Потапов П.В[1], Демченко М.Н[2], Гриценко С.А[3]

Численное исследование томографии угольных пластов по данным сейсморазведки и электроразведки

Санкт-Петербург 2015

[1] Заведующий лаборатории борьбы с газодинамическими проявлениями ВостНИИ (Аппаратура, сейсморазведочные и электроразведочные наблюдения в угольных пластах)
[2] Научный сотрудник лаборатории математических проблем геофизики Санкт-Петербургского отделение Математического института им. В.А. Стеклова РАН (Прямая задача электроразведки для многократных наблюдений в угольных пластах)
[3] Заведующий лаборатории методических разработок интерпретации сейсмических данных ВСЕГЕИ (Обработка и томография геофизических наблюдений в угольных пластах)

Аннотация

В работе рассматриваются геофизические методы изучения угольных пластов в шахтах Кузбасса. Кратко рассмотрены аппаратура, способы выполнения геофизической съёмки и алгоритмы обработки для прогнозирования геологических свойств угольных толщь перед их промышленной разработкой. Основное внимание уделено модельному исследованию возможностей томографической обработки сейсморазведочных и электроразведочных данных с учётом практики проведения геофизических наблюдений.

Введение

История (Потапов)

Обзор аналогичных работ в других районах (Потапов)

Объем выполняемых наблюдений в Кузбассе (Потапов)

1. Аппаратура, наблюдения и алгоритмы

1.1 Аппаратура (Потапов)

1.2 Методы, схемы и технологии наблюдений (Потапов)

1.3 Алгоритм прямой задачи электроразведки

Прямая задача подразумевает нахождение в проводящей среде потенциала при известном расположении питающих электродов и известном удельном электрическом сопротивлении (УЭС) среды. В данной реализации используется следующая геометрическая модель проводящей среды. Пространство разделено на два однородных полупространства, имеющих УЭС ρ_1 и ρ_2, между которыми расположен угольный пласт

толщины H и ширины L (расстояние между штреками). Предполагается, что вне исследуемой части угольного пласта, расположенной между двумя штреками, верхнее и нижнее полупространства разделены непроводящим воздушным слоем. УЭС угольной породы зависит лишь от двух горизонтальных координат и является частью входных данных. Питающие электроды A, B подключаются в штреке к кровле и подошве пласта, располагаясь один над другим. Приемные электроды M, N подключаются аналогично в другом штреке.

Ток I, питающий электроды A и B, считается постоянным. Создаваемый им потенциал U удовлетворяет уравнению

$$div(\sigma \nabla U) = I\,\delta_A - I\,\delta_B \qquad (1)$$

где σ - удельная электропроводность, обратная величина УЭС. На границе области, занимаемой проводящей средой, выполняется краевое условие Неймана

$$\frac{\partial U}{\partial n} = 0$$

и условие равенства потенциала нулю на бесконечности.

В применяемой разностной схеме используется конечная неравномерная сетка $\{(x_i, y_j, z_k)\}_{i,j,k}$, покрывающая достаточно большой объем пространства. Сетка имеет сгущения узлов в окрестности питающих электродов, кровли и подошвы пласта. Выбран следующий аналог уравнения (1) для сеточной функции $U_{i,j,k}$:

$$\left(\sigma U_{\bar{x}}\right)_{\hat{x}} + \left(\sigma U_{\bar{y}}\right)_{\hat{y}} + \left(\sigma U_{\bar{z}}\right)_{\hat{z}} = f_{i,j,k}$$

где

$$\left(\sigma U_{\bar{x}}\right)_{\hat{x}} = \frac{1}{\bar{h}_i}\left(\sigma_{i+1,j,k}\,(U_{i+1,j,k} - U_{i,j,k})/h_{i+1} - \sigma_{i,j,k}\,(U_{i,j,k} - U_{i-1,j,k})/h_i\right),$$

$$h_i = x_i - x_{i-1}, \qquad \bar{h}_i = (h_{i+1} + h_i)/2$$

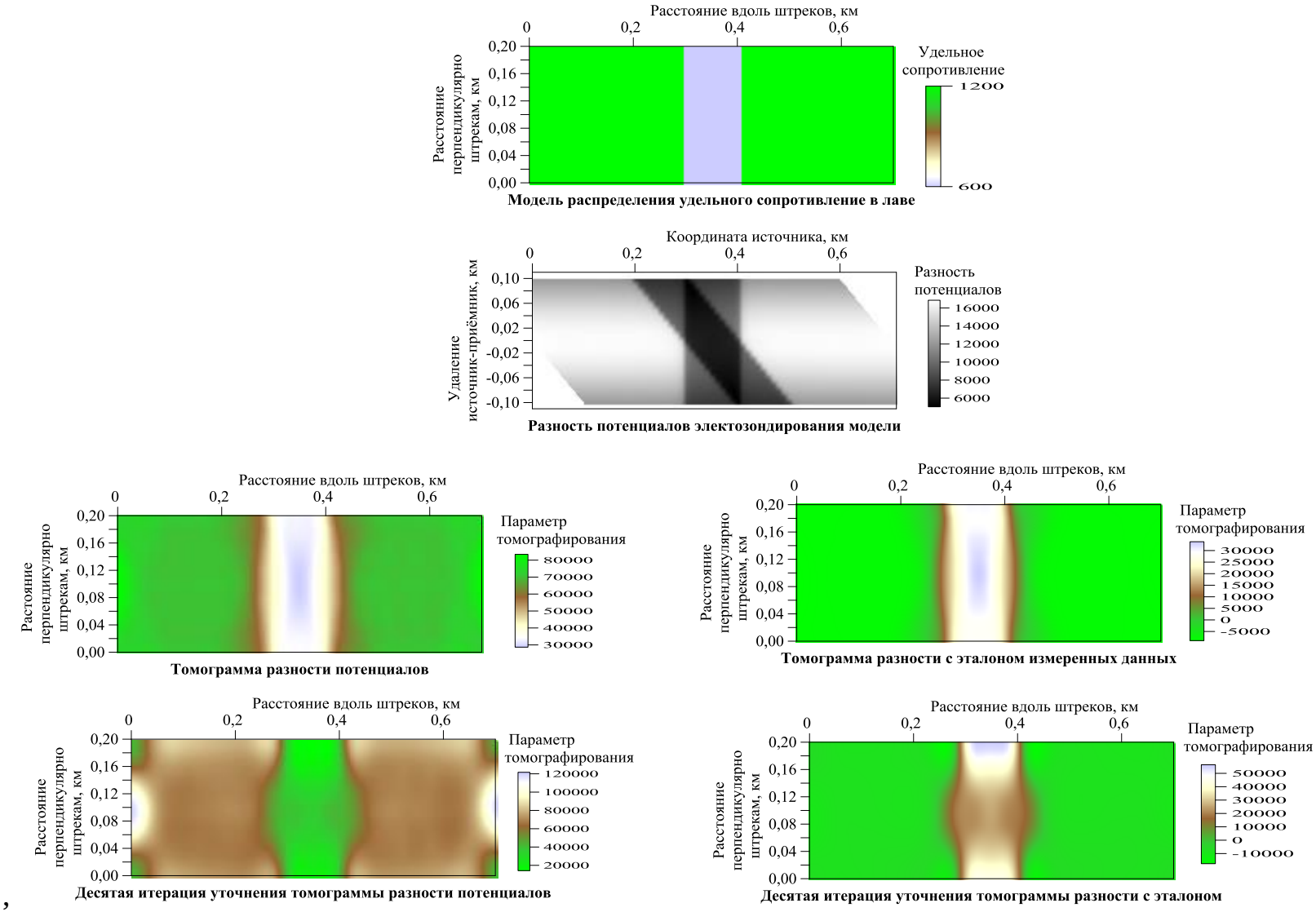
К соответствующей системе линейных алгебраических уравнений применяется преобразование: симметризации (необходимой из-за неравномерности сетки), отщепления одномерного ядра, возникающего из-за краевых условий Неймана. Преобразованная система решается методом сопряженных градиентов с предобусловливателем.

1.4 Алгоритм прямого задачи сейсморазведки (Гриценко)

1.5 Алгоритм томографии. (Гриценко)

2. Численное исследование томографических изображений по данным электроразведки и сейсморазведки

Исследование заключалось в расчёте электроразведочных (разности потенциалов, (раздел 1.3) и сейсморазведочных (времён первых вступлений, (раздел 1.4)) данных в моделях удельных сопротивлений и медленностей угольного пласта. После чего по таким данным в многократных системах наблюдения воздействий в штреках, ограничивающих угольный пласт рассчитывались томограммы угольного пласта (раздел 1.5). Рассматривались модели с вертикальными, наклонными, горизонтальными и точечными аномалиями угольного пласта. В случае электроразведочных данных угольный пласт имел мощность 2 м. Данные рассчитывались в сетках лавы 10 на 10 метров при шаге источников и приёмников 10 м. Результаты таких численных экспериментов представлены ниже на рис. 1-8.



,

Рис. 1. Сравнение томограмм потенциалов(справа) и разности потенциалов с их эталоном (слева)

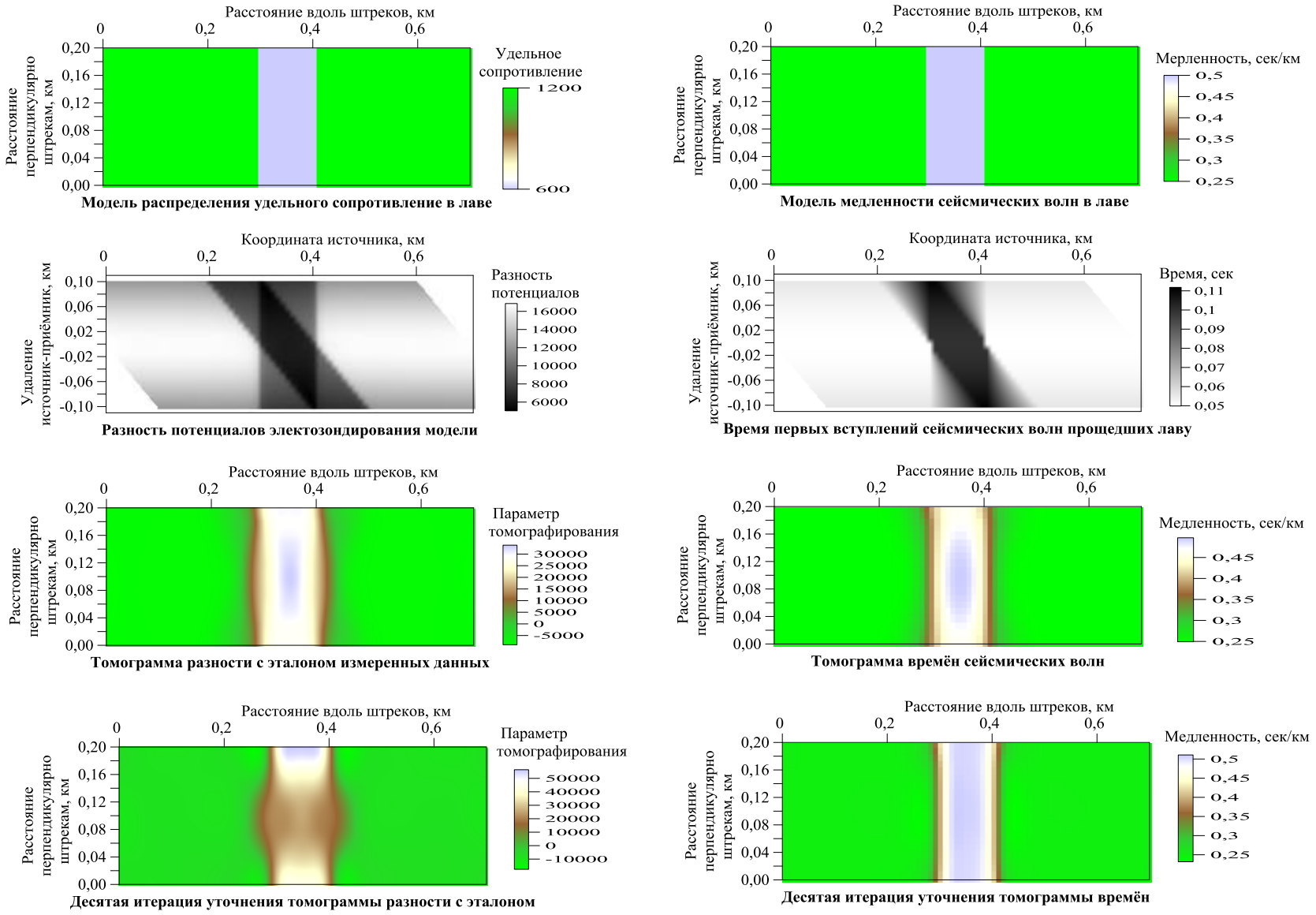


Рис. 2. Аномалия, перпендикулярная штрекам

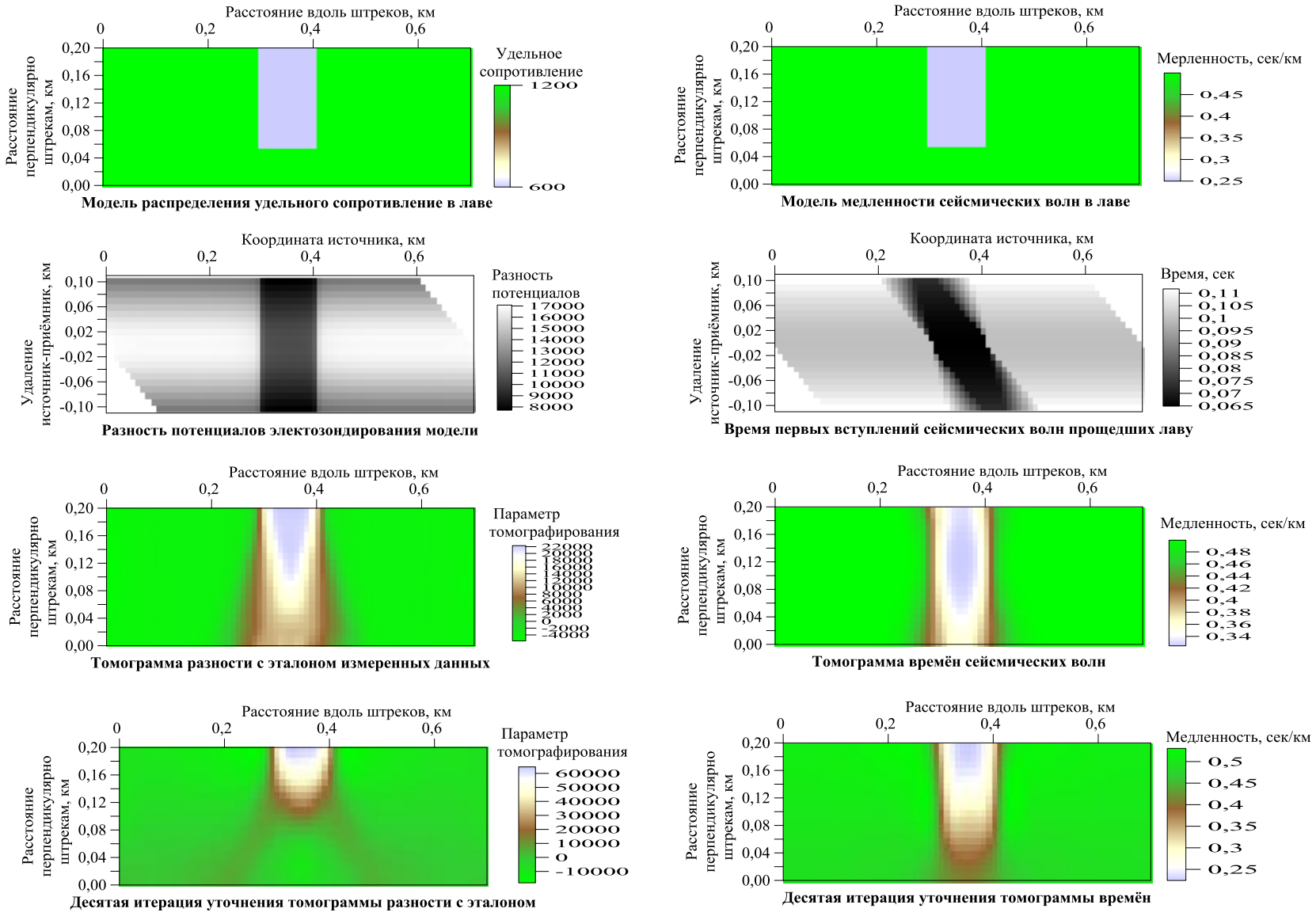
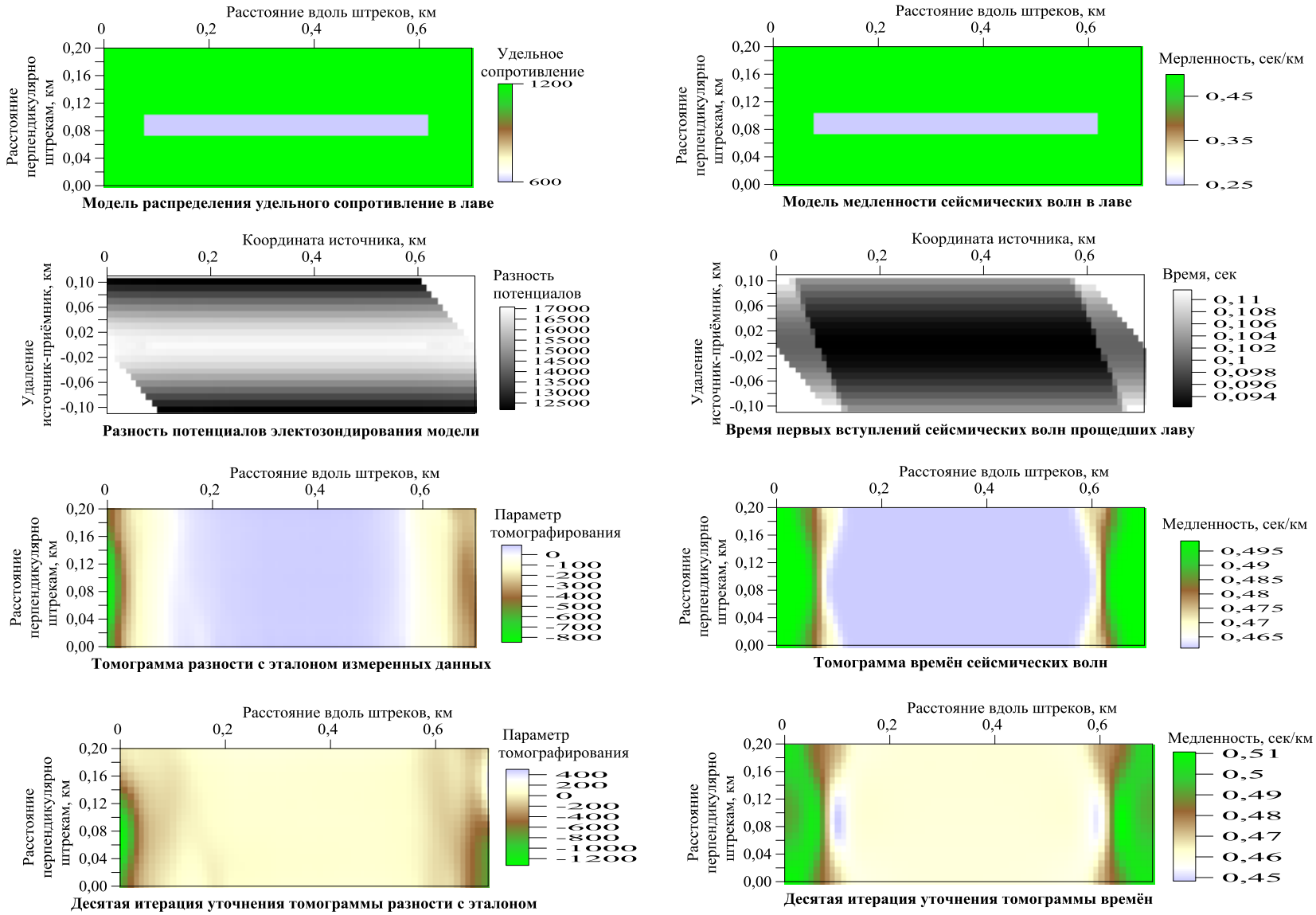


Рис. 3. Частичная аномалия, перпендикулярная штрекам



,

Рис. 4. Аномалия, параллельная штрекам

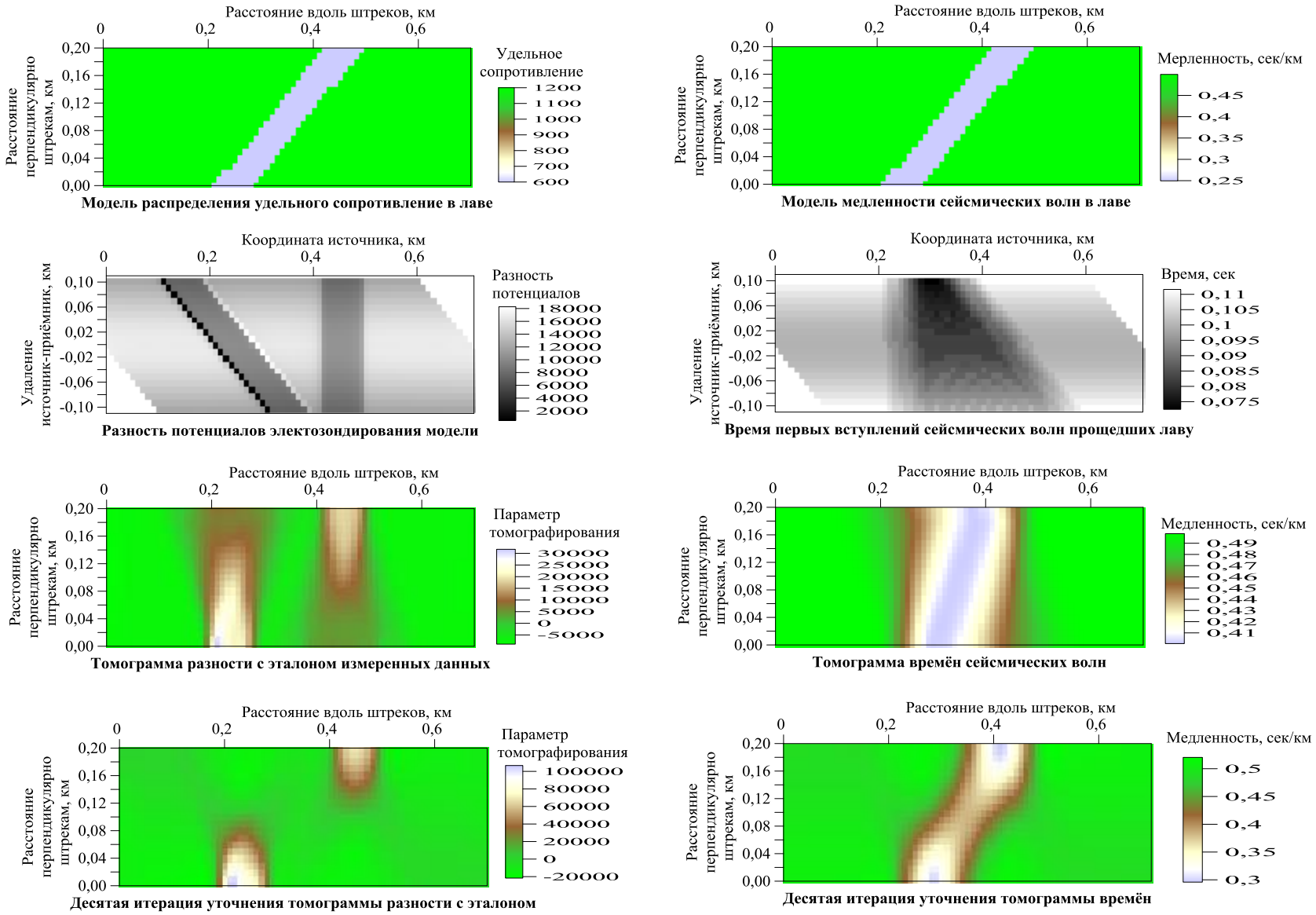


Рис. 5. Аномалия наклонная к штрекам

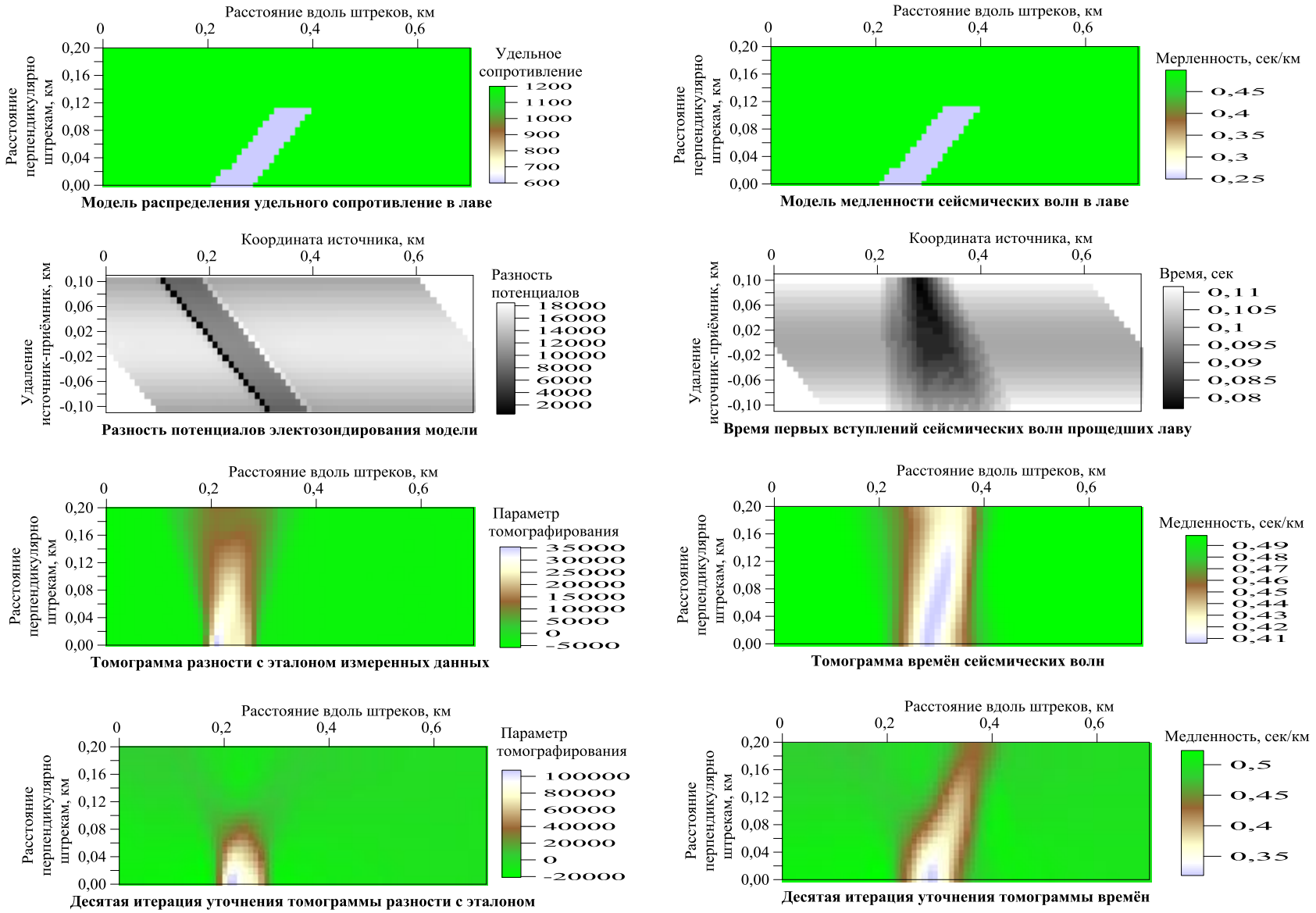


Рис. 6. Аномалия наклонная к штрекам не достигающая одного из штреков

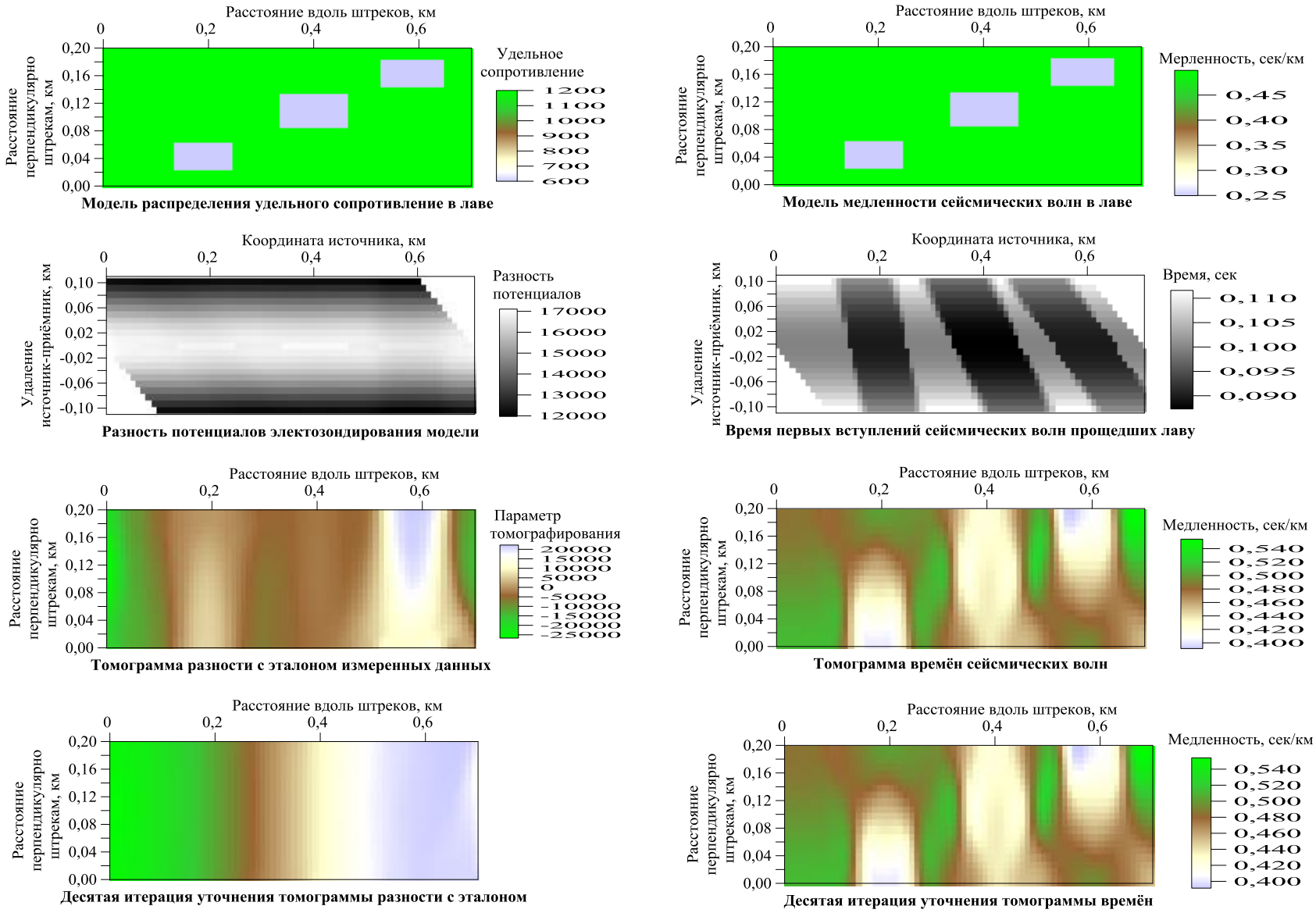


Рис. 7. Точечные аномалии внутри лавы снизу вверх

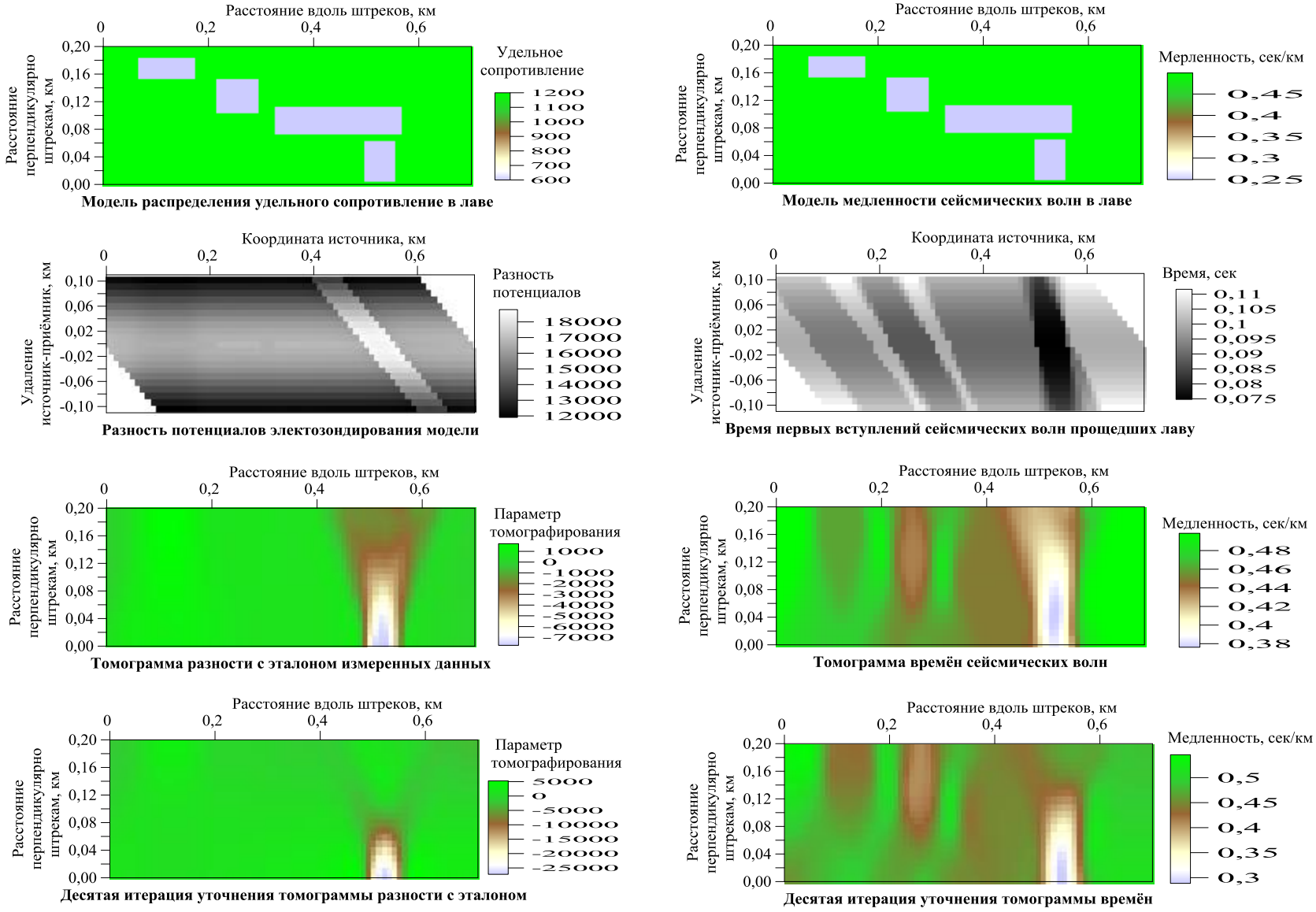


Рис. 8. Точечные аномалии внутри лавы сверху вниз

3. Комментарии

1. Томограммы модели правильные в случае сейсморазведочных данных и не горизонтальных аномалий в отличии от томограмм электроразведочных данных
2. Аномалии параллельные штрекам не восстанавливаются на томограммах по электроразведочным и сейсморазведочным данным. Для их восстановления требуются наблюдения перпендикулярные штрекам (рис. 4)
3. В случае электроразведочных данных лучшие томограммы получаются, когда исходные данные формируются путём вычитания измеренных данных из их эталона, а не непосредственного томографирования измерений потенциалов (см. рис. 1)
4. В случае электроразведочных данных аномалия удельного сопротивления восстанавливается тогда, когда она строго перпендикулярна штрекам (рис. 2)
5. В случае электроразведочных данных и аномалии перпендикулярной штреках уточнение томографии ухудшает восстановление аномалии (рис. 1, Рис.2)
6. В случае аномалии наклонной к штрекам по электроразведочным данным восстанавливается лишь только начала её и конец на штреках (Рис. 5., Рис.6 - слева)
7. В случае сейсморазведочных данных аномалия наклонная штрекам восстанавливается, но с неправильным наклонам. (Рис. 5, Рис.6 - справа). Для восстановления правильного наклона необходимы наблюдения перпендикулярные штрекам.
8. В случае электроразведочных данных наибольшее влияние на данные и томограммы имеют аномалии вблизи штреков (рис. 7., Рис. 8)
9. В случае сейсморазведочных данных аномалии на томограммах размываются перпендикулярно штрекам (рис. 8)

4. Заключение

В результате выполненных численных исследований установлено что по данным сейсморазведки в параллельных штреках может быть получено приемлемое томографическое изображение угольного пласта между штреками. Невозможность выявления аномалий параллельных штрекам и размытость локальных аномалий, а также неправильные углы наклонных аномалий связаны с отсутствием наблюдений на линиях перпендикулярных штрекам.

По данным электроразведочных наблюдений невозможно получить качественно правильные томографические изображения, кроме случая аномалий перпендикулярных штрекам и протягивающимся от одного штрека к другому. В случае наклонных к штрекам аномалий, а также локальных аномалий лаве на томографическом изображении проявляются только аномалии в областях близких к штрекам. Последнее означает что томограммы по данные электроразведки содержат в основном информацию об аномалиях близких к штрекам и не чувствительны к серединной части угольного пласта. В связи с чем необходима разработка другого способа решения обратной задачи для электроразведочных данных отличного от томографического восстановления угольного пласта в рамках лучевых методов.

5. **Благодарности** (Потапов)

Литература (Все)