

УДК 550.834.05

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ

И.В. Фокин¹, И.М. Басакина², Н.К. Капустян^{1,2}, С.А. Тихоцкий¹, Д.Ю. Шур¹

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, г. Архангельск, Россия

Аннотация. Описываются результаты исследования возможностей применения алгоритма лучевой сейсмической томографии с адаптивной параметризацией среды в инженерно-геофизических и археологических задачах. Объект исследований – верхняя часть разреза площадки размещения храма Онуфрия Великого на Большом Соловецком острове. Спроектирована пространственная система наблюдений, выполнены экспериментальные работы с применением малоглубинной сейсморазведки и проведена обработка данных с целью выявления особенностей строения основания и фундамента сооружения, исследования которых недоступны другими методами. Для проверки достоверности полученных результатов сделана численная оценка разрешающей способности при помощи «шахматного» теста с линейными размерами ячеек 2, 3 и 4 м. Получена трехмерная скоростная картина строения, которая хорошо согласуется с априорными представлениями о сооружении и археологическими данными.

Ключевые слова: лучевая сейсмическая томография, археология, Соловецкие острова, инженерная сейсмология.

PACS: 91.30.Jk

ВВЕДЕНИЕ

Одна из важных практических задач инженерной геофизики – исследование строения и свойств геологических сред под зданиями или сооружениями. В качестве универсального подхода к ее разрешению используются сейсмические поля малоглубинной сейсморазведки с построением соответствующих систем наблюдения и интерпретации. Решаемые вопросы разнообразны: от сопровождения строительства и эксплуатации зданий до выявления аномальных зон как следствия аварии или в рамках историко-археологических исследований. К особенностям таких работ относится то, что исследуемый участок обычно бывает застроен, т.е. доступ с дневной поверхности к изучаемому объему среды невозможен или затруднен для использования других геофизических методов (сейсморазведки ОГТ, георадара, электроразведки и пр.).

Лучевая сейсмическая томография – один из немногих методов, которые могут применяться в данных условиях. Основное преимущество трехмерной лучевой сейсмической томографии

состоит в неприхотливости метода к расположению источников и приемников сигнала. Главное требование – это обеспечение надлежащего лучевого покрытия в целевых областях и точная привязка пунктов возбуждения и приема по координатам. Однако при этом необходимо учитывать тем или иным образом неоднородность лучевого покрытия в изучаемом объеме.

Для демонстрации практических возможностей разработанного ранее алгоритма трехмерной лучевой сейсмической томографии с адаптивной параметризацией среды [Tikhotsky, Achauer, 2008; Тихоцкий и др., 2011] был выбран важный историко-археологический объект. Это грунтовый массив и остатки фундамента в основании храма Онуфрия Великого, расположенного на Большом Соловецком острове (Белое море) в двухстах метрах южнее стены Спасо-Преображенского монастыря. Храм был разрушен в 1939 г., в настоящее время на дневной поверхности просматриваются контуры фундамента.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УЧАСТКА

Согласно рекогносцировочным исследованиям участка (ОАО «Архангельск ТИСИЗ»), в пределах разведанной глубины в геологическом строении присутствуют современные отложения (Q_{IV}), представленные почвенно-растительными образованиями и техногенными отложениями (t_{IV}), которые залегают на верхне-четвертичных моренных отложениях (Q_{III}). Техногенные образования – песчаный слежавшийся грунт с включениями строительного мусора (битый кирпич, кусочки извести, шлак). Верхний слой ледниковых отложений – песок мелкий, средней крупности и плотности, с гравием и галькой (до 20 %), далее залегают песок гравелистый средней плотности серого цвета, с валунами. Оба вида песка – влажные или насыщенные водой – расположены на следующем геологическом элементе, сложенном пластичными супесями. Иногда песок размыт и под техногенным слоем сразу залегают отложения супесей.

Моренные отложения представлены супесями твердыми и пластичными с включениями гравия, гальки, щебня, валунов (от 25 до 50%), реже гравийными, галечниковыми, щебенистыми и валунными грунтами с супесчаным заполнителем, их мощность от 6 до 15 м. Эти отложения очень неоднородны по количественному составу крупнообломочных включений, а их свойства зависят от колебаний уровня подземных вод. Супеси, залегающие на отложениях суглинков, разделяются на тугопластичные, мягкопластичные и текучей консистенции, темно-серые, с гравием и галькой (до 10 %), с прослойками песка, насыщенного водой.

В 2009 г. при археологических работах были выбраны почвенные отложения в пределах валунного фундамента храма, над раскопками построена крыша.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления возможностей применения малоглубинной сейсморазведки для обследования основания храма Онуфрия Великого в 2008 г. были проведены работы методом преломленных волн (МПВ) в двух модификациях: способом продольного профилирования (система встречных и нагоняющих годографов) и непродольного профилирования (южный и восточный про-

филь по периметру храма). Система профилей показана на рис. 1 [Басакина, Капустян, 2010]. Наблюдения проводились 16-канальной цифровой сейсмостанцией Geode фирмы Geometrics. Длина записи 0.512 с обеспечивает регистрацию поля объемных и вступлений поверхностных волн. Шаг дискретизации 0.03125 мс позволяет получать волновые формы в полосе частот до 8 кГц. Вдоль линии профиля раскладывался сейсмический провод (коса) с 12 приемниками, расположенными через 5 м (2.5 м или 1 м в зависимости от длины профиля), максимальная длина косы 55 м. Источник возбуждения сигнала – механический (удары кувалдой по металлической пластине). Удары, выполняемые серией (по тестовым наблюдениям до 7 ударов), регистрируются сейсмоприемниками, для увеличения соотношения сигнал/помеха записи суммируются (накапливаются). Система наблюдений включала 52 пункта возбуждения (ПВ) и 108 пунктов приема (ПП) на 9 профилях. В 2009 г. с целью мониторинга состояния геологической среды подземной части разрушенного храма были сделаны повторные измерения по двум непродольным профилям.

Данные продольных профилей обрабатывались с помощью специализированной программы «RadExPro+», для непродольных профилей выделялись первые вступления и качественно анализировалась однородность волновых полей. В результате исследований была получена трехслойная скоростная модель. Первая преломляющая граница отнесена к подошве техногенного слоя, средняя скорость до горизонта 300–400 м/с, граничная скорость 670–900 м/с, мощность слоя 0–2 м. Вторая преломляющая граница – это, возможно, отложения песков, средняя скорость до горизонта 570–690 м/с, граничная скорость 1620–1640 м/с, глубина залегания слоя 2–4 м. На продольных профилях 1, 4 и 5 прослежена третья преломляющая граница на глубине 8–10 м, по-видимому, это кровля супесей, скорость до горизонта 1000–1500 м/с, граничная скорость 3140 м/с.

Этот же набор данных, содержащий информацию о 532 временах пробега, затем был использован для обработки методом лучевой сейсмической томографии. В качестве начального приближения использована горизонтально-однородная модель, в которой, скорость продольных волн возрастает линейно от 350 м/с на поверхности до 1900 м/с на глубине 10 м. Пара-

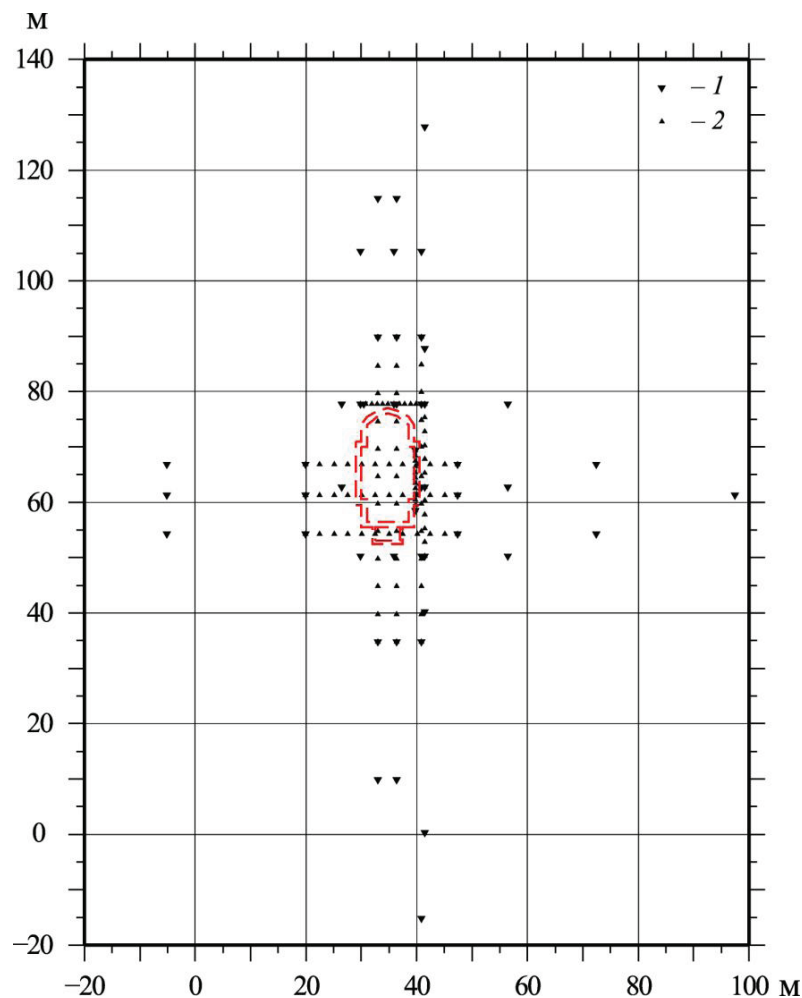


Рис. 1. Схема системы наблюдений для работ МПВ (предварительные исследования)
1 – пункты возбуждения; 2 – пункты прием

метры модели выбраны на основе анализа результатов МПВ и априорной информации о геологическом строении. Линейный размер ячеек для инверсии принят $1 \times 1 \times 1$ м. При расчете полей времен и трассировании сейсмических лучей использовалась сетка детальностью 0.333 м.

Поскольку основная задача исследований заключалась в проверке возможности применения метода в данных условиях, обработка проводилась при нестрогих ограничениях на угловое покрытие и плотность сейсмических лучей (см. [Тихоцкий и др., 2011]). Результаты инверсии представлены на рис. 2, где изображены срезы восстановленной скоростной модели в различных сечениях. Модель получилась сильно неоднородной, она содержит множество мелких скоростных аномалий, достоверность которых сомнительна, что может быть объяснено малым

объемом и несоответствующим качеством данных. Видно, что высокоскоростные аномалии вытягиваются вдоль восточной и северной стен храма, следуя в этих частях внешнему контуру фундамента. Объективность выявленных аномалий, тем не менее, может быть поставлена под сомнение, поскольку она повторяет также асимметричный рисунок системы наблюдений (см. рис. 1).

Полученные на предварительном этапе результаты легли в основу проекта системы наблюдений для полевых работ на 2010 г., которая обеспечивает однородное лучевое покрытие в объеме под исследуемым объектом без размещения источников и приемников внутри контура фундамента. Последнее имитирует ситуацию выполнения исследований основания при возведенном здании.

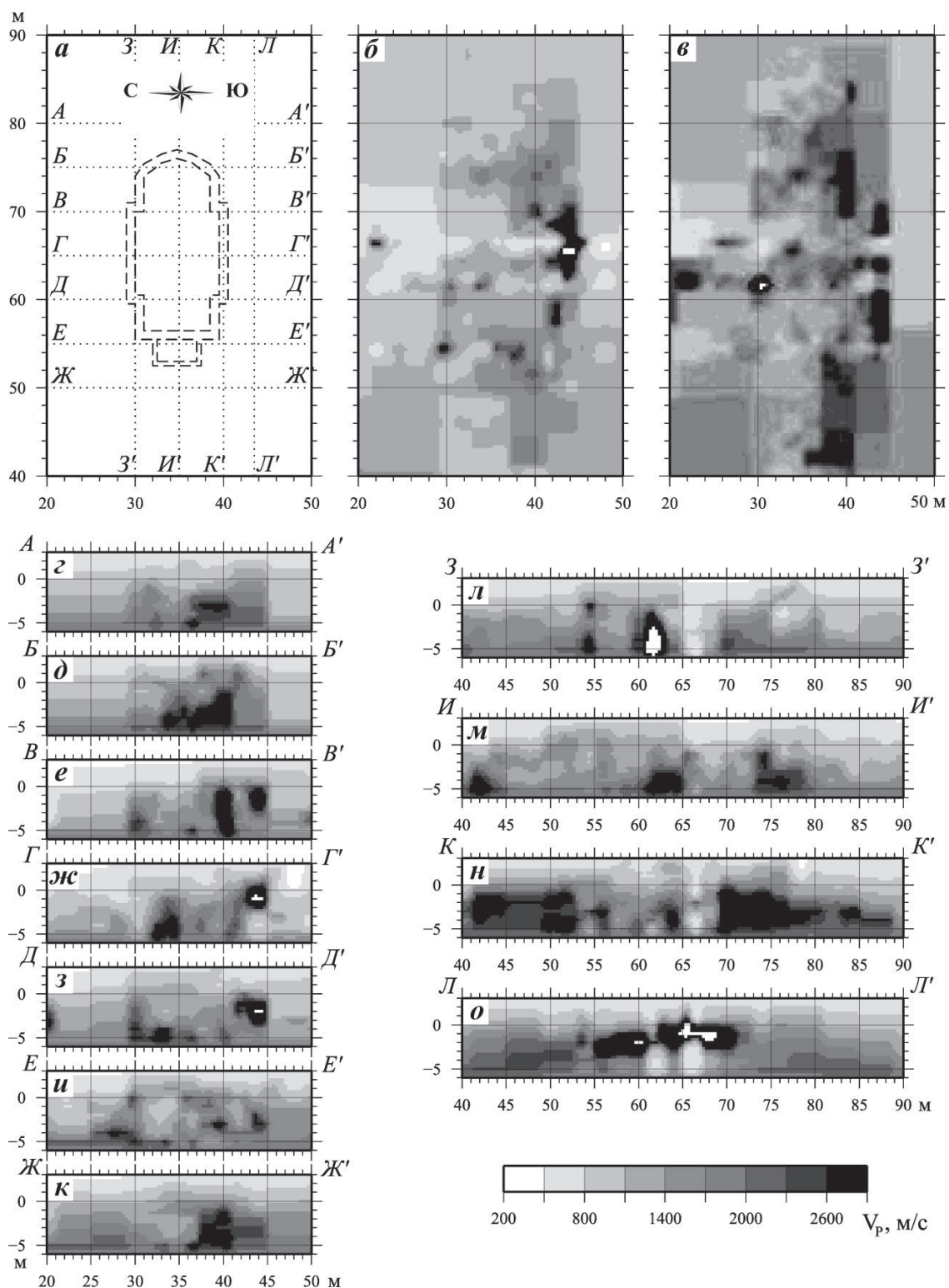


Рис. 2. Результаты предварительных исследований
a – план участка работ со схемой профилей; *б, в* – горизонтальные срезы 3D модели (*б* – глубина 0 м, *в* – глубина 2 м); *z–к* – вертикальные срезы в направлении С-Ю; *л–о* – вертикальные срезы в направлении З-В

ДЕТАЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОЛЕВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Полевые работы 2010 г. проводились с той же аппаратурой и параметрами записи, что и в 2008 г. Система наблюдений показана на рис. 3 и 4, количество ПВ – 48, длина каждого профиля 11 м, на профиле 12 ПП через 1 м (длина профилей по диагонали около 13 м, в зависимости от рельефа). Максимальный вынос ПВ – около 44 м, минимальный – 0 м. Источник возбуждения сигнала тот же (механический) – удары кувалдой по металлической пластине. Для увеличения соотношения сигнал/помеха записи суммировались (серия ударов от 3 до 7, в зависимости от поглощения сигнала), для каждого профиля в среднем производилось 240 ударов.

ла), для каждого профиля в среднем производилось 240 ударов.

При расстановке элементов системы наблюдений типа «звезда» (вокруг фундамента) отработано 24 профиля (рис. 4). Для построения пространственной картины были заданы условные координаты для площадки, отметки рельефа взяты в абсолютных отметках Балтийской системы. В статье для удобства восприятия введена локальная система координат с вертикальной шкалой глубин, отсчитываемой от средней высоты рельефа на участке наблюдений, равной 13 м над уровнем моря Балтийской системы.

Первичная обработка полевых данных состояла в выделении первых вступлений Р-волн. Всего получена информация о 13 824 временах пробега.

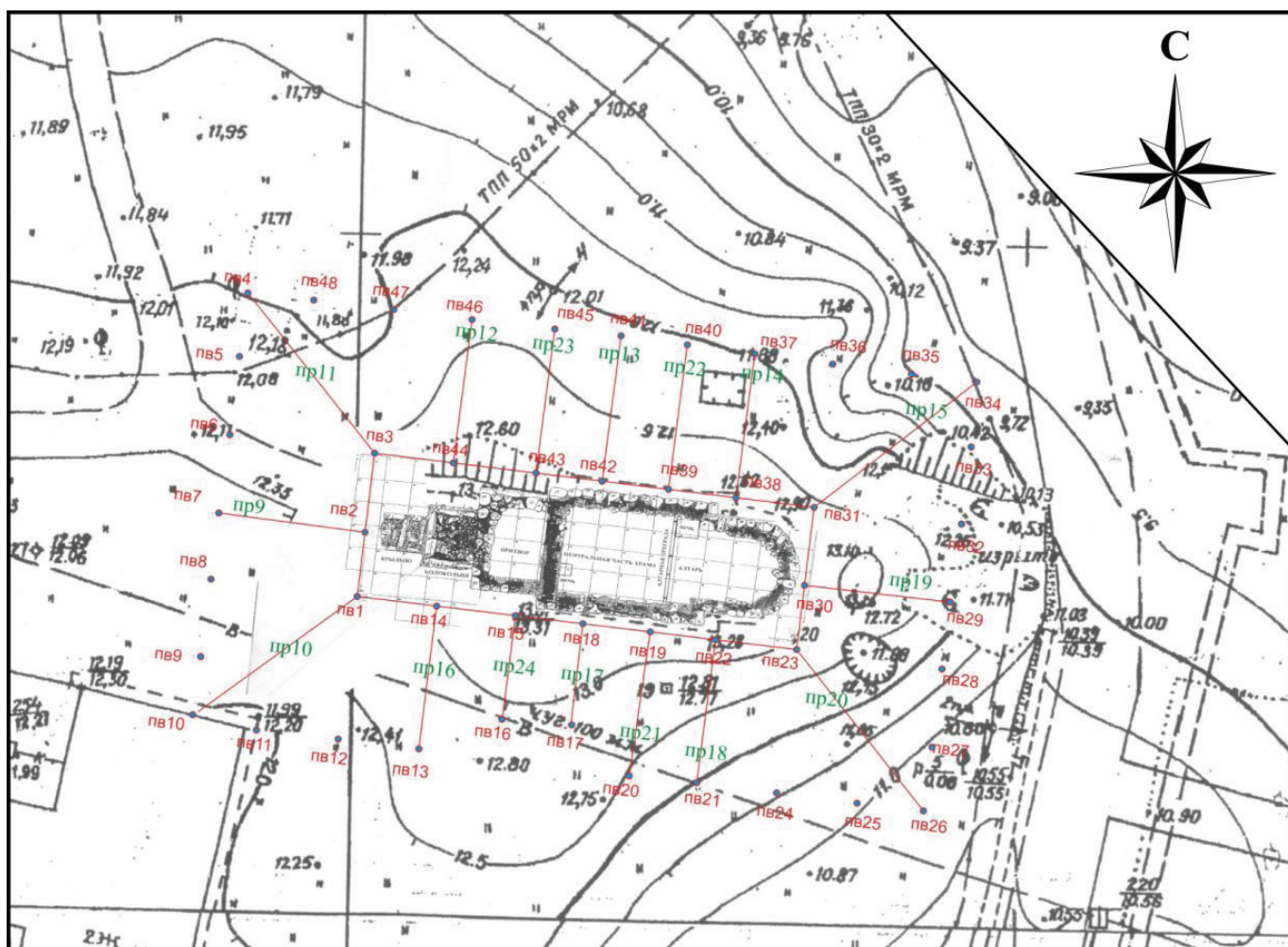


Рис. 3. Схема расположения руин храма Онуфрия Великого

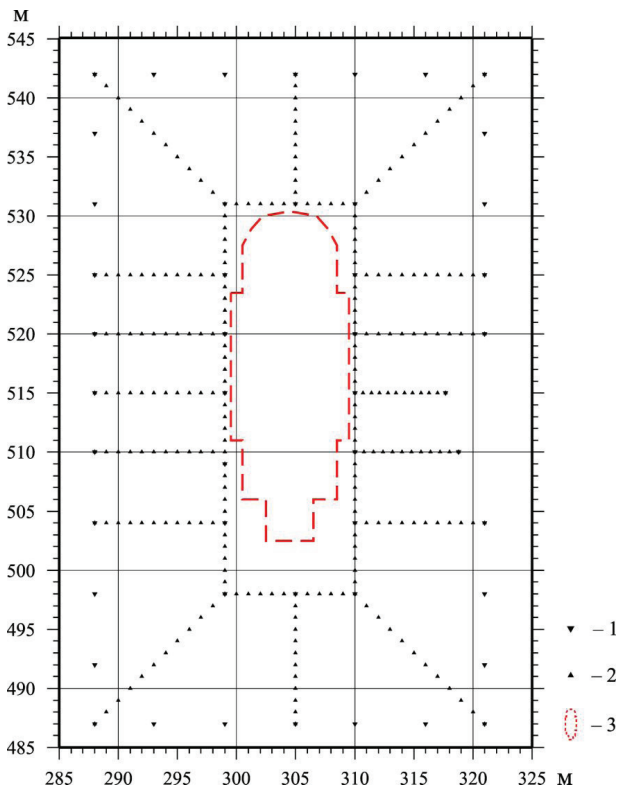


Рис. 4. Схема системы наблюдений сейсмических работ
1 – пункты возбуждения; 2 – пункты приема;
3 – контур церкви

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Исследование разрешающей способности проводилось при помощи имитационного численного моделирования. Аппроксимация распределения скорости в среде осуществлялась при помощи детальной сетки с размером ячейки $0.2 \times 0.2 \times 0.2$ м. Размерность модели составила $201 \times 300 \times 101$ элементов, всего $\sim 6 \cdot 10^6$ ячеек. В качестве начального приближения была использована горизонтально однородная скоростная модель (см. рис. 5), составленная по априорным геолого-геофизическим данным. Имитационная синтетическая модель получена путем наложения на модель начального приближения периодической аномалии «шахматного» типа с различными периодами и амплитудой 12%. Далее для имитационной модели решалась прямая задача: были рассчитаны времена пробега продольных волн. Геометрия имитационного эксперимента тождественна расстановке источников и приемников в реальном полевом экспе-

рименте. Полученные времена пробега затем использовались при решении задачи томографии в качестве экспериментальных данных. Сопоставляя результат инверсии с имитационной моделью, можно судить об устойчивости и разрешающей способности метода при заданных условиях эксперимента.

Выполнено три численных эксперимента для аномалий «шахматного» типа с линейным размером клетки 4 м, 3 м и 2 м соответственно.

На рис. 5 представлены графики зависимости скорости от глубины для характерных участков моделей. Для каждого эксперимента приведены кривые скорости: модели начального приближения; пара кривых в противофазе имитационной синтетической модели, для которой вычислялась прямая задача; пара кривых в противофазе – для восстановленной модели. Видно, что в средней части модели (в интервале глубин 3–10 м) удается неплохо восстановить кривую скорости для клеток размером 3 м и 4 м. Для модели с клеткой в 2 м картина менее четкая, восстановлена только одна клеточка на глубинах 6–8 м, причем с небольшим сдвигом по вертикали.

Однако рис. 5 дает только точечную характеристику модели. Более полно оценить разрешающую способность метода позволяют двухмерные срезы моделей (рис. 6), где приведены горизонтальные и вертикальные срезы. Одна тройка вертикальных срезов (рис. 6, *г, д, е*) расположена вдоль левой стены, для этой серии лучевое покрытие по всей площади срезов максимально. Вторая тройка (рис. 6, *ж, з, и*) проходит через центр модели, здесь можно оценить зону «тени» от центрального «окна» в расстановке и качество получаемого разрешения непосредственно под зданием.

Оценить изменения во временах пробега продольных волн, вносимые добавлением «шахматной» аномалии к базовой модели, позволяют гистограммы невязок времен пробега по лучам (рис. 7), где в верхнем ряду показаны исходные распределения невязок относительно базовой модели, в нижнем – гистограммы невязок восстановленных моделей.

Оценим ошибку расчета времен пробега, вносимую дискретным представлением модели (цифровым шумом). Для ячейки размером 0.2 м, в диапазоне скоростей 300–2000 м/с, ошибка будет составлять 0.1–0.5 мс. Для проверки адекватности выбора размера ячеек детальной сетки, которая используется при расчете полей

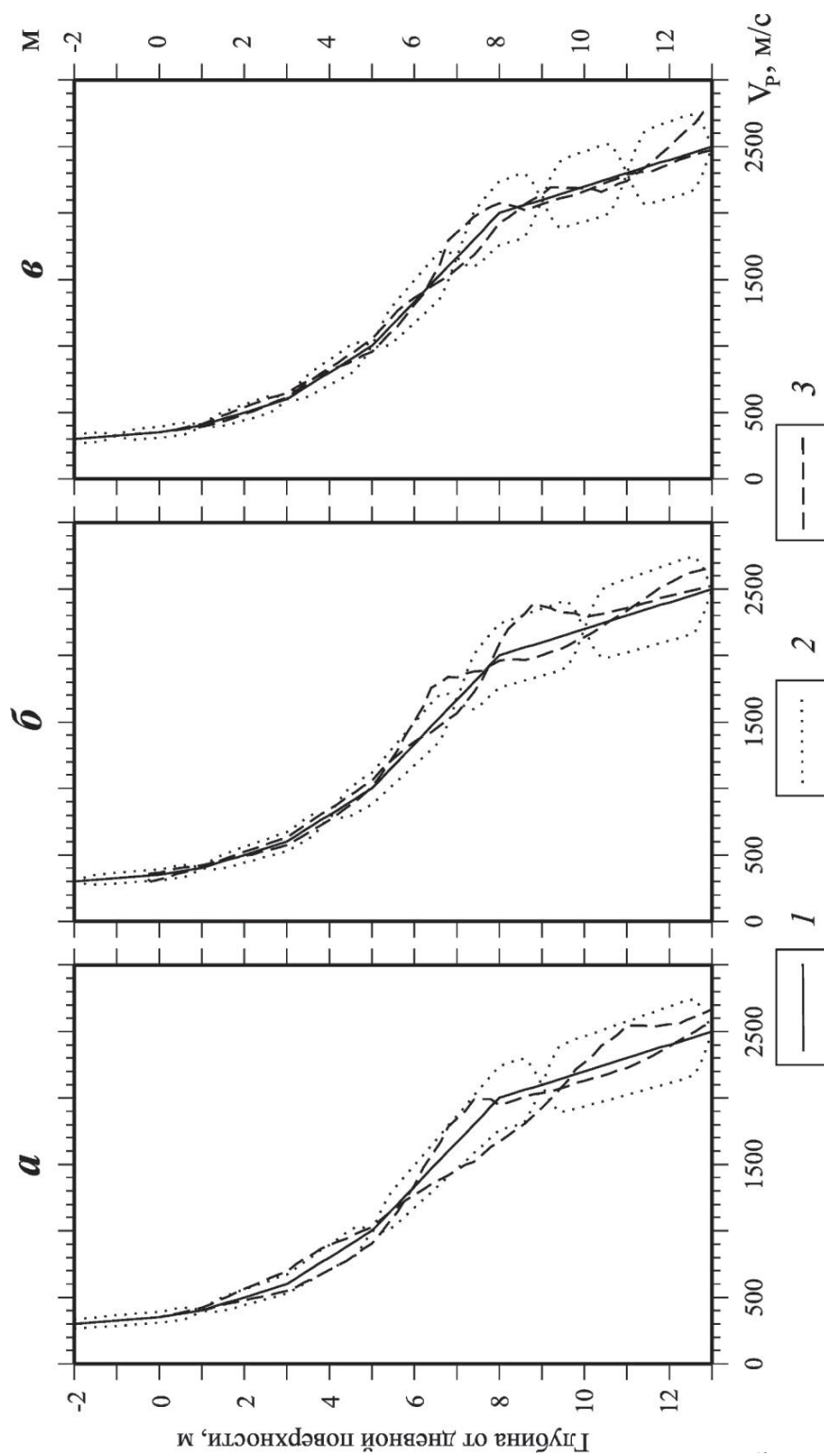


Рис. 5. Графики зависимости скорости от глубины для имитационных моделей. Размер клетки: а – 4x4x4 м, б – 3x3x3 м, в – 2x2x2 м. 1 – модель начального приближения; 2 – синтетическая имитационная модель, с наложенной аномалией шахматного типа; 3 – восстановленная модель

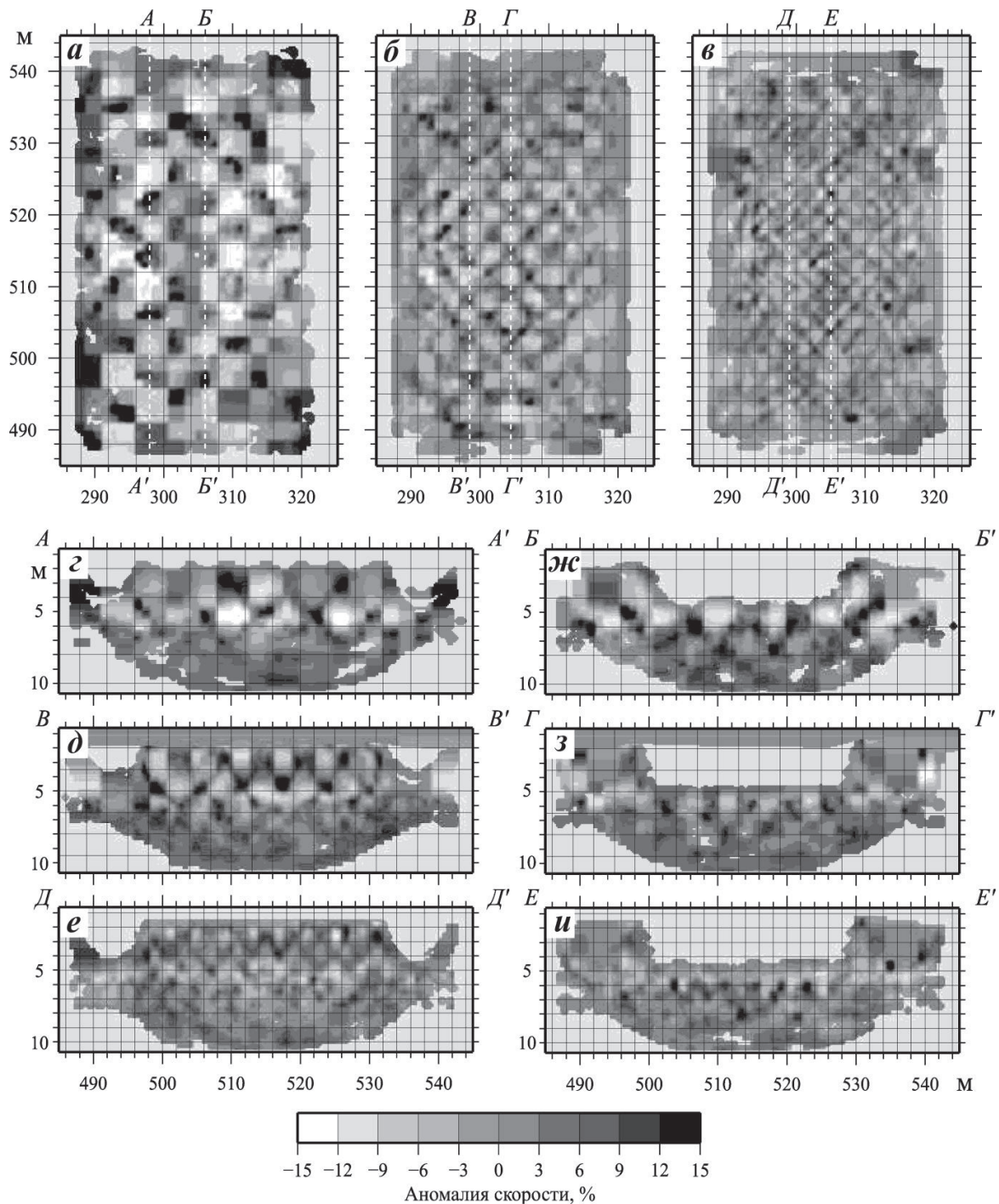


Рис. 6. Сечения восстановленных имитационных моделей: *а* – с клеткой 4×4 м, горизонтальное сечение на глубине 7 м, *б* – с клеткой 3×3 м (горизонтальное сечение на глубине 8.5 м), *в* – с клеткой 2×2 м (горизонтальное сечение на глубине 9 м); *г–и* – вертикальные срезы в направлении В–З, положение обозначено на рис. *а–в*

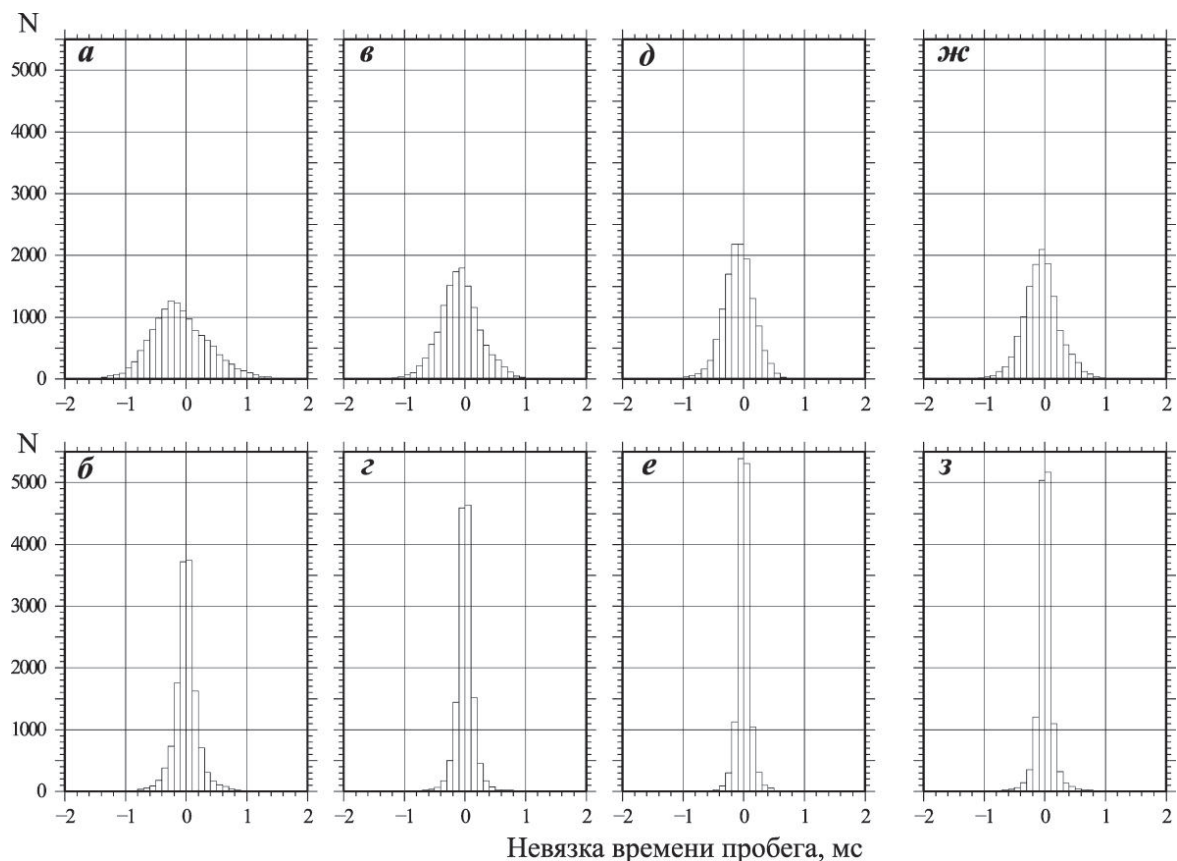


Рис. 7. Гистограммы невязок времен пробега по лучам для имитационного моделирования I – исходные гистограммы для имитационной модели; II – гистограммы восстановленной модели. Размер клетки: а,б – 4'4'4 м; в,г – 3'3'3 м; д,е – 2'2'2 м; ж,з – 3'3'3 м, размер ячейки аппроксимирующей сетки 0.1 м. N – количество лучей

времен, была повторена проверка разрешающей способности (для размера клетки имитационной аномалии 3 м) при размере ячейки детальной сетки – 0.1 м. Результирующие гистограммы приведены на рис. 7, ж, з. Видно, что распределения немного более узкие, чем соответствующие им для размера ячейки 0.2 м, но существенно результат не изменился. Также не изменился и качественный характер восстановленных аномалий скорости.

Таким образом, была получена оценка разрешающей способности используемой системы наблюдений. Из представленного материала видно, что непосредственно под зданием храма наблюдается зона тени от центрального окна, простирающаяся на глубину 3–5 м от дневной поверхности; аномалии скорости в этой области не восстанавливаются. Объем модели, в котором модель восстанавливается наилучшим

образом, расположен на глубинах 3–9 м. Адекватность восстановления имитационной скоростной структуры зависит от качества лучевого покрытия.

ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При обработке полевых данных с помощью алгоритма трехмерной лучевой сейсмической томографии использовались параметры модели, аналогичные принятым при исследовании разрешающей способности. Модель начального приближения показана на рис. 5,а (линия 1). В ходе обработки было проведено семь итераций. Среднеквадратическая невязка для модели начального приближения составила 3.1 мс и в процессе обработки была уменьшена в 3 раза до уровня в 1.1 мс. График изменения среднеква-

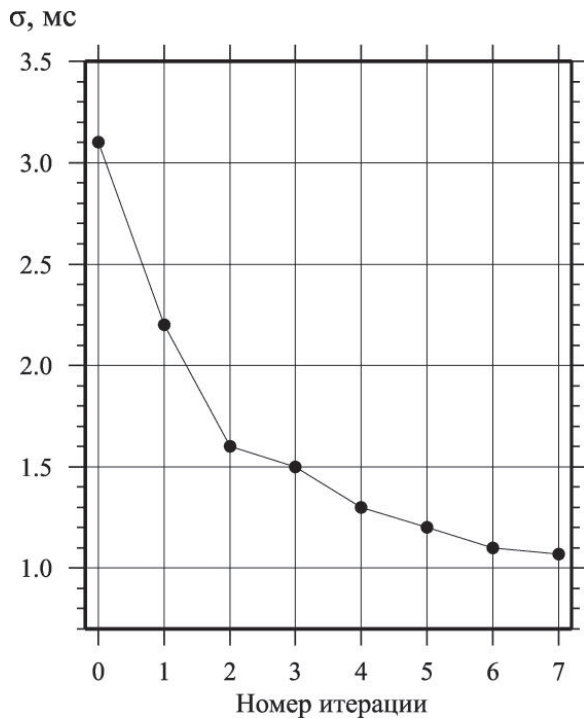


Рис. 8. График изменения средне-квадратической погрешности σ по итерациям

дратической погрешности по итерациям представлен на рис. 8. Более точное представление о распределении невязок до и после обработки дают гистограммы (рис. 9).

Результат обработки представлен срезами модели в различных плоскостях (рис. 10, ориентация модели по сторонам света см. на рис. 3). Наиболее интересная особенность полученной скоростной модели – зона относительно повышенных сейсмических скоростей в южной ее части. Аномалия располагается параллельно храмовому зданию, ширина зоны повышенных скоростей около 10 м, длина превышает размер модели (более 30 м). Амплитуда поднятия 2–3 м. В вертикальных сечениях (рис. 10, ж-п) видно, что данная аномалия, вероятно, связана с геологическим строением и определяется подъемом зоны высокого градиента скорости (маркируемого уровнем 1200 м/с) с глубины 6 м на северном фланге модели (что совпадает с моделью начального приближения) до уровня 3 м вблизи отметки $X = 304, Y = 520$ м (рис. 10, к, ф, х). На глубинах более 6 м в юго-западной части модели наблюдается дальнейшее возрастание скорости до значений, превышающих 2400 м/с.

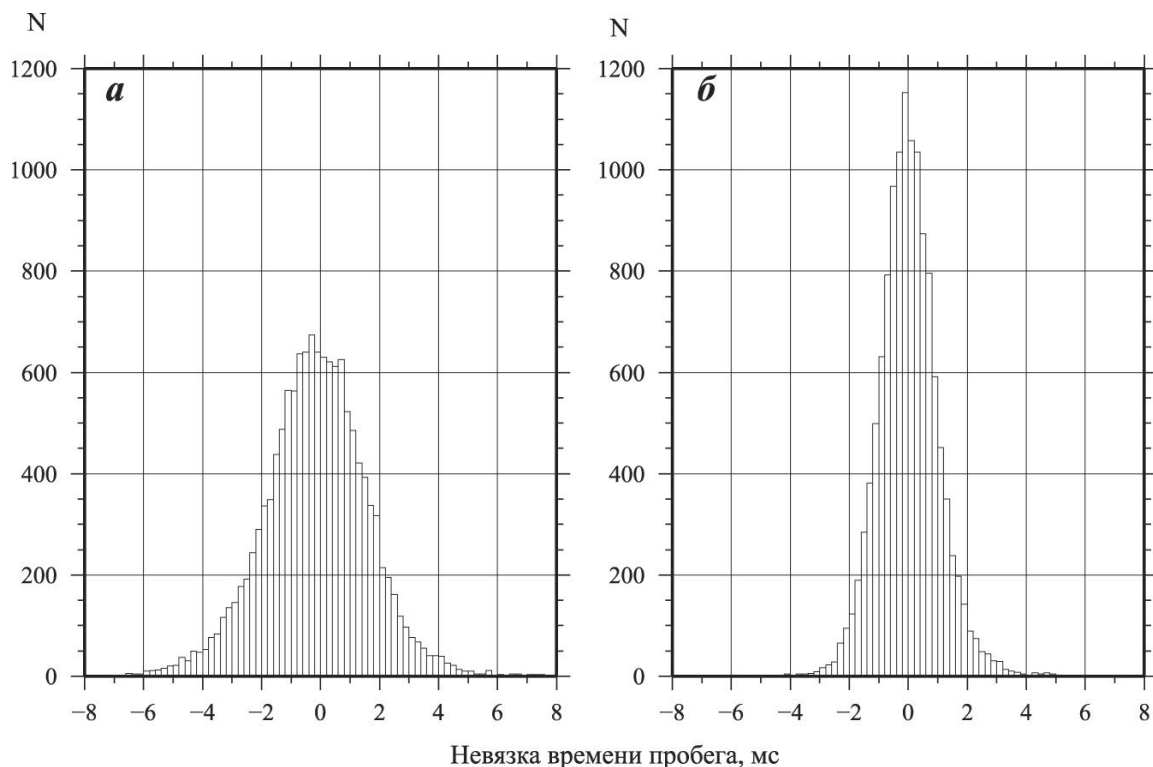
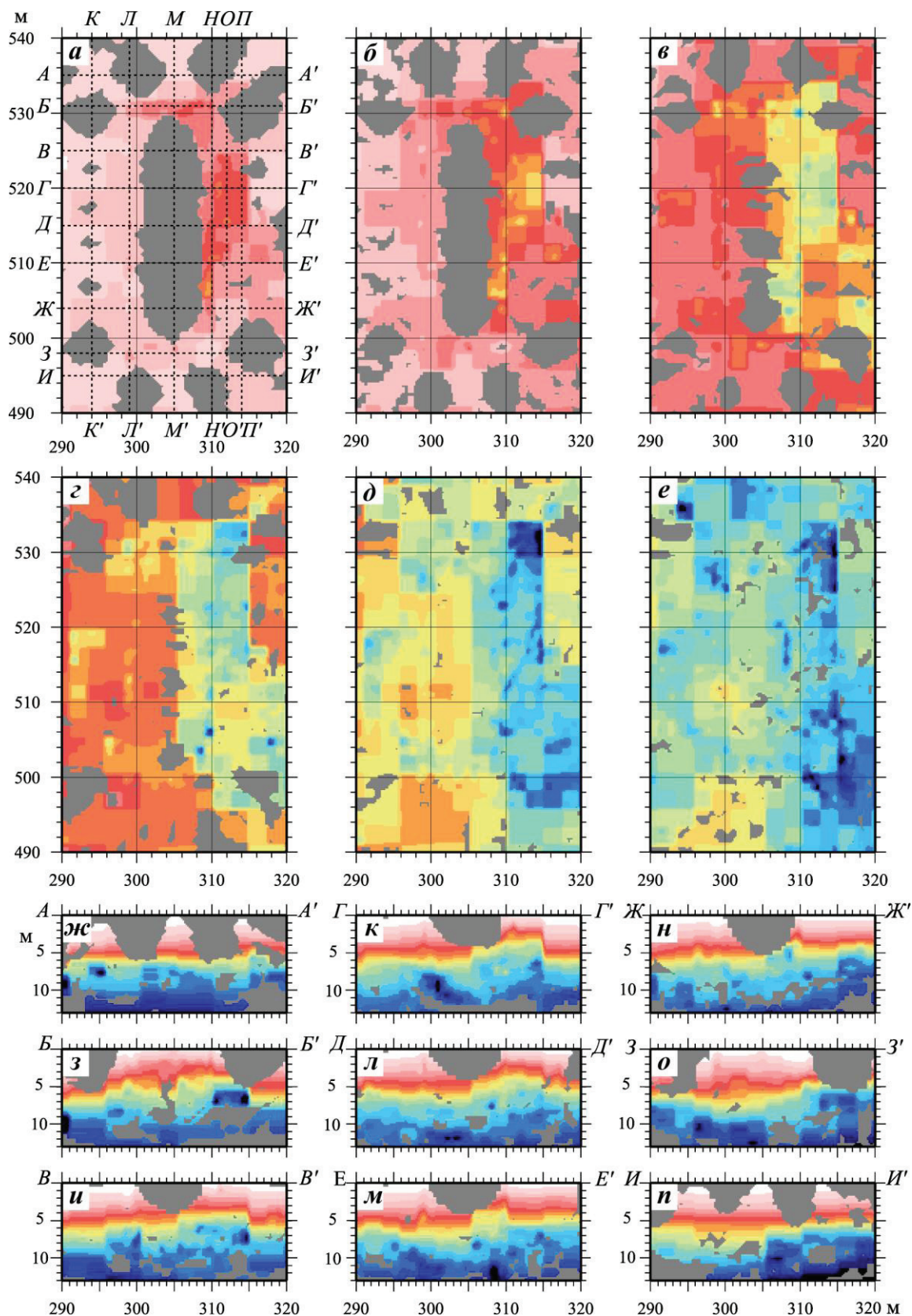


Рис. 9. Гистограммы невязок времен пробега P -волн: *а* – исходные для модели начального приближения, *б* – для восстановленной модели после седьмой итерации. N – количество лучей



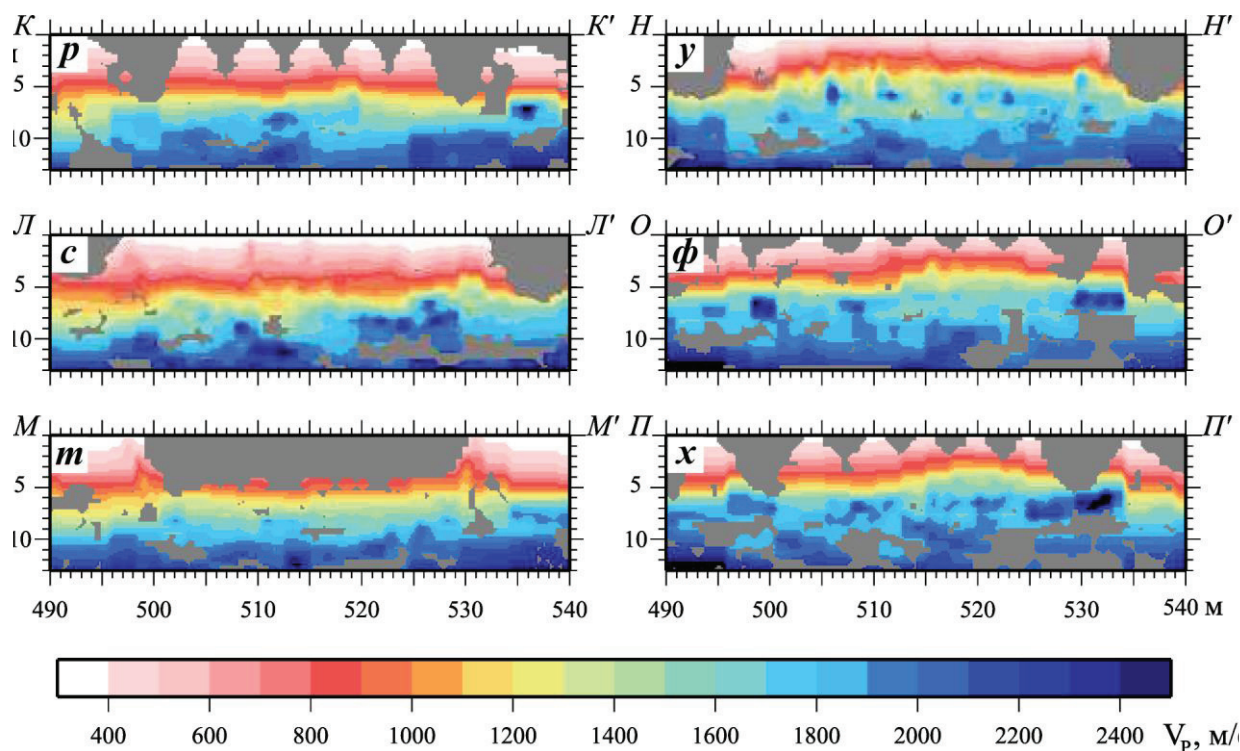


Рис. 10. Сечения восстановленной 3D модели
a–e – горизонтальные сечения на глубинах: *a* – $Z = 2$ м, *б* – $Z = 3$ м, *в* – $Z = 4$ м, *г* – $Z = 5$ м, *д* – $Z = 6$ м, *е* – $Z = 7$ м; *ж–л* – сечения в направлении С-Ю; *p–x* – сечения в направлении В-З. Расположение сечений обозначено на рис. *a*

Описанная картина распределения скорости может быть интерпретирована как ядро антиклинальной складки, что подтверждается конформностью линий уровня скорости и формы поверхности дневного рельефа – руины храма расположены на вершине холма с более крутым северным склоном и с более пологим южным. Таким образом, можно предположить, что обнаруженная масштабная аномалия скорости имеет геологическую природу. Интересно отметить, что эта аномалия была обнаружена и по результатам предварительных исследований (см. рис. 2), однако тогда она рассматривалась как возможный артефакт асимметричной системы наблюдений (см. рис. 1).

Помимо выделенной крупномасштабной аномалии, на глубинах 3–6 м результаты инверсии демонстрируют высокоскоростную аномалию, контур которой хорошо совпадает с положением северной и восточной стен храма. Поскольку эта аномалия наложена на выше описанную структурную скоростную аномалию ге-

ологического происхождения, ее истолкование затруднительно, она может как соответствовать действительному положению фундамента, так и быть следствием описанных геологических особенностей.

Другая интересная структура – обнаруживаемая на срезе 6 м (рис. 10, *д*) низкоскоростная (1000–200 м/с) аномалия, окруженная по периметру высокоскоростным (1500–1700 м/с) контуром; центр аномалии приходится на точку $X = 302$ м, $Y = 512$ м. Аналогичная структура прослеживается на срезах, лежащих выше и ниже (рис. 10, *г, е*), т.е. в диапазоне глубин от 5 до 7 м. Ее идентификация на меньших глубинах затруднительна из-за наличия зоны тени под зданием. По отношению к контуру храма (см. рис. 4) аномалия располагается под северо-западной частью основного здания и северной частью притвора и выходит частично за пределы контура. По нашему мнению, эта аномалия может иметь антропогенное происхождение и соответствовать засыпанному котловану или зо-

не пород, нарушенных в процессе подготовки площадки под строительство. Указанная структура в вертикальном сечении (см. рис. 10, *с, т*) имеет вид «ямы», наложенной на в целом антиклинальное распределение скорости.

На различных срезах модели также наблюдаются локальные изометричные высокоскоростные неоднородности диаметром 1–3 м (рис. 10, *г, ж, л, у*) и со скоростью более 2400 м/с (темно-фиолетовый цвет). Размеры этих элементов вполне соответствуют наилучшей возможной разрешающей способности эксперимента. Их можно интерпретировать как моренные валуны или же счесть артефактами чрезмерной концентрации лучевого покрытия в некоторых точках модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований показана эффективность метода активной лучевой сейсмической томографии применительно к инженерным геофизическим исследованиям. Некоторые сложности при использовании метода создает низкий градиент скорости в верхней части разреза, ответственный за возникновение «зон тени» под изучаемым объектом. В этом случае предпочтительно размещение элементов системы наблюдений (например, приемников) на всей дневной поверхности над целевым объемом. В ситуациях, когда пространство на поверхности над подземным объектом недоступно, метод дает неплохие результаты для глубин более 1/3 минимального горизонтального размера объекта. При этом глубинность метода ограничивается размерами системы наблюдений и мощностью источника колебаний.

Необходимо заметить, что разрешающая способность метода лучевой сейсмической томографии ограничена размером зоны Френеля. В результате спектрального исследования сейсмических записей обнаружено, что продольная волна, регистрируемая в первых вступлениях, имеет центральную частоту около 100 Гц. При скоростях, характерных для изучаемого разреза, размер зоны Френеля будет составлять не менее 3 м. Поэтому для более точного изучения небольших по размеру аномалий (например, археологических объектов) наряду с методом лучевой сейсмической томографии необходимо применять моделирование и инверсию сейсмического волнового поля. Значительные перспек-

тивы также могут быть связаны с использованием поверхностных волн, которые хорошо выделяются на записях, полученных в эксперименте.

В результате применения метода к изучению геологической среды под основанием храма Онуфрия Великого обнаружены структуры, имеющие как геологическое, так, вероятно, и антропогенное происхождение. Следует отметить, что полученные данные представляют значительный интерес для археологов, ведущих раскопки. Это, прежде всего, возможность не работать «вслепую», а сосредоточить усилия на определенных участках. В перспективе предполагается построение системы просвечивания территории внутри стен Спасо-Преображенского монастыря.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность за всестороннюю помощь при выполнении данной работы сотрудникам Соловецкого музея-заповедника. Работа выполнена при частичной поддержке интеграционного проекта УрО РАН 09-И-5-3002.

ЛИТЕРАТУРА

- Басакина И.М., Капустян Н.К.* Новые возможности геофизических методик для обследования природно-архитектурных памятников на примере охраняемого комплекса Соловецкого музея заповедника // Международный симпозиум «Экология арктических и приарктических территорий», г. Архангельск, 2010 г. С. 256–258.
- Тихоцкий С.А., Фокин И.В., Шур Д.Ю.* Активная лучевая сейсмическая томография с использованием адаптивной параметризации среды системой вэйвлет-функций // Физика Земли. 2011. № 4. С. 66–86.
- Tikhotsky S., Achauer U.* Inversion of controlled-source seismic tomography and gravity data with the self-adaptive wavelet parametrization of velocities and interfaces // *Geophys. J. Int.* 2008. V. 172. P. 619–630. doi 10.1111/j.1365-246X.2007.03648.x.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФОКИН Илья Владимирович – инженер, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (499) 254-25-53
E-mail: fokin.ilya@gmail.com

БАСАКИНА Ирина Михайловна – главный специалист, АНЦ УрО РАН. 163000, г. Архангельск, ул. Садовая, д. 3; аспирант, ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23. Тел.: (8182) 21-56-17. E-mail: ibasakina@yandex.ru

КАПУСТЯН Наталия Константиновна – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Главный научный сотрудник ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23. E-mail: nkapustian@gmail.com

ТИХОЦКИЙ Сергей Андреевич – кандидат физико-математических наук, ученый секретарь, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (495)254-25-53. E-mail: sat@ifz.ru

ШУР Дина Юрьевна – научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (495)254-25-53. E-mail: dshur@ifz.ru

APPLICATION EXPERIENCE OF TRAVELTIME SEISMIC TOMOGRAPHY FOR ARCHEOLOGICAL STUDIES OF THE BUILDING FOUNDATIONS AND BASEMENTS

I.V. FOKIN¹, I.M. BASKINA², N.K. KAPUSTJAN^{1,2}, S.A. TIKHOTSKY¹, D.YU. SHUR¹

¹ Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Institute for Ecological Problems of the North, Ural Division RAS, Arkhangelsk, Russia

Abstract. The applicability of the travelttime seismic tomography algorithm with the adaptive media parameterization for the engineering and archaeological studies is investigated. The object under study is the media under the ruins of the church Of St. Onufriy the Great at the Big Solovetskiy island. The experimental geometry for the tomography studies is designed, the data are acquired and processed. The goal is to reveal the details of the church's basement and underlying geological media structure that can't be recovered with other geophysical methods. In order to estimate the adequacy of the results obtained the synthetic experiments were performed using the standard checkboard tests with the 2, 3 and 4 meters cell size. The 3D velocity pattern is then recovered, and is in a good agreement with the information about the church's building plan, geological and archaeological data.

Keywords: travelttime seismic tomography, archaeological studies, Solovetskie islands, engineering seismology.