

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАРАБАНА БЛАГОВЕЩЕНСКОГО СОБОРА МОСКОВСКОГО КРЕМЛЯ

*Кириленко А.М., Капустин В.В., Знайченко П.А., Бауков А.Ю.
ЗАО «Триада-Холдинг», г.Москва, 234-1610,956-1504,
www.triada-holding.ru*

Целью неразрушающего контроля Центрального барабана Благовещенского собора было определение состояния и толщины кирпичной кладки, на внутренней поверхности которой нанесены исторические фрески, представляющие огромную ценность. В ходе реставрационных работ в соборе зафиксированы трещины в штукатурном слое и в кладке (рис.1). Отслеживание их распространения в кладке требует, в условиях неприкосновенности фресок, применения бесконтактного метода диагностики. Георадиолокация - новый метод изучения строительных конструкций основанный на регистрации радиоволн отражающихся от границ сред с разными электрофизическими свойствами.

Конфигурация георадара и методика полевых наблюдений определялись в зависимости от особенностей целевых объектов и условий исследуемой среды. Для решения поставленной задачи выбирались следующие параметры:

- частота зондирующего сигнала (максимальная глубина, разрешающая способность во времени);
- геометрия наблюдений (расстояние между профилями, длина и ориентация профилей);
- параметры регистрации и записи (скорость движения, временной интервал регистрации, усиление, фильтрация помех, предварительная обработка). Необходимые значения разрешающей способности и максимальной глубины исследования достигаются благодаря выбору соответствующей антенны.

Работы выполнялись георадаром «Зонд 12-С» с использованием антенны 2 МГц, что позволяло обеспечить разрешающую способность исследований не менее 3 см. Обработка материалов проводилась в стандартном пакете программ RadEpro (версия 2), с применением двумерной и трехмерной графики в полярных координатах. Целью обработки являлось выделение полезных волн, удаление волн-помех и шумов на радиограмме. Для решения поставленных задач был выбран граф обработки, включающий: ввод-вывод данных, удаление антенного «звона», редактирование данных, анализ частотных спектров сигналов, фильтрация, предсказывающая деконволюция, миграционное преобразование, определение скоростей распространения радиоволн по годографам дифрагированных волн, ввод статических поправок.

Интерпретация (истолкование) полученных георадарных материалов основана на принципах сейсмостратиграфии, базирующихся на анализе пространственно-временной структуры волнового поля с использованием кинематических и динамических критериев. Анализ структуры поля радиограммы сводится:

- к разделению всего поля на конечное число волн;
- выделению зон синфазности, сопоставимых с длиной радиоволнового импульса.

Совместный анализ результатов, полученных при геофизической интерпретации и априорной информации, позволяет делать выводы о строении и свойствах изучаемой среды.

По результатам обработки георадарных данных были построены две развертки-схемы толщин кладки в полярных координатах с телесными углами 180 градусов.(см. рис. 2-3). Диапазон изменения толщин кладки по данным георадара составляет от 27 до 38 см. Как видно из приводимой схемы зоны равных толщин имеют вид линейных элементов, ориентированных по направлению от центральной точки купола к его основанию. В центральной точке свода, по данным радара, наблюдаются металлические конструкции, являющиеся, по-видимому, элементами крепления креста. Скорость распространения электромагнитных волн в кирпичной кладке определялась по годографам дифрагированных волн, образующихся при прохождении фронта волны через мелкие (по сравнению с длиной волны) предметы или неоднородности. Определенная данным способом скорость распространения радиоволн составила 13 см/наносек., диэлектрическая проницаемость кирпичной кладки - $\epsilon=5$, что свидетельствует о достаточно высоком содержании влаги в кладке.

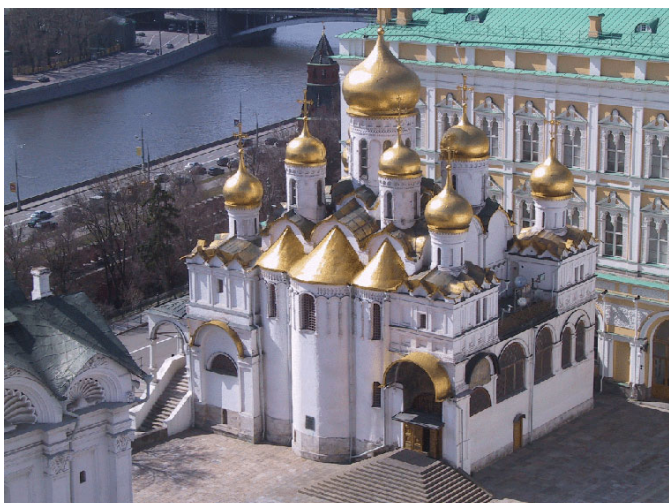


Рис. 1. Общий вид Благовещенского собора Московского Кремля. Одна из трещин, выходящая на поверхность Центрального барабана

На радарных профилях, выполненных по своду определяются мелкие металлические элементы - кламмеры являющиеся деталями крепления слоя штукатурки и трещины в кладке. Характер распределения трещин и кламмеров приведен на круговых диаграммах (см. рис. 4 - 5). Наибольшая плотность трещин наблюдается в зенитной области свода и, как видно, из диаграммы имеет ассиметричное распределение, что, по-видимому, связано с характером ветровой нагрузки на конструкции креста, основание которого находится в кладке. Объемное содержание влаги может быть оценено по формуле Лихтенекера:

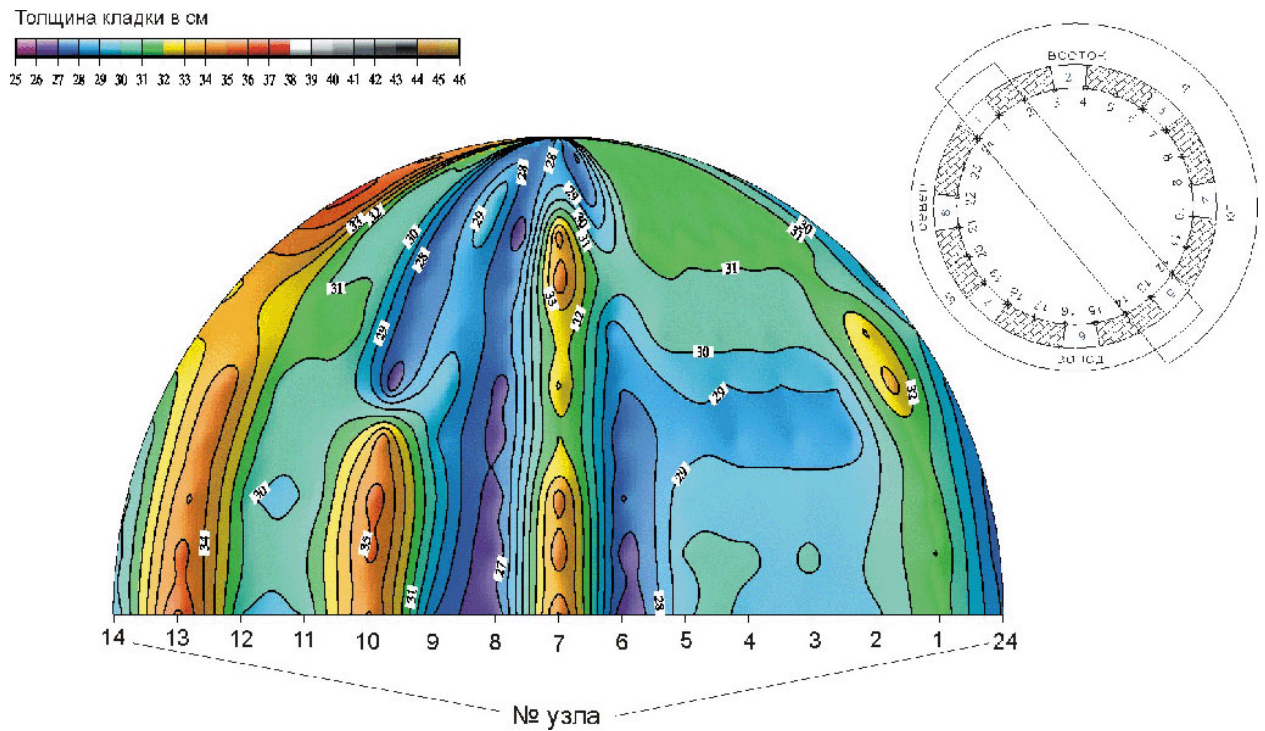


Рис. 2. Диаграмма изменения толщины кладки свода Центрального барабана (часть свода А)

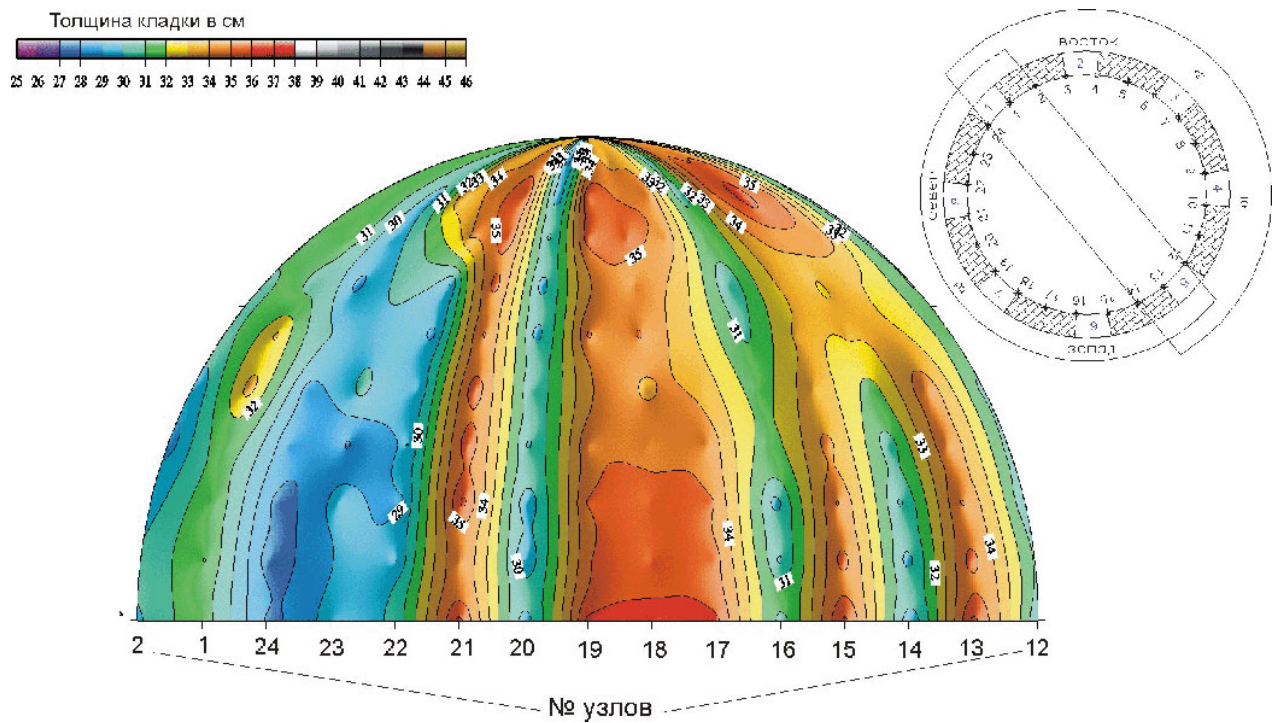


Рис. 3. Диаграмма изменения толщины кладки свода Центрального барабана (часть свода Б)

$$\epsilon = \epsilon_k^w \epsilon_v^{1-w}$$

, где ϵ -значение диэлектрической по данным георадара;
 ϵ_k -диэлектрическая проницаемость сухого кирпича-4;
 ϵ_v -диэлектрическая проницаемость воды-81
 w - объемная влажность.

Рассчитанное по формуле значение объемной влажности равно 7,4%. Кладка находится во влажном состоянии.

В основании купола (1-го пояс) на георадарных профилях наблюдаются металлические предметы, являющиеся, по-видимому, элементами крепления купола (журавцы). На участке сочленения свода и барабана были выполнены наблюдения по всей длине окружности. На радарных профилях отмечается увеличение времени прихода отраженного сигнала (уменьшение скорости), связанное наличием проводящих (металлических) включений. При пересечении данного участка в перпендикулярном направлении наблюдается явление дифракции на локальном объекте, находящемся в теле кладки.

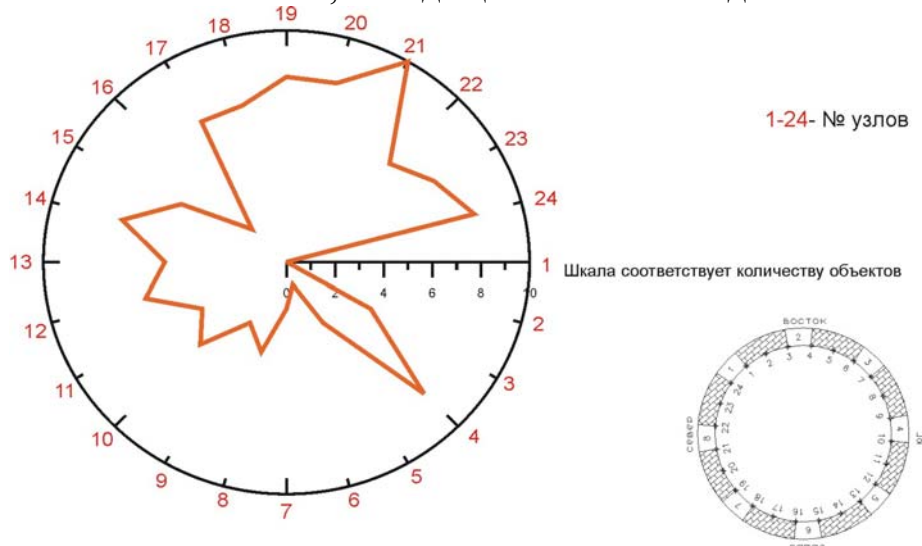


Рис. 4. Полярная диаграмма распределения сквозных трещин в кладке свода. Вытянутые ветви диаграммы соответствуют наибольшему количеству трещин в этом направлении

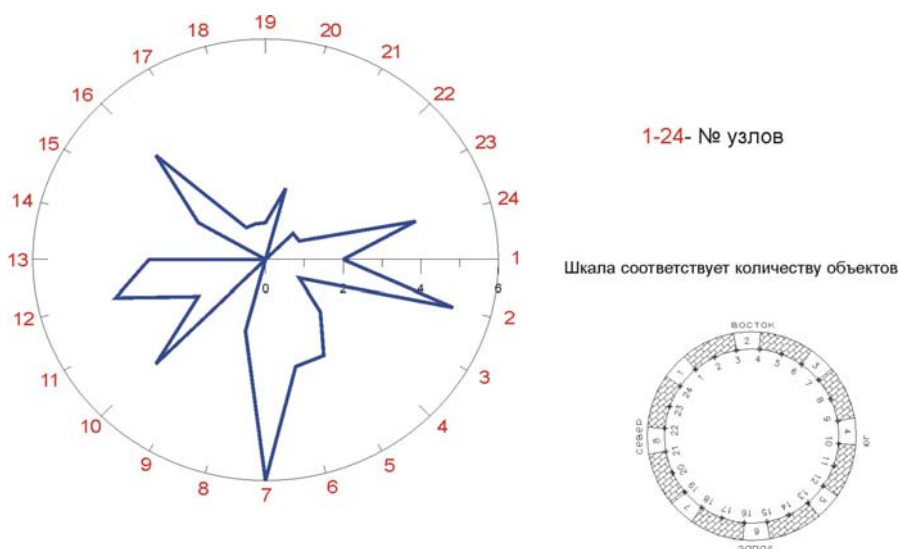


Рис. 5. Полярная диаграмма распределения раскрывшихся трещин с наружной части свода. Вытянутые ветви диаграммы соответствуют наибольшему количеству трещин в этом направлении

Использование георадиолокационного метода при определенных условиях и навыках позволяет быстро и качественно обследовать памятники архитектуры без нанесения им ущерба.