

# Реализация алгоритма определения границ тоннелей методом зеркального обращения времени с использованием технологии Coarray Fortran

---

Галактионова Анастасия  
Андреевна, д.ф.-м.н.  
Решетова Галина Витальевна,  
ИВМиМГ СО РАН

---

Суперкомпьютерные дни в России  
2024 Москва, 23 - 24 сентября  
2024

# Содержание

- Введение
- Метод решения
- Постановка задачи
- Численный метод
- Эксперименты
- Параллельная
- реализация

# Введение



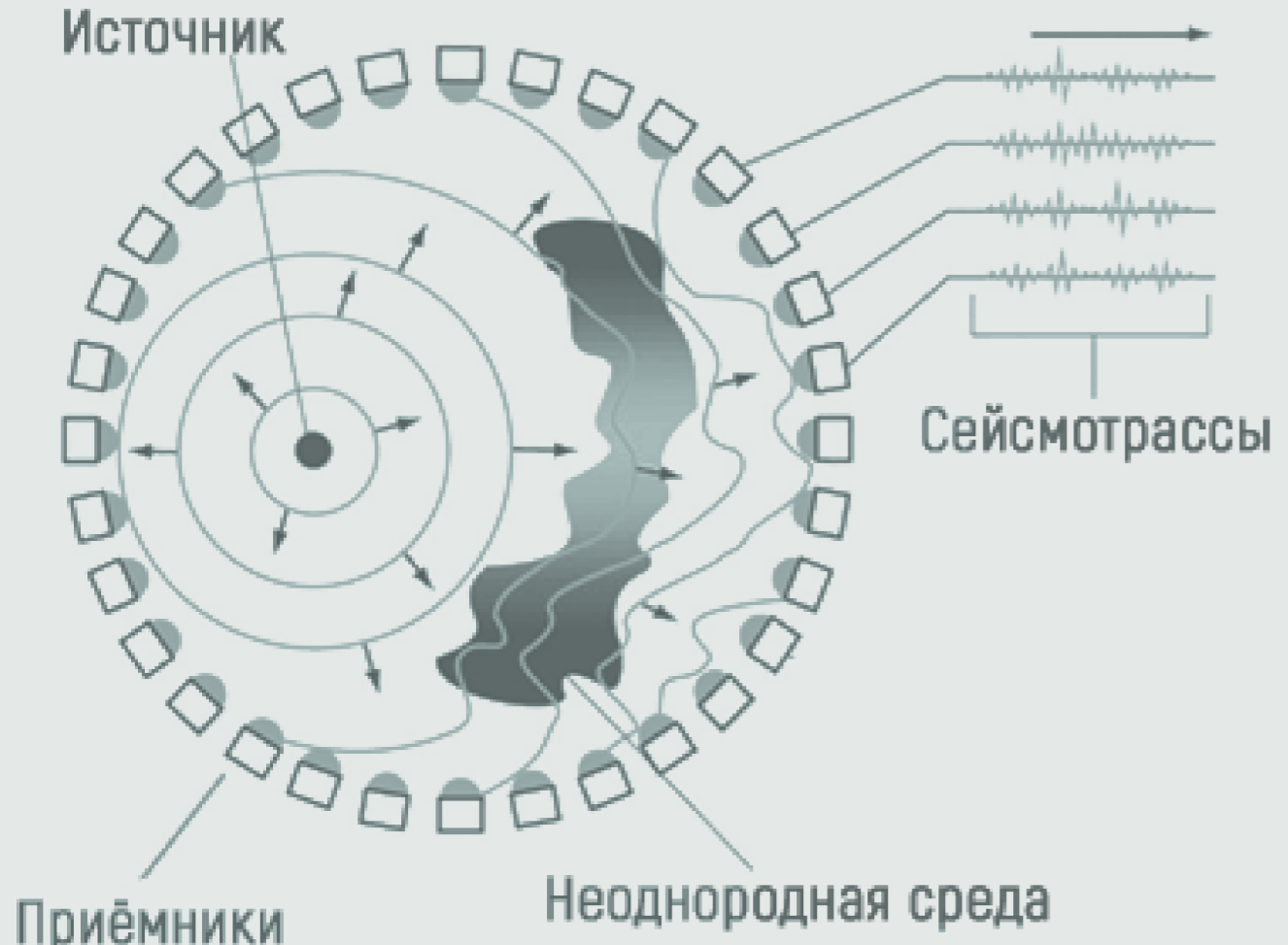
Незаконные тоннели

Заброшенные горные выработки

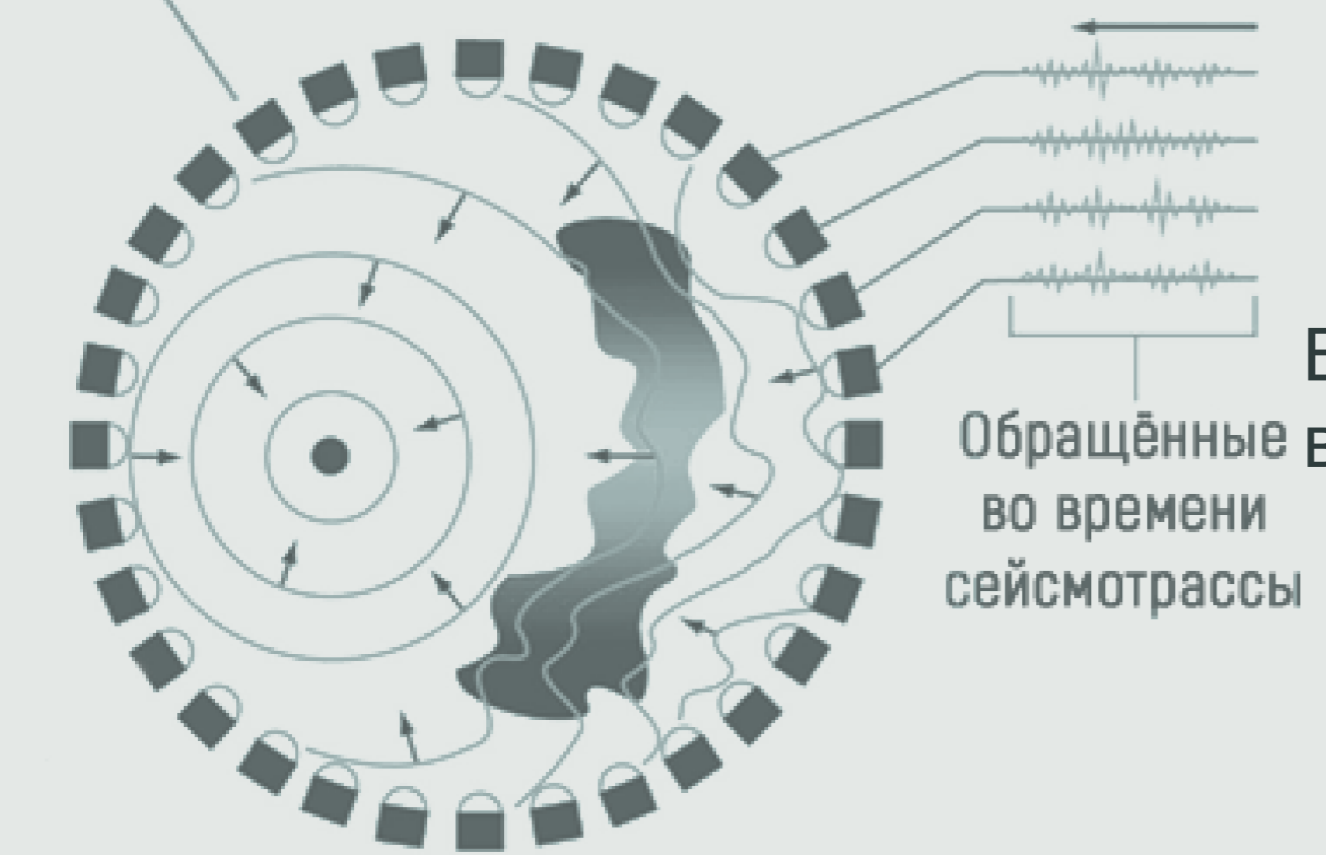
Пустотные карстовые образования

- Gurbuz, A., Cafer, J., McClellan, W., Scott, G., Larson: Seismic Tunnel Imaging and Detection. 2006 International Conference on Image Processing (2006)
- Counts, T., Larson, G., Gurbuz, A., McClellan, J., and Scott, Jr., Waymond: Investigation of the detection of shallow tunnels using electromagnetic and seismic waves. SPIE Proceedings (2007)
- Sherman, Ch., Rector, J., Dreger, D., Glaser, S.: A numerical study of surface-wavebased tunnel detection at the Black Diamond Mines Regional Preserve, California. GEOPHYSICS **83**(4) (2018)
- Clean, S., Pateric, S., Miller, B., Ivanov, I., Schwank, J., McKenna, J.: Detecting clandestine tunnels by using near surface seismic techniques. Geophysics **80** (2015)

# Метод решения. TRM (Time Reversal Mirror)



Локализация неоднородностей



Восстановление источников акустических/сейсмических

Неразрушающий контроль

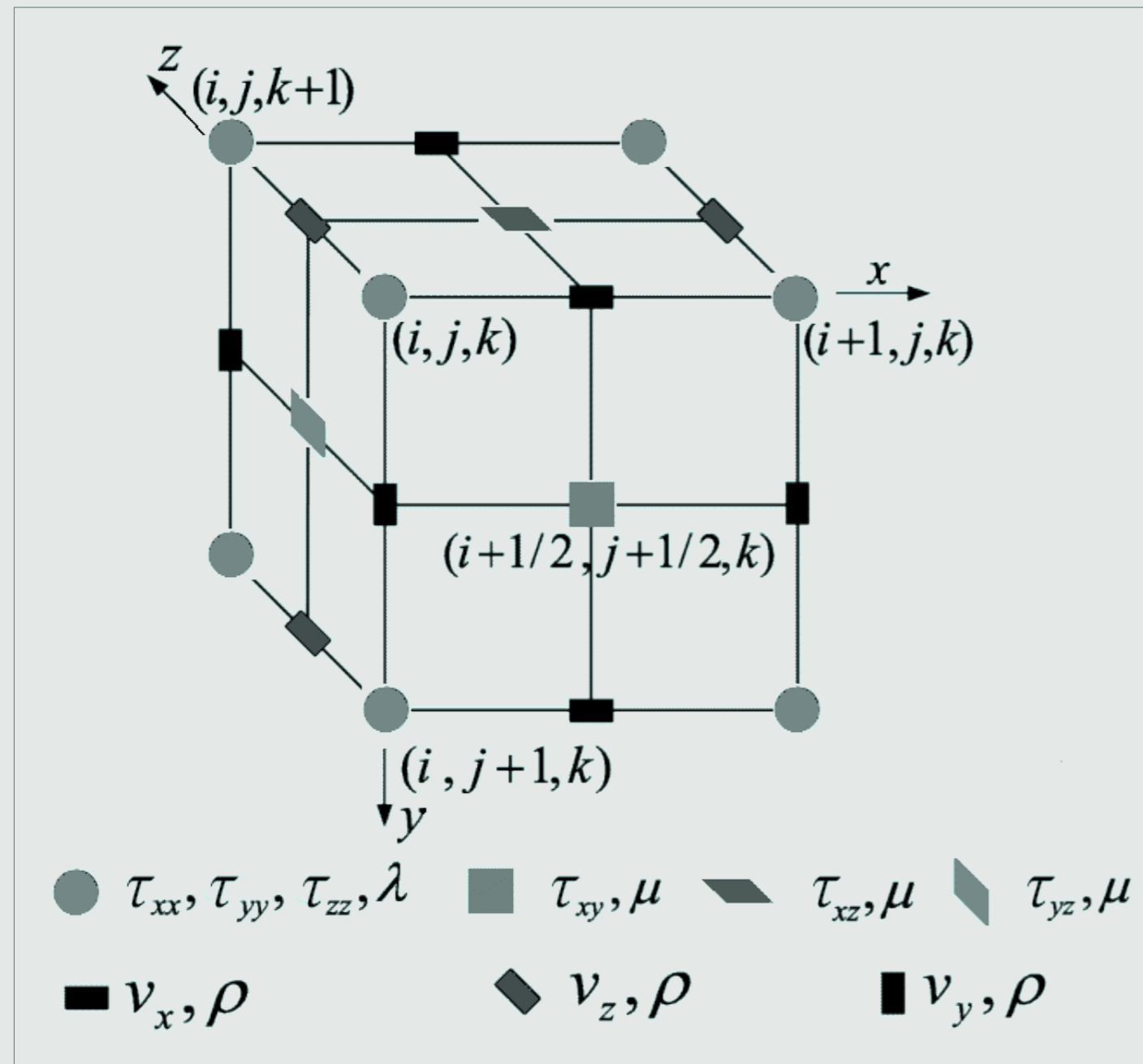
# Метод решения. Математическая постановка

Система уравнений динамической теории упругости в скоростях –  
напряжениях:

,

Центр расширения:

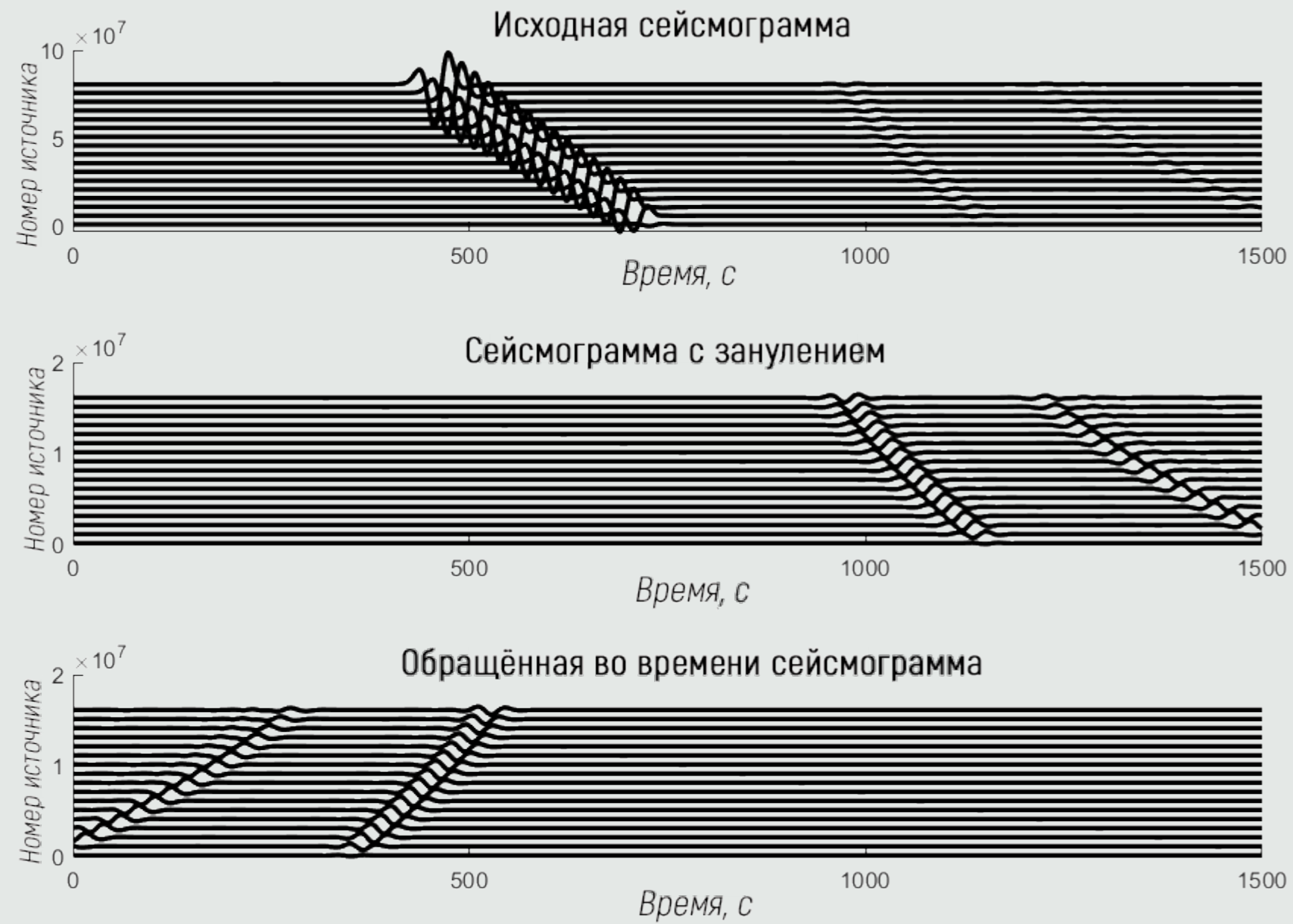
# Вычислительная схема



**PML**

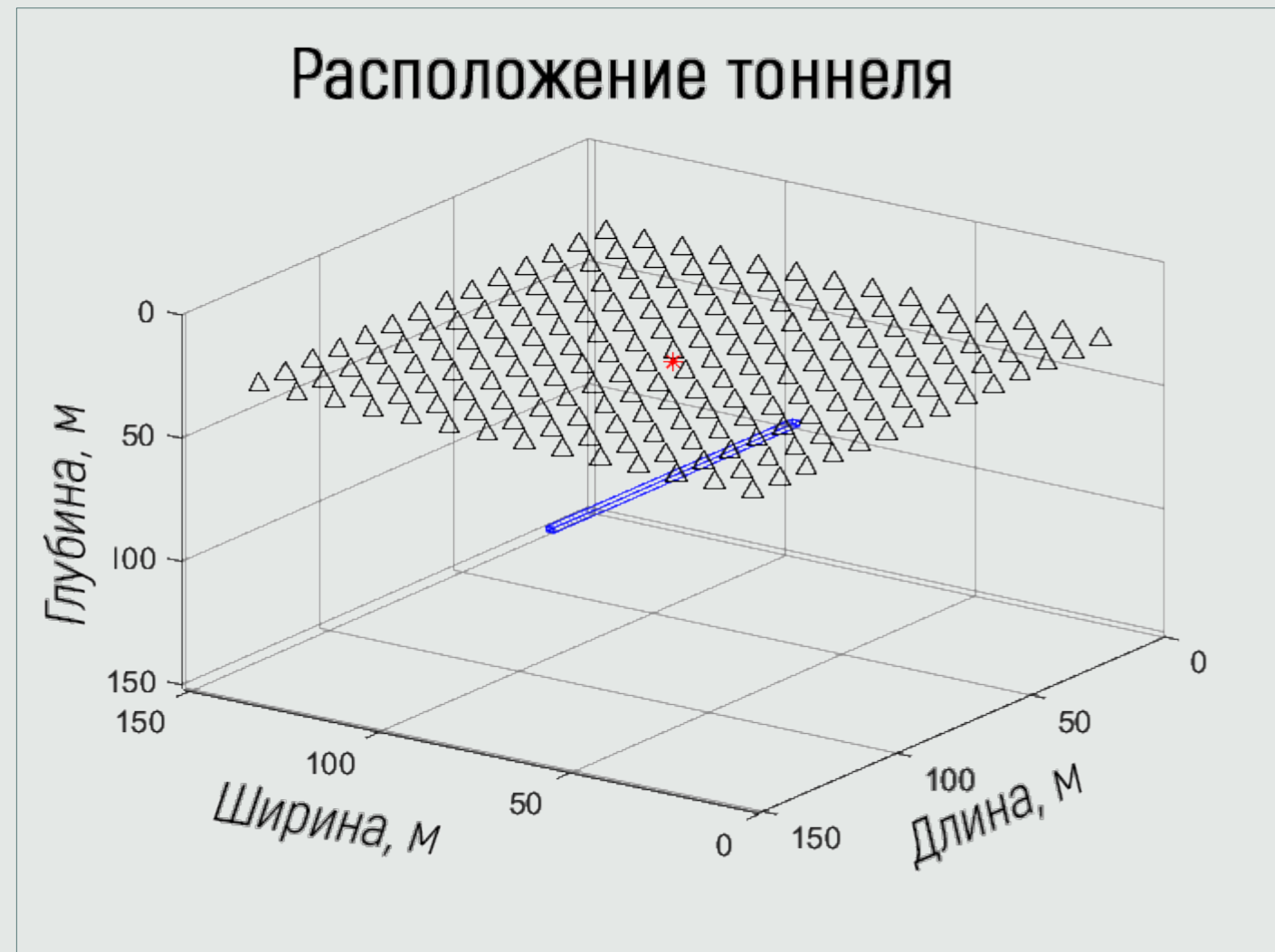
# Обращение TRM

Суммарная энергия волнового поля:



- компоненты напряжения

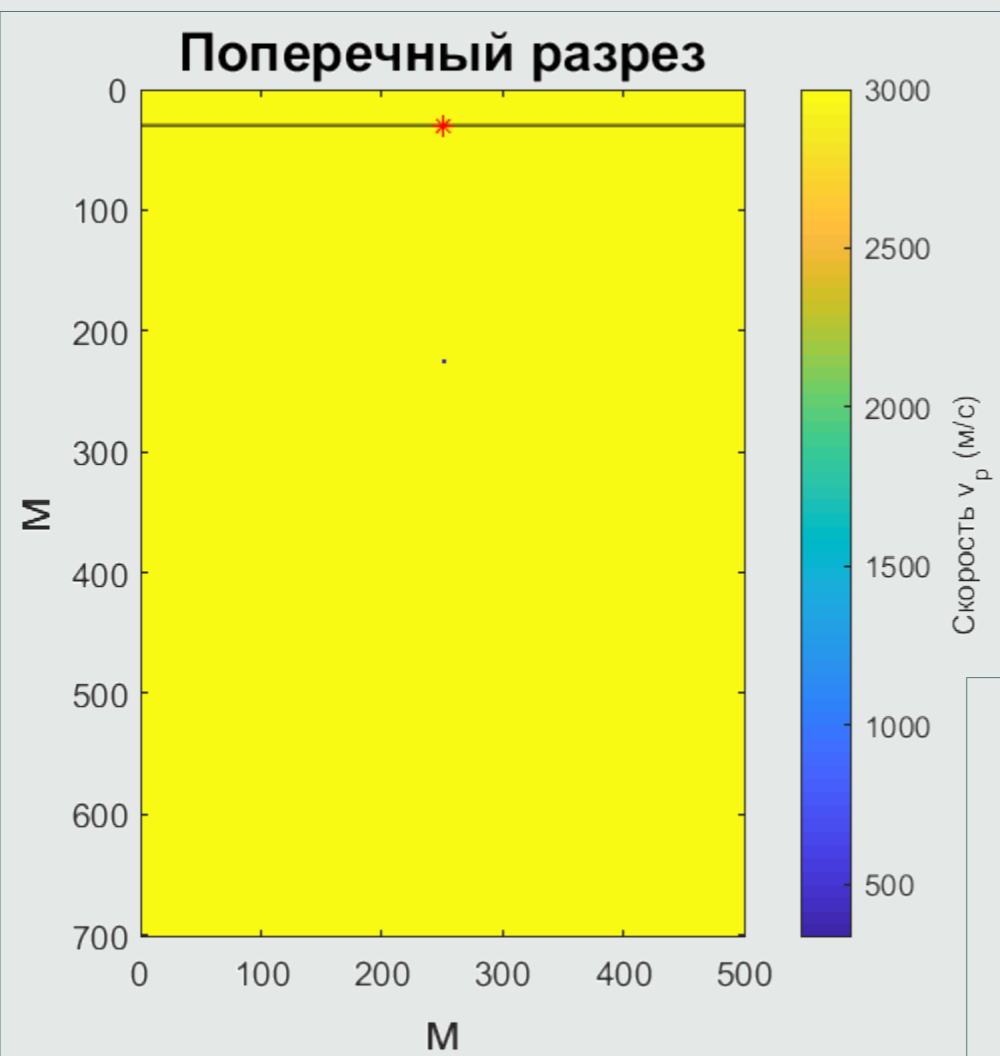
# Расчётная модель



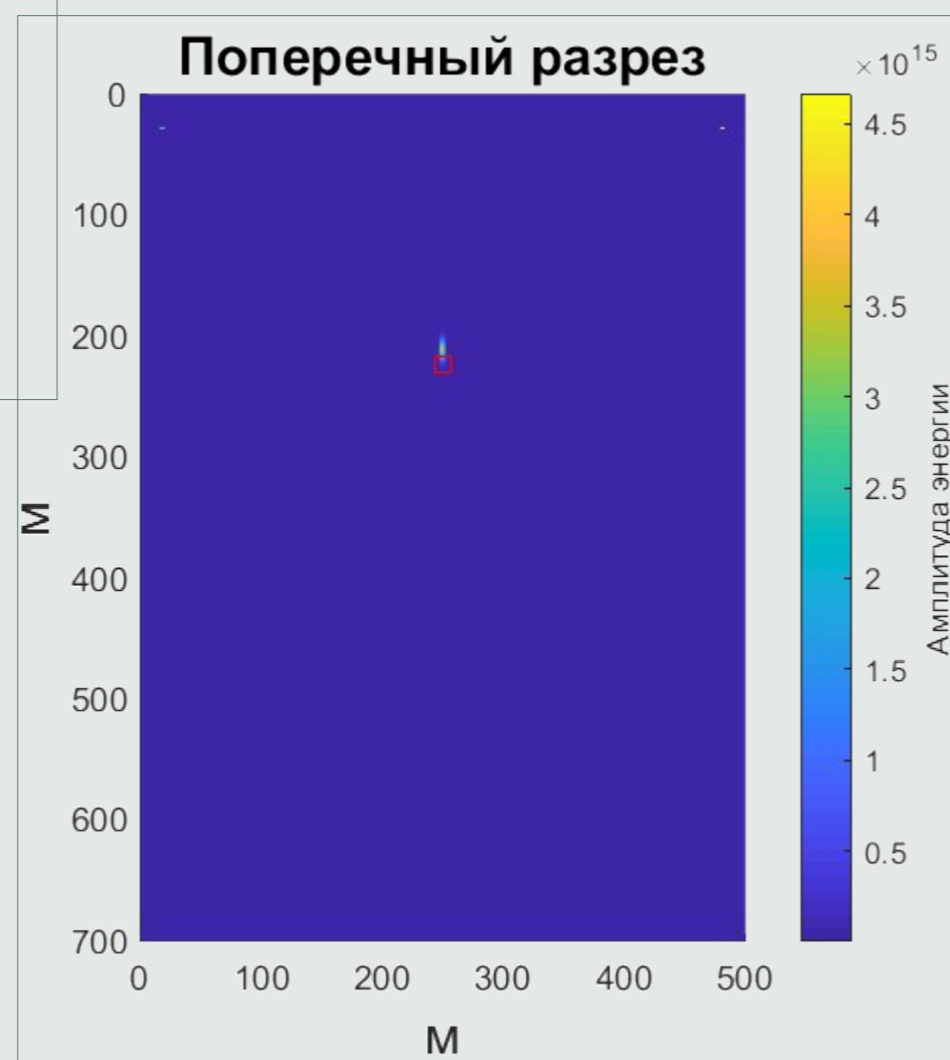
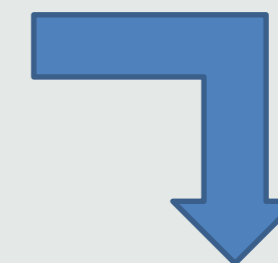
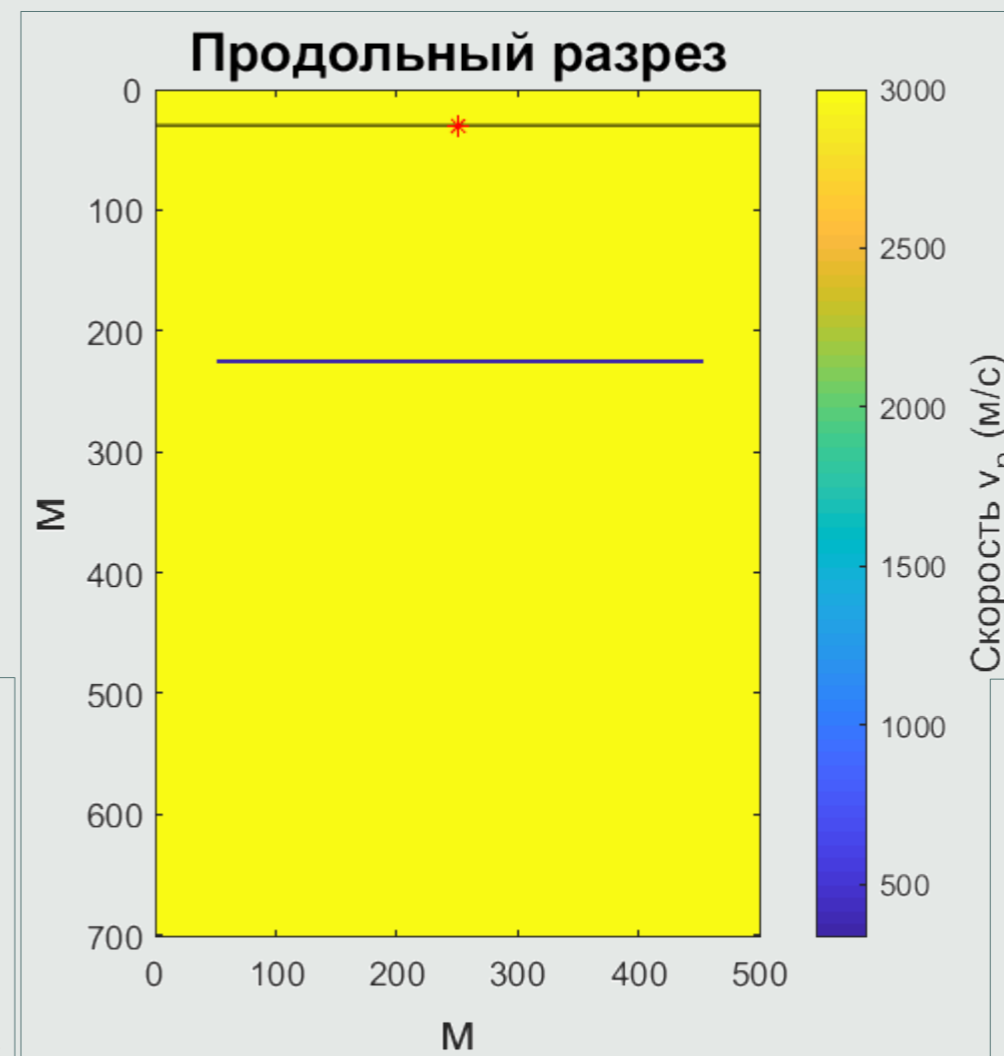
- Ширина PML слоя 20 м
- Источник расположен в центре поверхности
- Приемники равномерно распределены по поверхности
- Доминирующая частота импульса в источнике Гц.
- Параметры в среде:
  
- Параметры в туннеле:
  
- Синтетические данные рассчитывались до момента времени с шагом



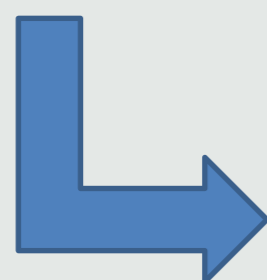
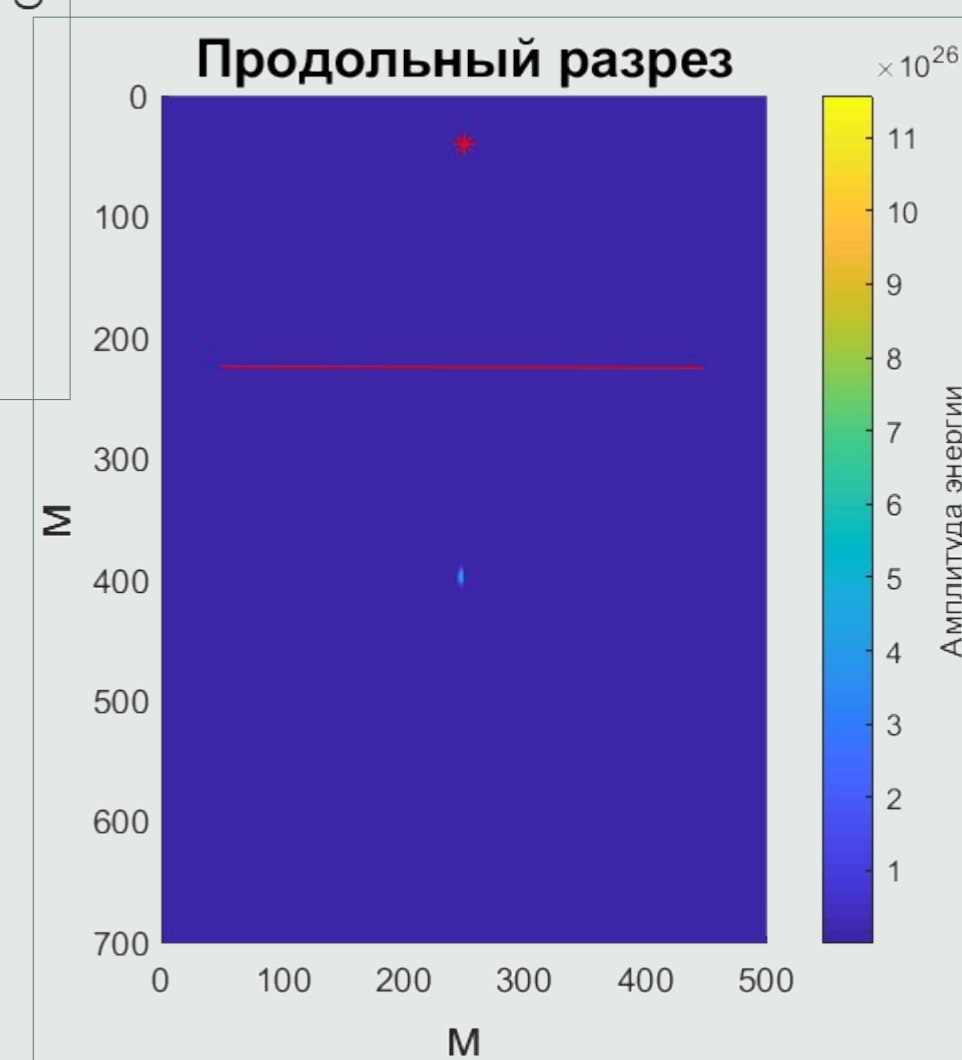
# 2D эксперимент



← **Модель** →

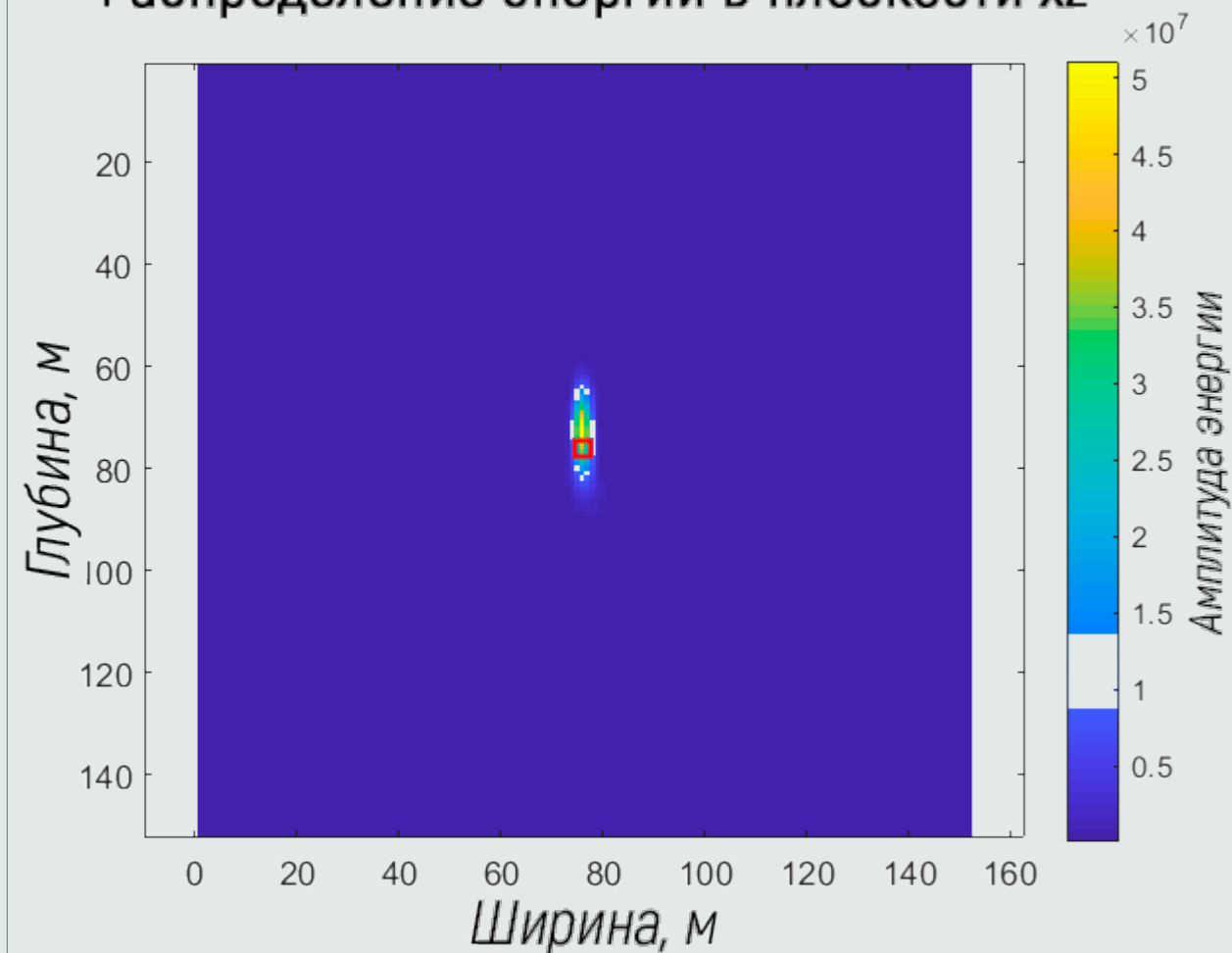


← **TRM** →

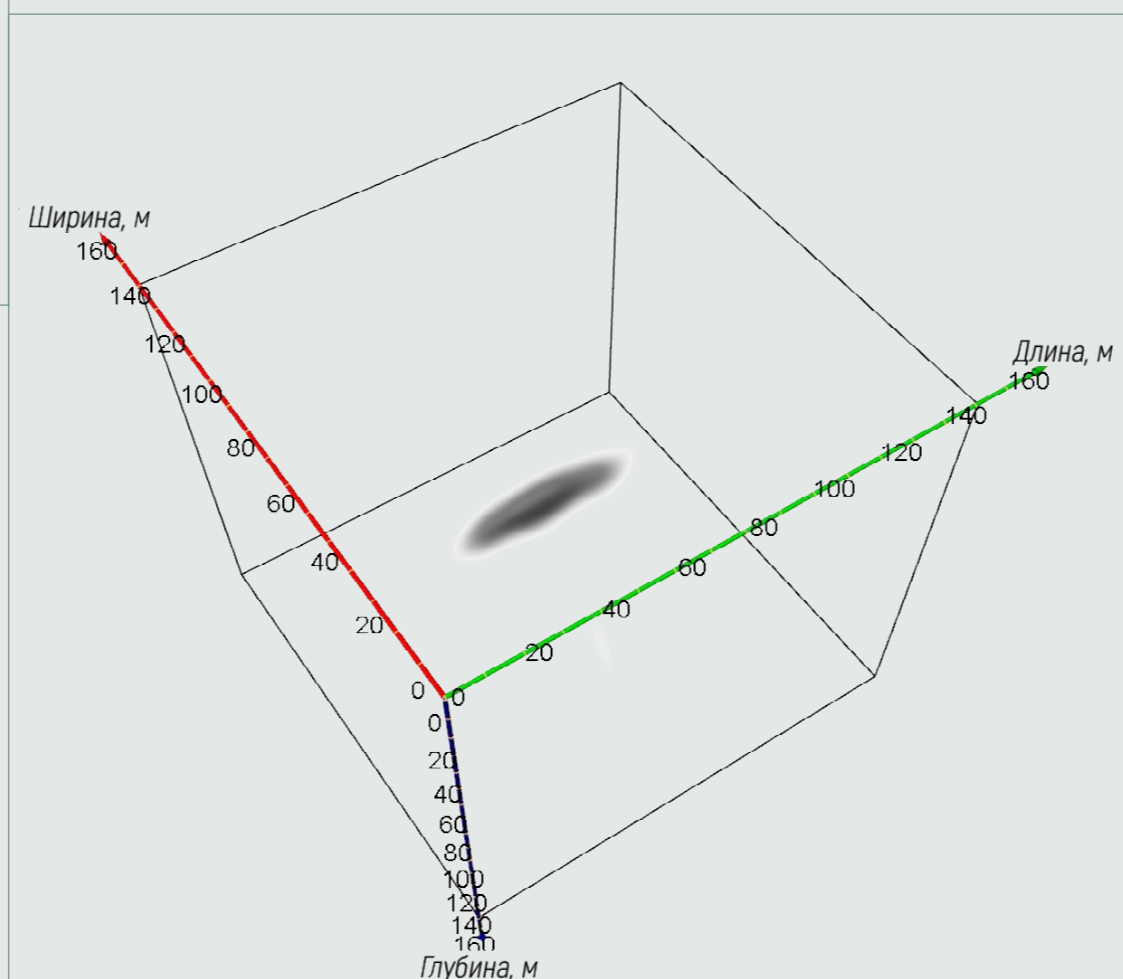
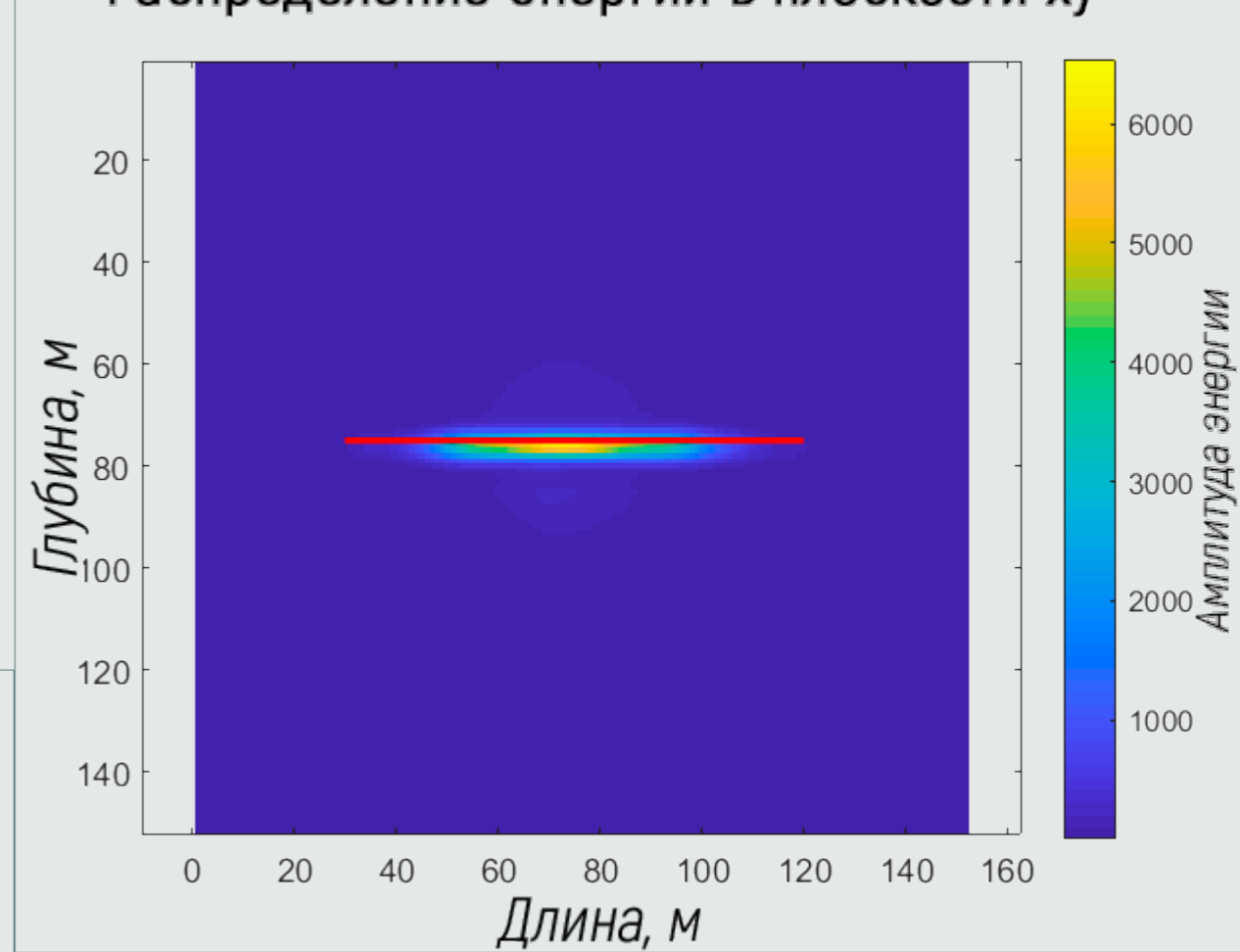


# 3D эксперимент

Распределение энергии в плоскости xz



Распределение энергии в плоскости xy



# Параллельная реализация с использованием Coarray Fortran

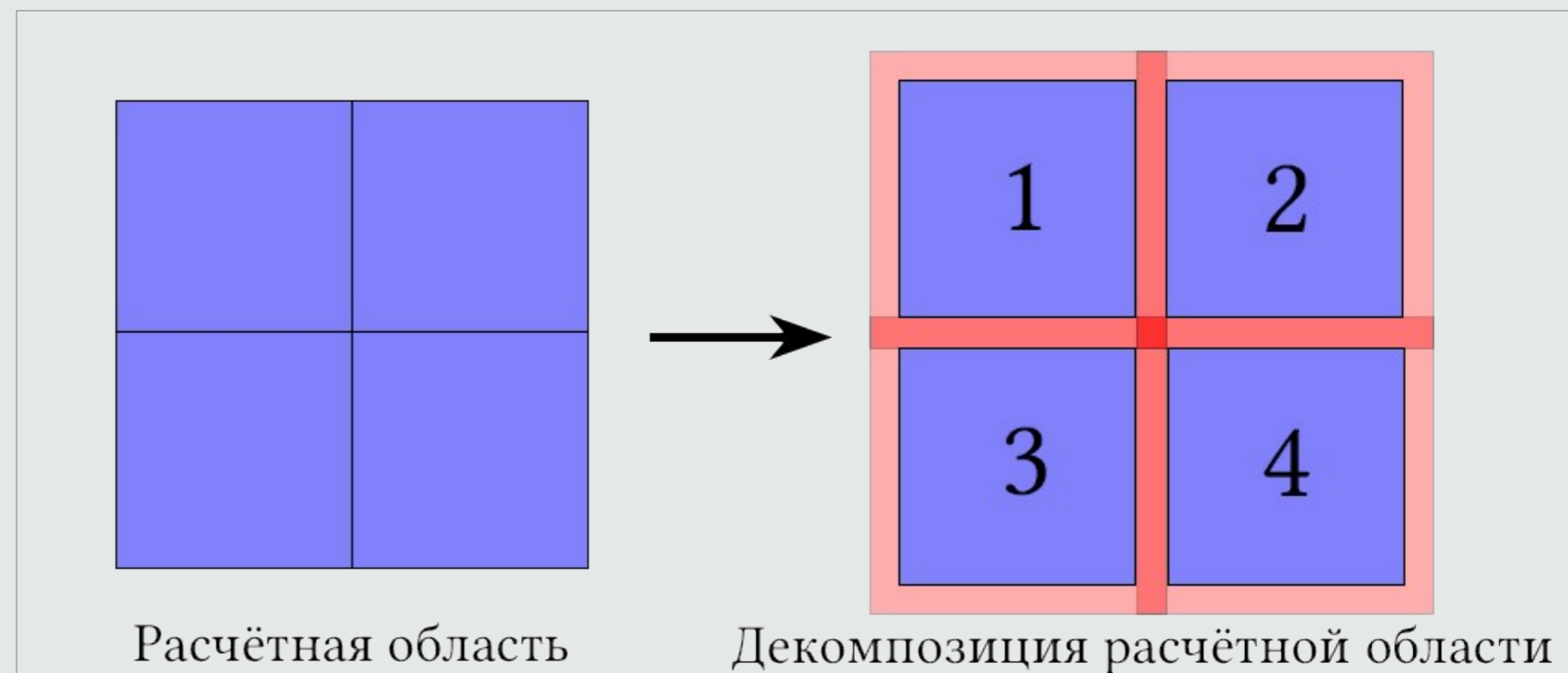
Сопряжённые массивы:

```
double precision , dimension ( : , : , : ) , codimension [ : ] , allocatable :: ux [ : ]
```

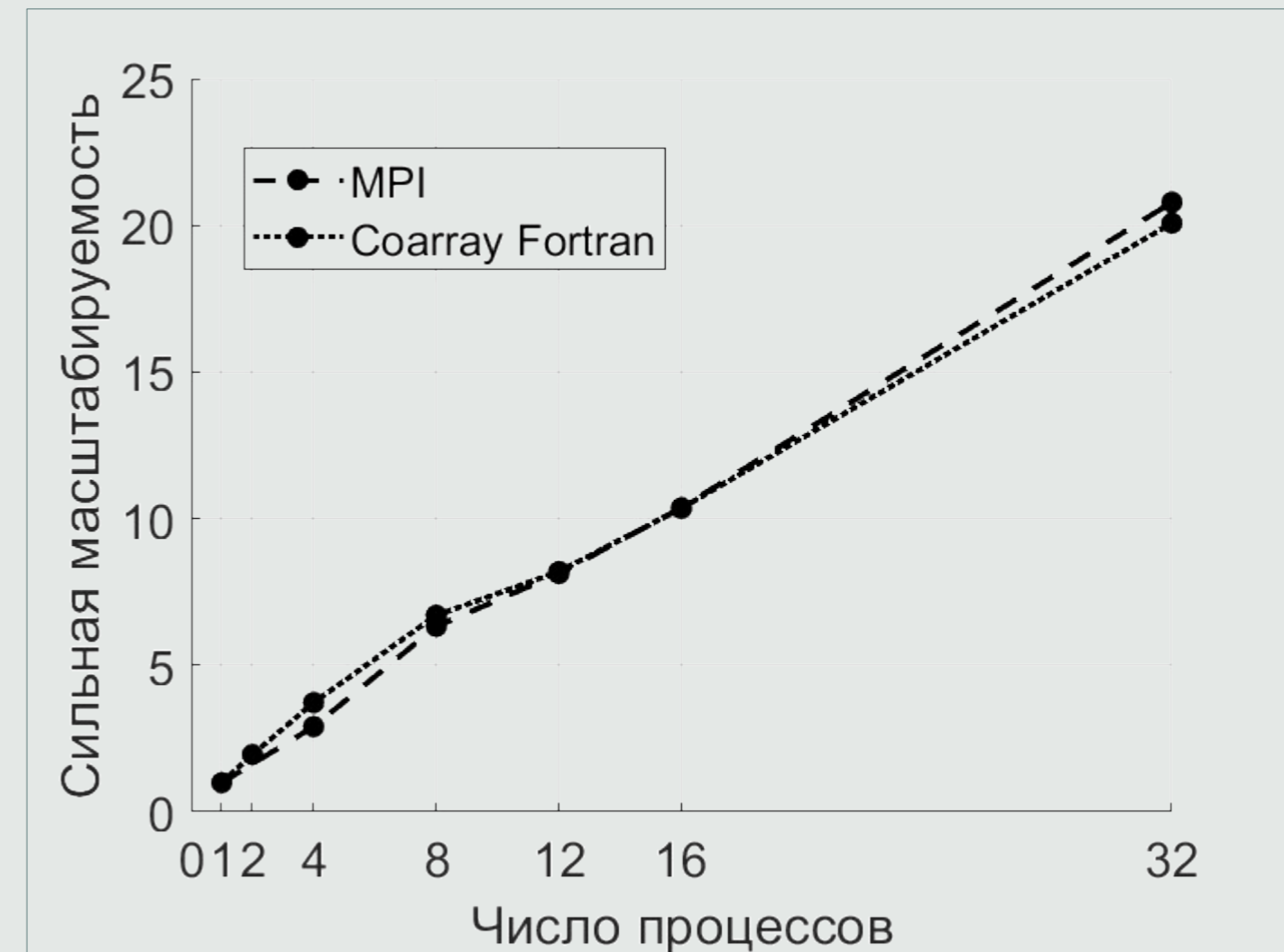
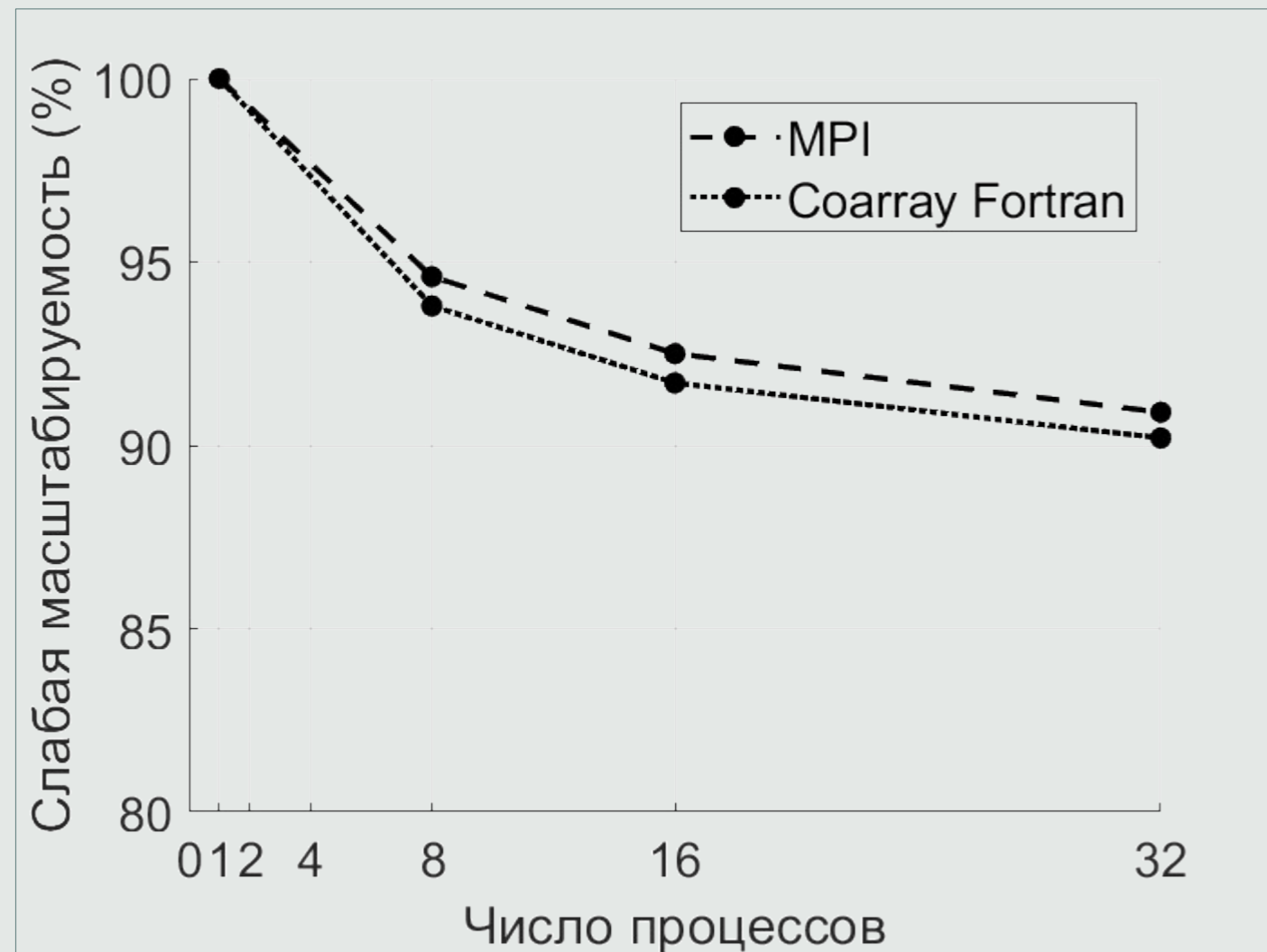
Обмен данными в x-направлении:

```
if (mranki < iprocs ) uz ( nx_l + 2 , : , : ) = uz ( 2 , : , : ) [ inext ]
```

```
if (mranki > 1) ux ( 1 , : , : ) = ux ( nx_l + 1 , : , : ) [ iprev ]
```



# Сравнение эффективности



# Заключение

- Разработан алгоритм реконструкции местоположения туннеля в однородной среде с использованием метода зеркального обращения времени;
- Алгоритм реализован в научно-исследовательской версии программного обеспечения для работы на многопроцессорных вычислительных системах;
- Выполнены численные эксперименты для 2D и 3D моделей среды;
- Результаты моделирования показывают, что алгоритм успешно восстанавливает границы туннеля только для трехмерных моделей среды и не работает в двумерном случае.