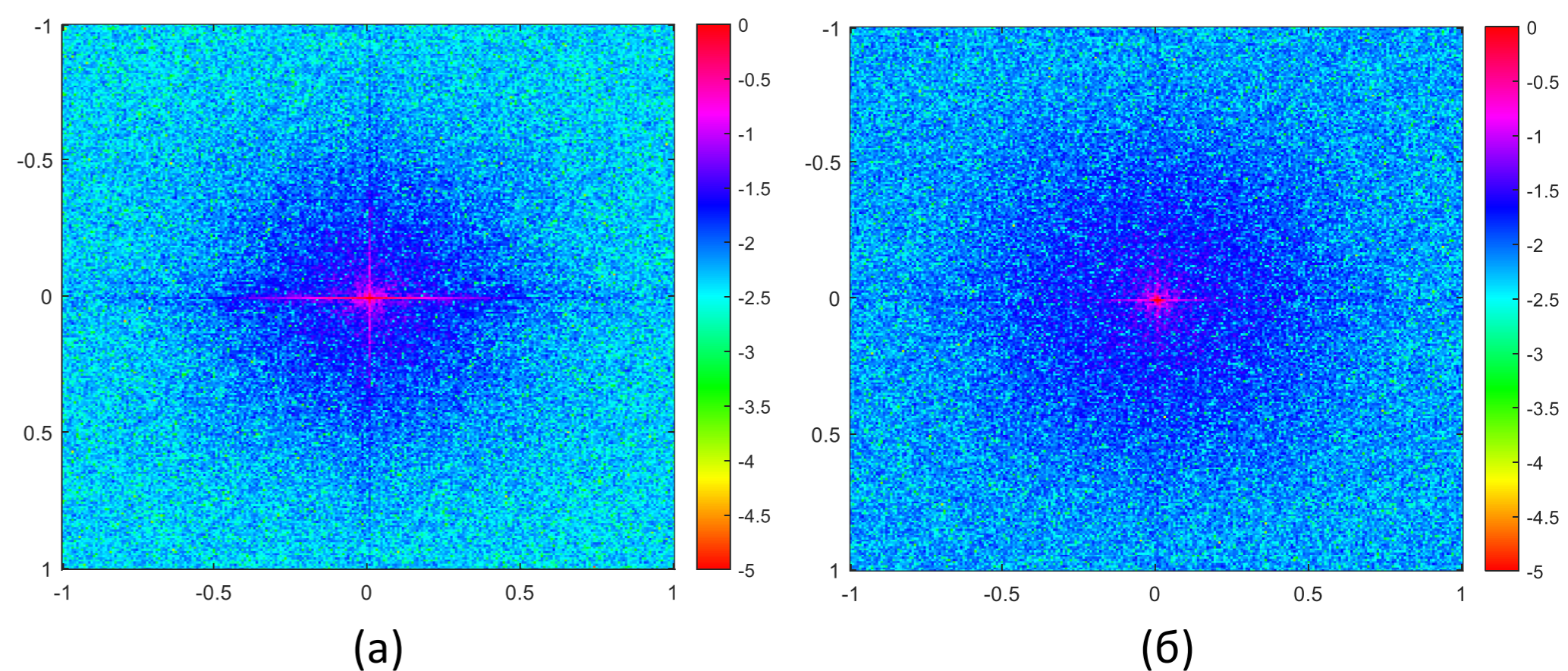


Рисунок 4 – Результаты спектрального анализа радиографических изображений, двумерный спектр: (а) изображения после предварительной обработки; (б) смеси фазовой вариации и изображения. Цветовая палитра спектров представлена в децибелах, шкала частот в относительных единицах (нормированы на половину частоты Найквиста)

На реальных снимках композитов метод фазовой вариации показал эффективность при выделении мелких (с высокой пространственной частотой) объектов, в то время как метод фазовой конгруэнтности следует позиционировать как предпочтительный для выделения крупных (с низкой пространственной частотой) объектов на рентгенографических изображениях.

Уменьшение количества помех на улучшенных снимках было наглядно продемонстрировано на двумерных Фурье-спектрах, показавших смещение основной энергетической составляющей в сторону низких пространственных частот.