

Особенности организации параллельных вычислений для задач сейсмологии.

Докладчик: Решетова Г.В.

Соавторы:

Лисица В.В., Протасов М.И., Чеверда В.А. (ИНГГ СО РАН);
Ледяев А.И., Мерзликина А.С., Петров Д.А., Шиликов В.В. (ООО
РН КрасноярскНИПИнефть).

Содержание

- **Задачи сейсмоки. Современный мировой уровень решаемых сейсмических задач.**
- **Примеры:**
 - Цель моделирования;
 - Математическая постановка задачи;
 - Особенности численной реализации и метода распараллеливания (коротко);
 - Численный результат.
- **Особенности организации параллельных вычислений для вышперечисленных задач сейсмоки:**
 - Операции параллельного ввода-вывода входных данных и результатов расчетов (I/O MPI-2);
 - Использование неблокирующих коммуникационных операций для увеличения скорости работы параллельной программы;

Математическая постановка задачи

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot \sigma$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = (\nabla u + \nabla u^T)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = C_1 \varepsilon + \sum_{l=1}^L r^l$$

$$\tau_{\sigma,l} \frac{\partial r^l}{\partial t} = -C_2 \varepsilon - r^l$$

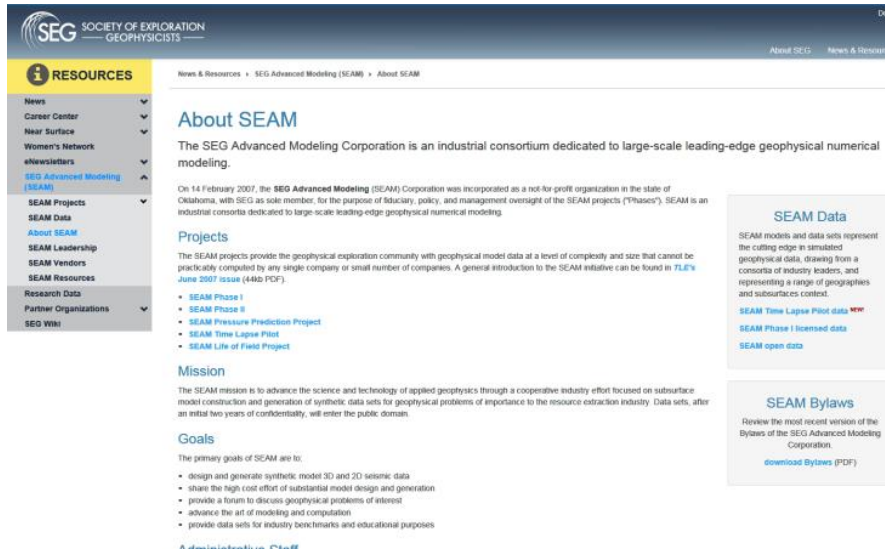
+ начальные и граничные условия

Уравнения динамической теории упругости (вязкоупругости)

Содержание

- **Задачи сейсмоки. Современный мировой уровень решаемых сейсмических задач.**
- **Примеры:**
 - Цель моделирования;
 - Математическая постановка задачи;
 - Особенности численной реализации и метода распараллеливания (коротко);
 - Численный результат.
- **Особенности организации параллельных вычислений для вышперечисленных задач сейсмоки:**
 - Операции параллельного ввода-вывода входных данных и результатов расчетов (I/O MPI-2);
 - Использование неблокирующих коммуникационных операций для увеличения скорости работы параллельной программы;

Задачи сеймики. Современный мировой уровень решаемых сейсмических задач.



RESOURCES

News & Resources • SEG Advanced Modeling (SEAM) • About SEAM

About SEAM

The SEG Advanced Modeling Corporation is an industrial consortium dedicated to large-scale leading-edge geophysical numerical modeling.

On 14 February 2007, the **SEG Advanced Modeling (SEAM) Corporation** was incorporated as a not-for-profit organization in the state of Oklahoma, with SEG as sole member, for the purpose of fiduciary, policy, and management oversight of the SEAM projects ("Phases"). SEAM is an industrial consortium dedicated to large-scale leading-edge geophysical numerical modeling.

Projects

The SEAM projects provide the geophysical exploration community with geophysical model data at a level of complexity and size that cannot be practically compiled by any single company or small number of companies. A general introduction to the SEAM initiative can be found in [TLE's June 2007 issue](#) (446D PDF).

- [SEAM Phase I](#)
- [SEAM Phase II](#)
- [SEAM Pressure Prediction Project](#)
- [SEAM Time Lapse Pilot](#)
- [SEAM Life of Field Project](#)

Mission

The SEAM mission is to advance the science and technology of applied geophysics through a cooperative industry effort focused on subsurface model construction and generation of synthetic data sets for geophysical problems of importance to the resource extraction industry. Data sets, after an initial two years of confidentiality, will enter the public domain.

Goals

The primary goals of SEAM are to:

- design and generate synthetic, model 3D and 2D seismic data
- share the high cost effort of substantial model design and generation
- provide a forum to discuss geophysical problems of interest
- advance the art of modeling and computation
- provide data sets for industry benchmarks and educational purposes

[Administrative Panel](#)

SEAM Data

SEAM models and data sets represent the cutting edge in simulated geophysical data, drawing from a consortia of industry leaders, and representing a range of geographies and subsurfaces context.

- [SEAM Time Lapse Pilot data PDF](#)
- [SEAM Phase I licensed data](#)
- [SEAM open data](#)

SEAM Bylaws

Review the most recent version of the Bylaws of the SEG Advanced Modeling Corporation.

[download Bylaws \(PDF\)](#)

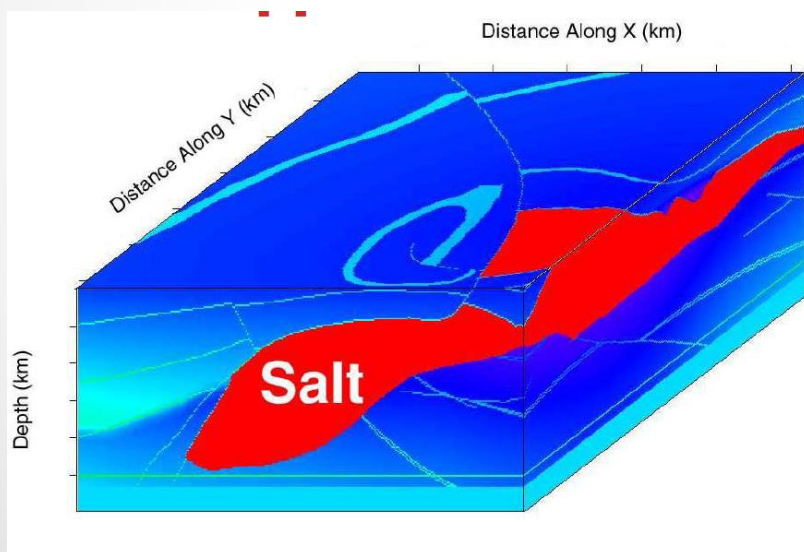
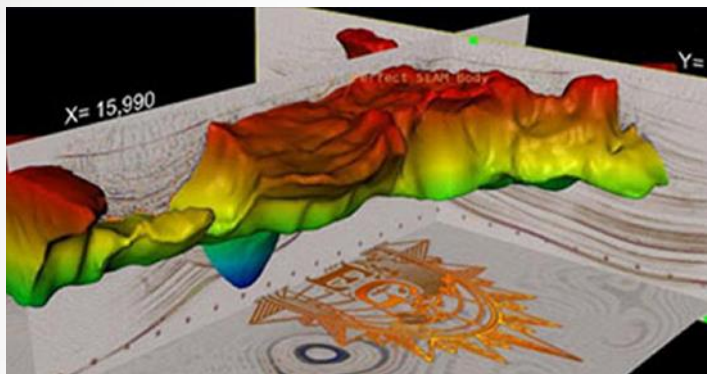
<https://seg.org/News-Resources/SEG-Advanced-Modeling-SEAM/About-SEAM>

SEG Advanced Modeling Corporation (SEAM) - промышленный консорциум, зарегистрированный в 2007 году как некоммерческая организация в штате Оклахома, посвященный крупномасштабному передовому геофизическому численному моделированию.

Основными задачами SEAM являются:

- разработка и создание синтетических 3D моделей;
- **заказы на моделирование (анизотропия, вязкость).**
- продвижение искусства моделирования и вычислений в геофизике.

Модель SEAM



3D Модель мексиканского залива

Типичные размеры модели:

X- 35 км

Y- 40 км

Z- 15 км

$dx=dy=dz=5m$

NX- 7000 узлов

NY- 8000 узлов

NZ- 3000 узлов

Для решения задачи 7 Тб.

Для хранения модели 3* 5 Тб.

Для записи сейсмотрасс 1 Тб.

Содержание

- **Задачи сейсмоки. Современный мировой уровень решаемых сейсмических задач.**
- **Примеры:**
 - Цель моделирования;
 - Математическая постановка задачи;
 - Особенности численной реализации и метода распараллеливания (коротко);
 - Численный результат.
- **Особенности организации параллельных вычислений для вышперечисленных задач сейсмоки:**
 - Операции параллельного ввода-вывода входных данных и результатов расчетов (I/O MPI-2);
 - Использование неблокирующих коммуникационных операций для увеличения скорости работы параллельной программы;

Пример 1.

Проведение сейсмических исследований на мелководных акваториях в районах Крайнего Севера Российской.



а)

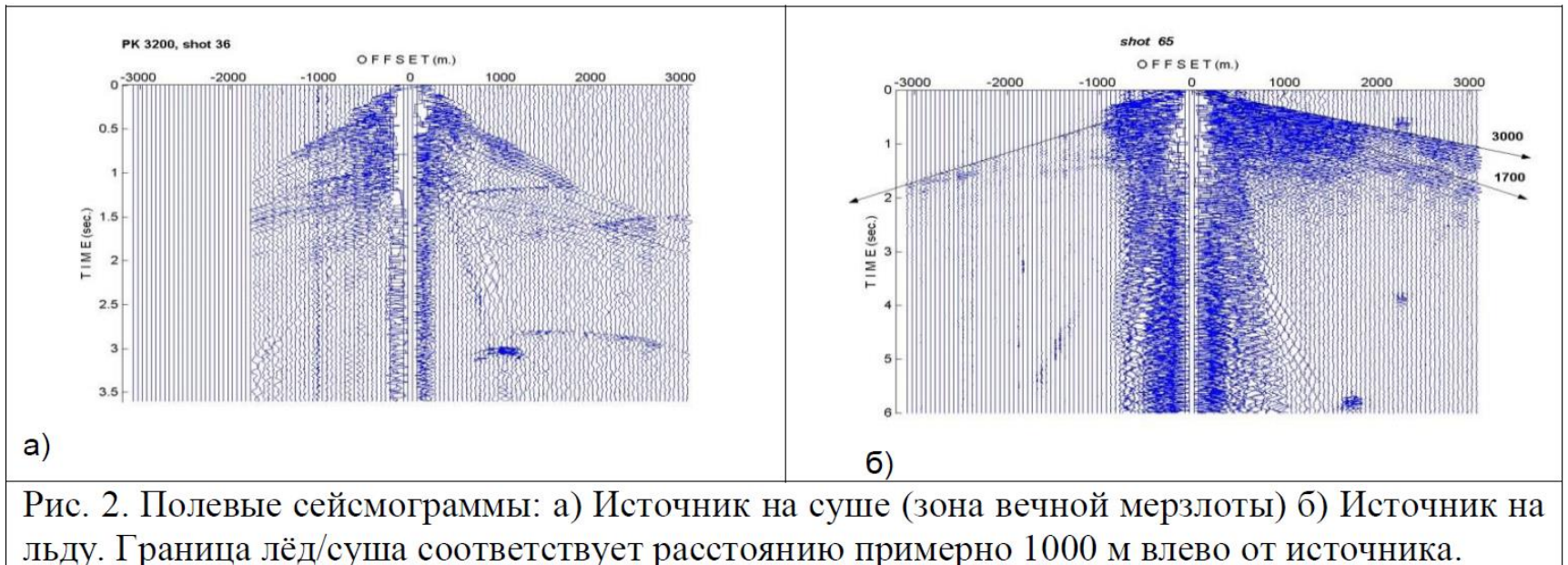


б)

Рис. 1. Область проведения полевых наблюдений в летний период (а). Та же область зимой (б).

Пример 1.

Проведение сейсмических исследований на мелководных акваториях в районах Крайнего Севера Российской.



- Цель моделирования: выяснить причину возникновения шумов и возможный способ их устранения.

Пример 1.

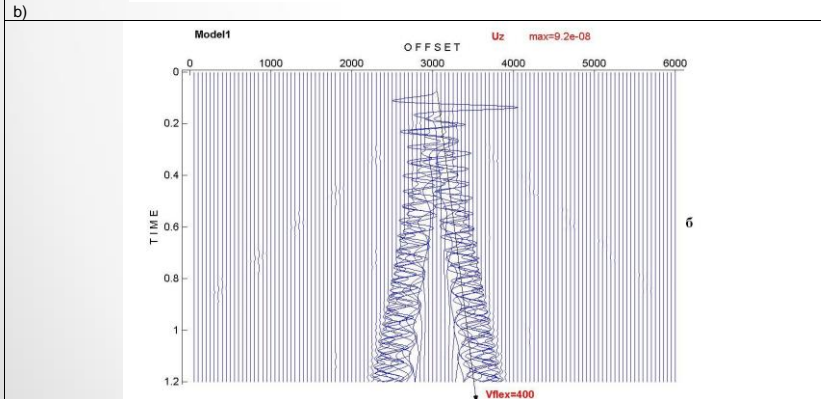
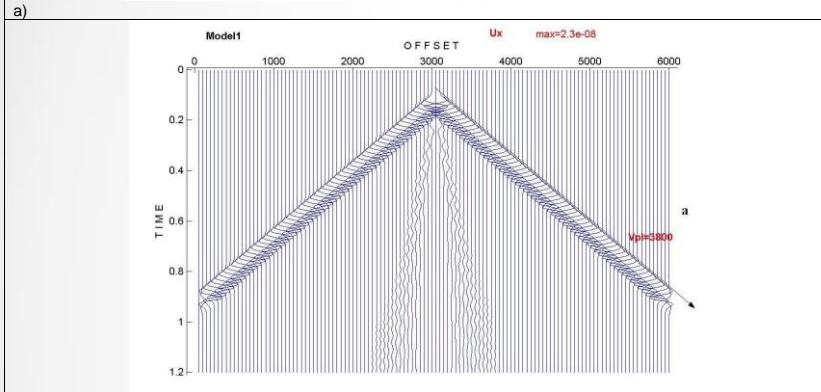
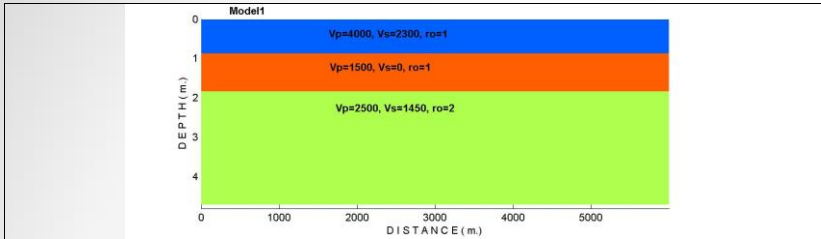


Figure 4. a) The three-layers model. b) Horizontal component of the wave field (symmetric mode) c) Vertical component of the wave field (asymmetric mode)

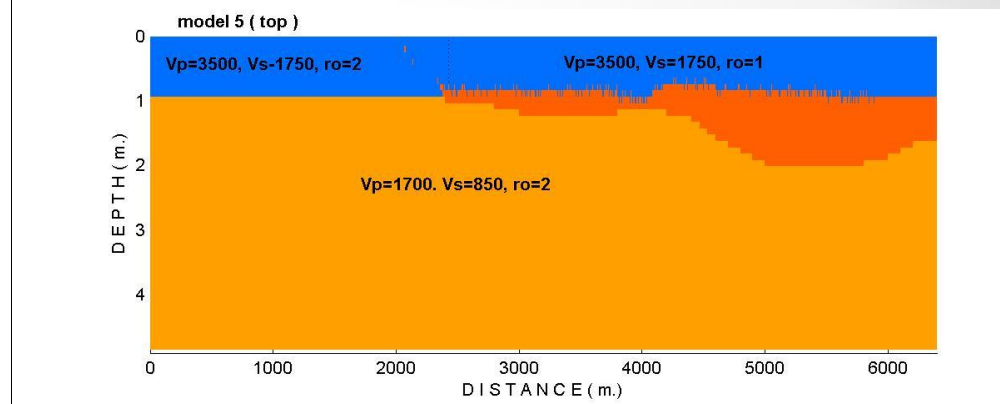


Figure 8. The uppermost part of the model with random perturbations of the ice-water interface (compare with Fig.5)

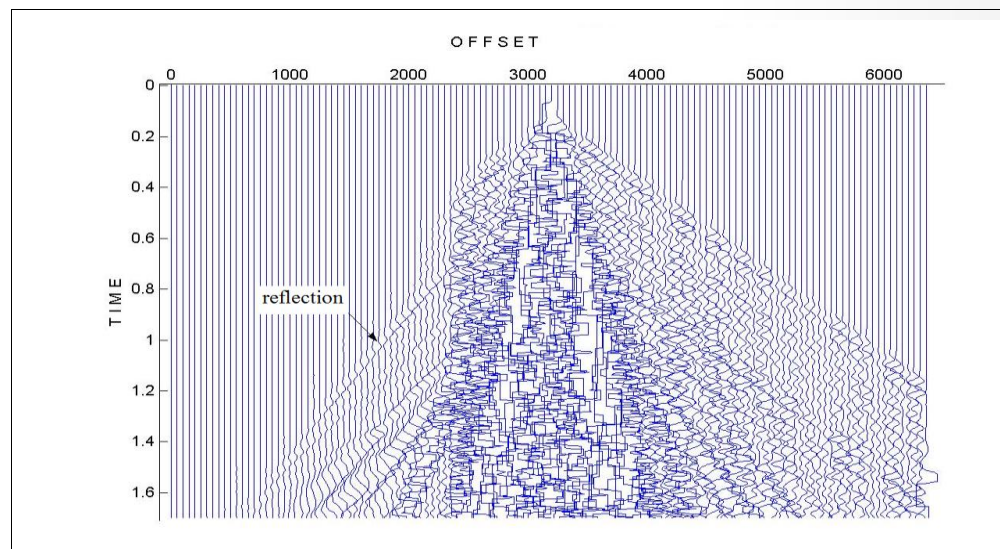
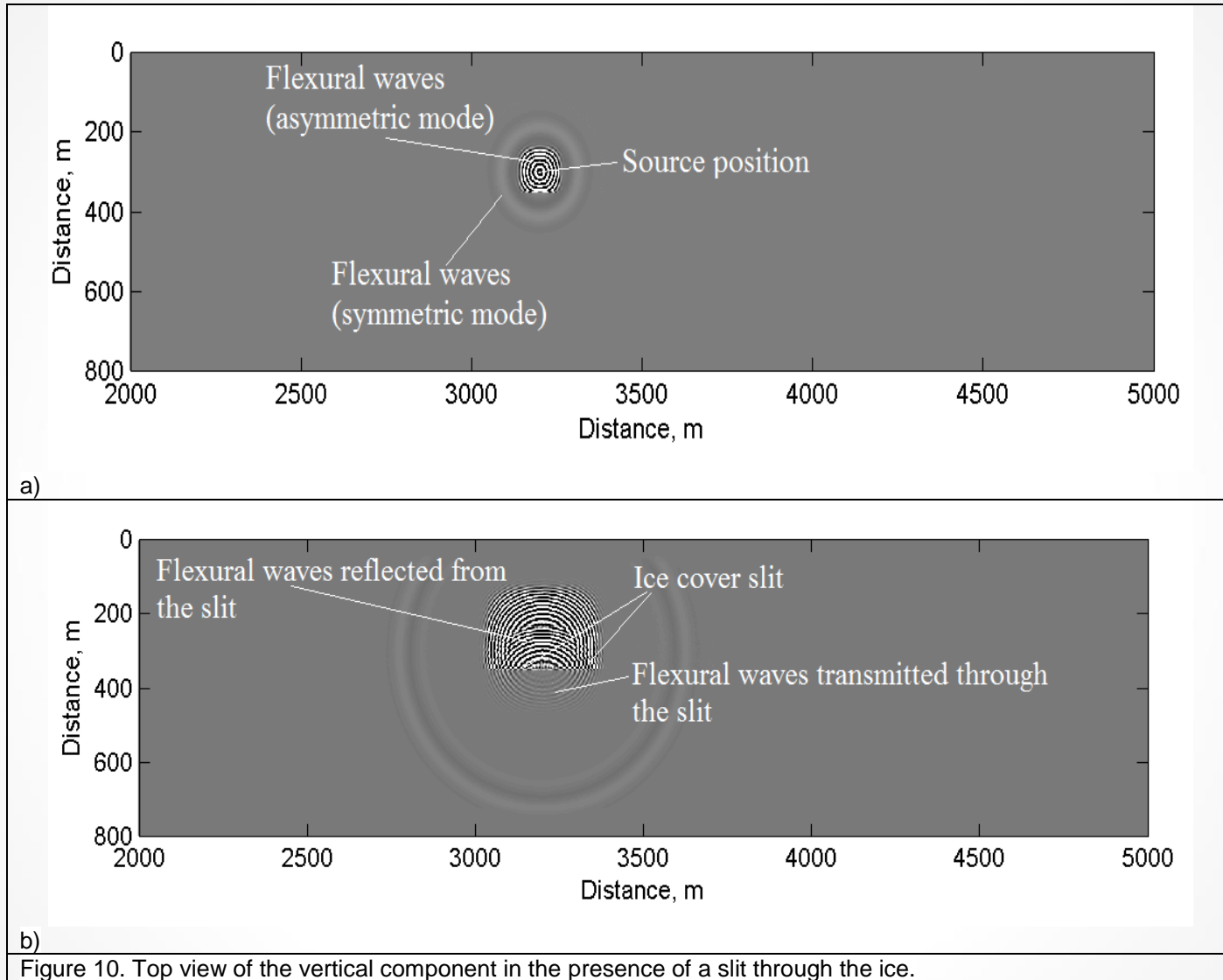


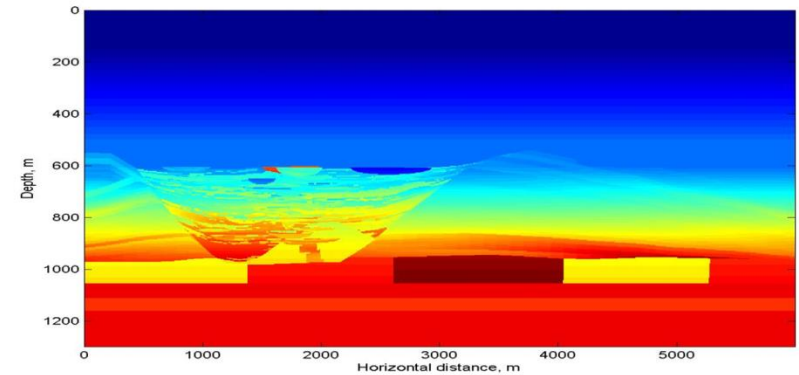
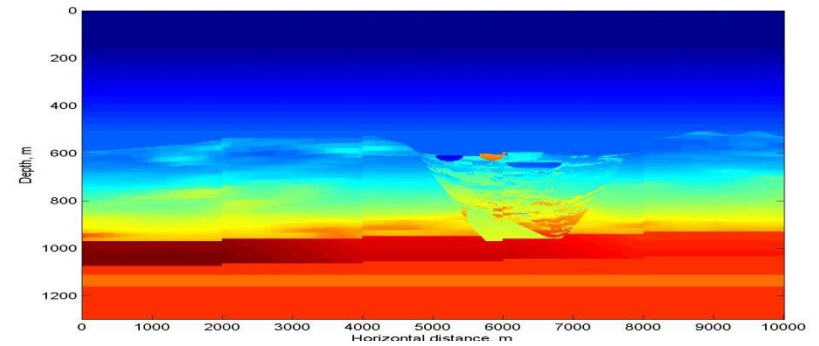
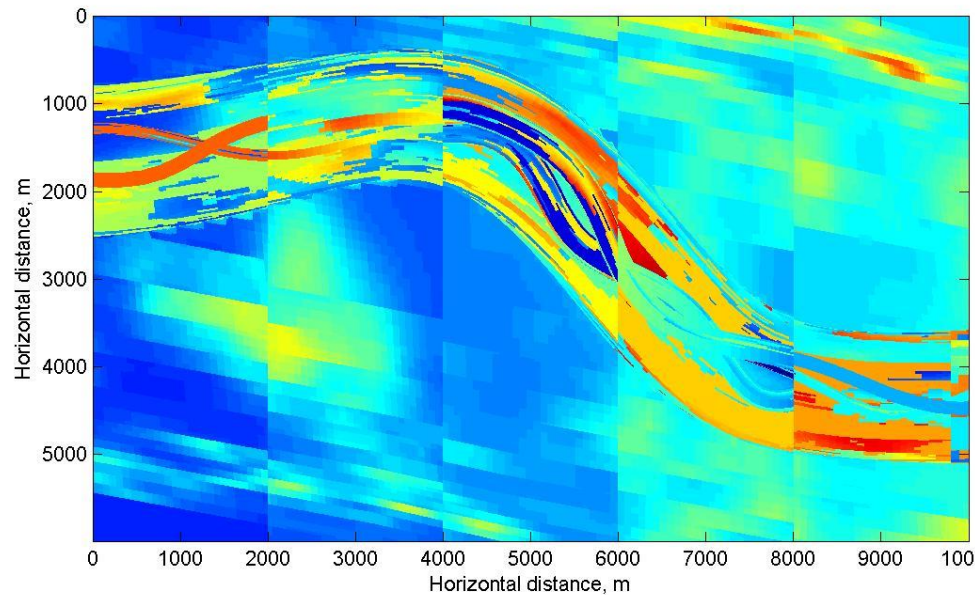
Figure 9. Synthetic seismograms for the model presented in Fig.8. Note strong partially correlated dispersive noise beneath the ice.

Пример 1.



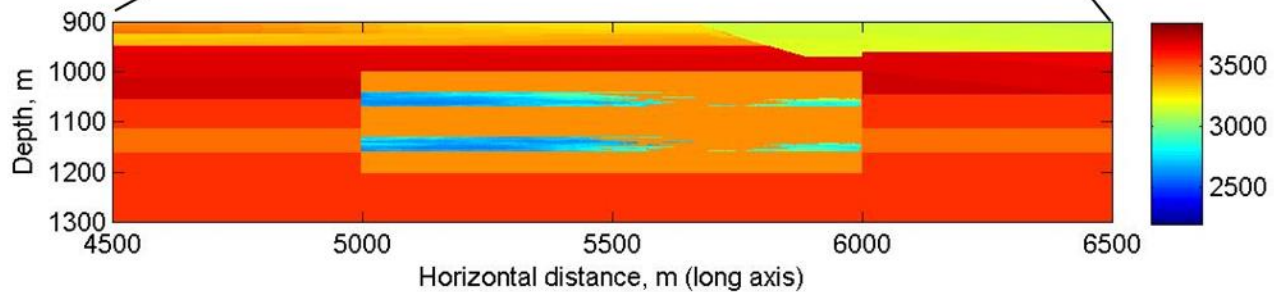
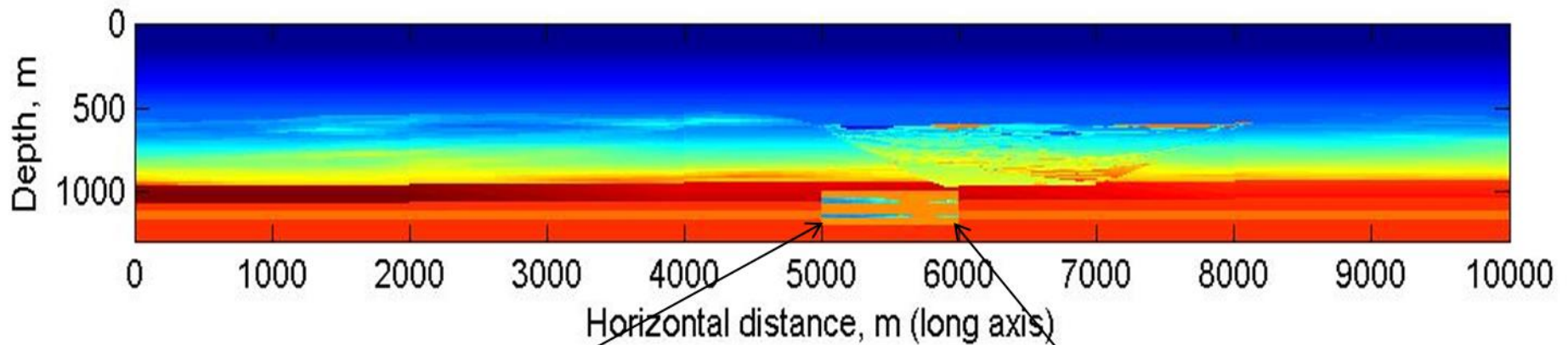
- Численный результат. Пропил во льду полностью убирает шум, вызванный изгибной волной.

Пример 2. Погребенное русло реки.



- Цель моделирования: выявление коридоров трещиноватости под погребенным руслом реки.

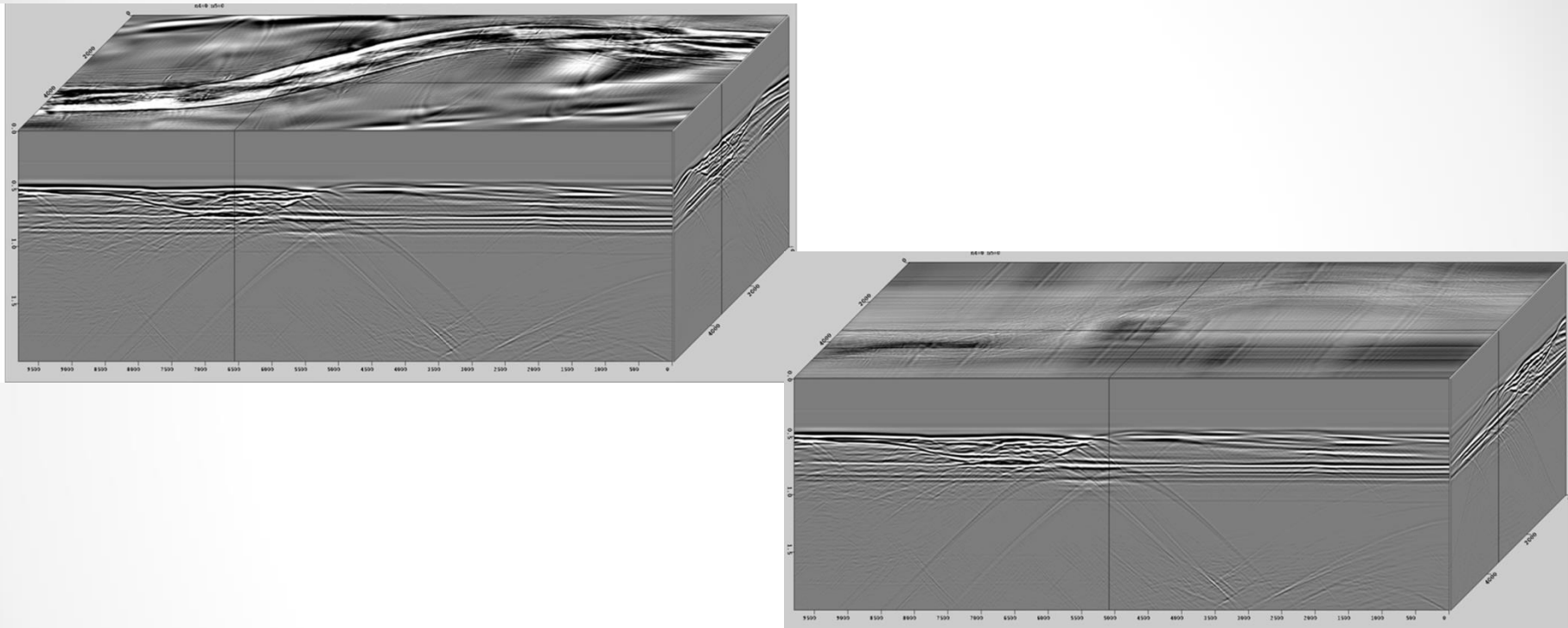
Пример 2. Погребенное русло реки.



58

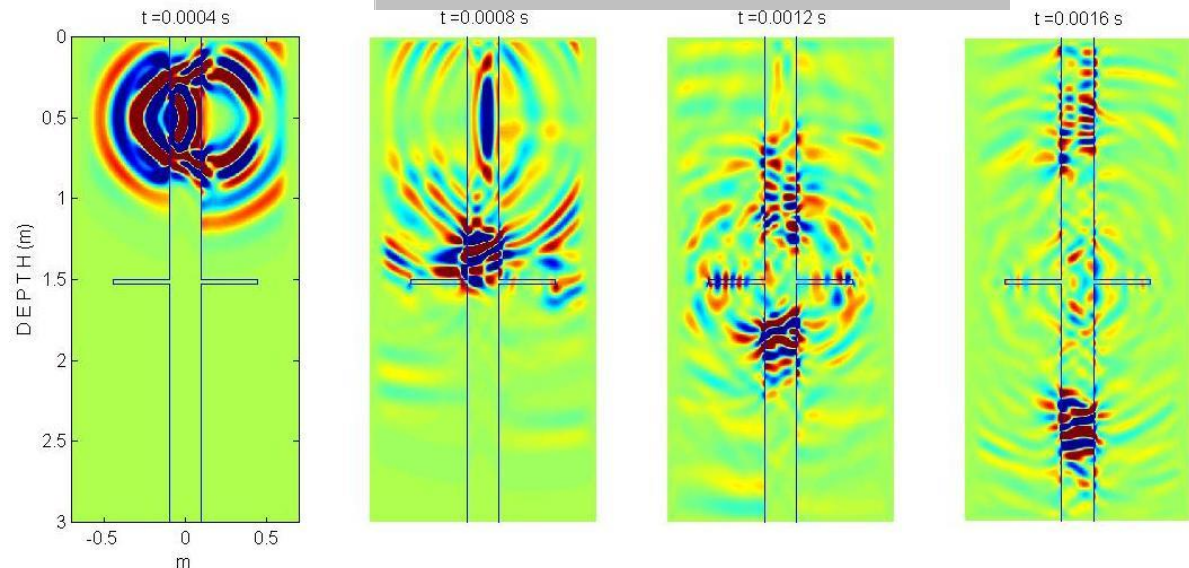
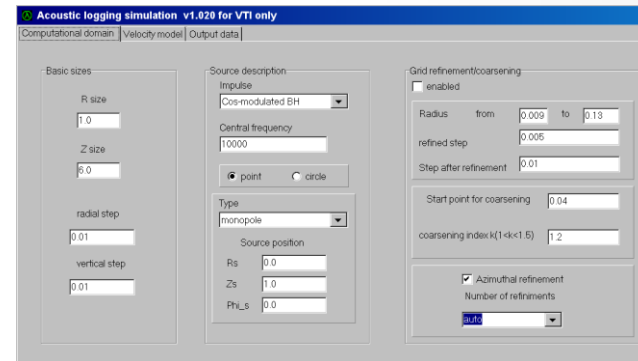
- Особенности задачи – разномасштабная среда.

Пример 2. Погребенное русло реки.



- Численный результат. Коридоры трещиноватости можно видеть под погребенным руслом реки.

Пример 3. Акустический каротаж

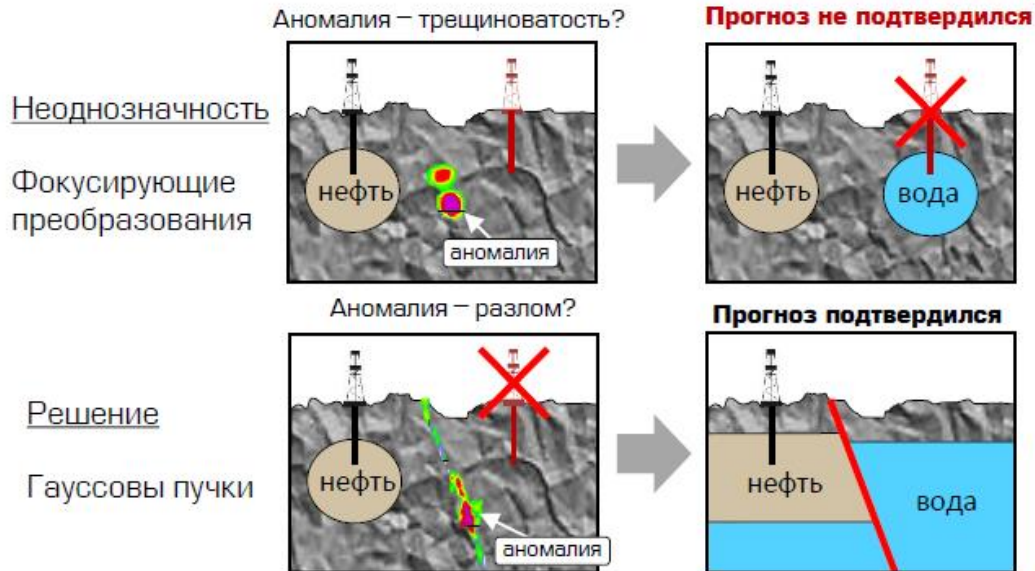


- Цель моделирования: выявление особенностей распространения сейсмических волн в скважинах.
- Особенности задачи – разномасштабная среда (металлическая обсадка), много источников.

Пример 4.

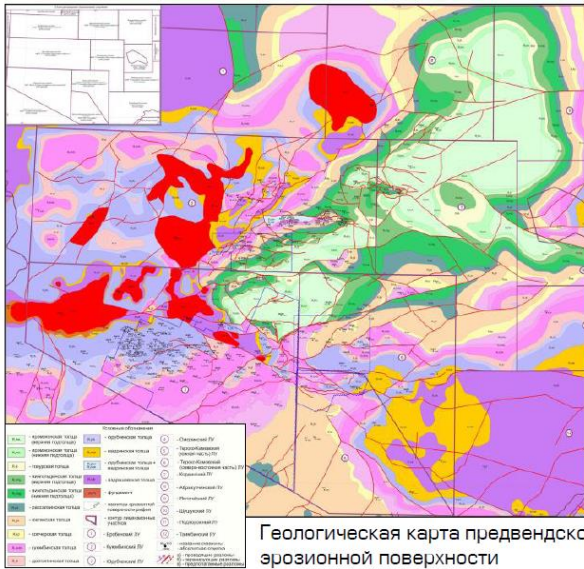
работы с ООО «РН- КрасноярскНИПИнефть» по теме «Разработка технологии выявления трещиновато-кавернозных резервуаров и определения их характеристик на основе инновационных методов обработки и интерпретации рассеянных волн».

Точная локализация разломов – снижение рисков бурения

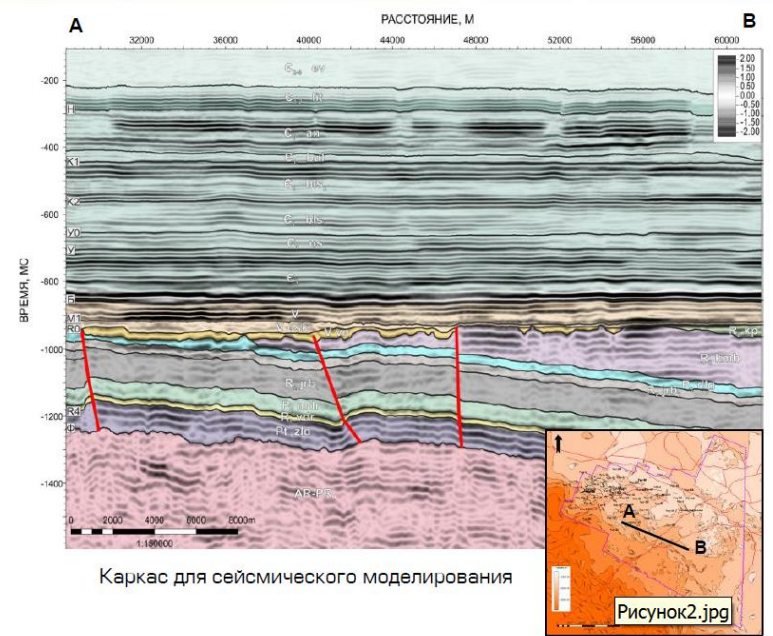
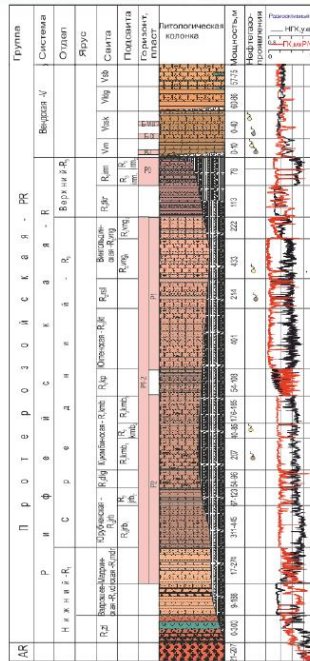


- Цель моделирования: локализация разломов.
- Особенности задачи – разномасштабная среда (геологические разломы в среде), много источников.

Пример 4.



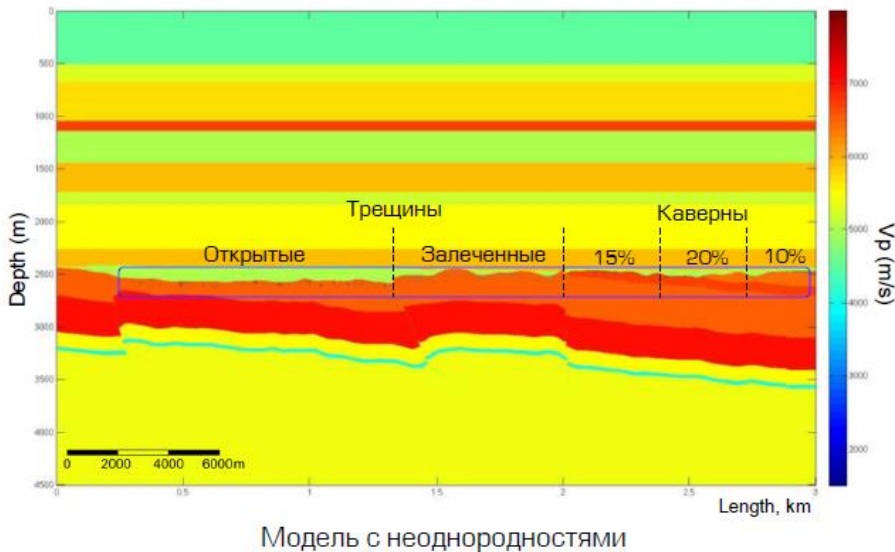
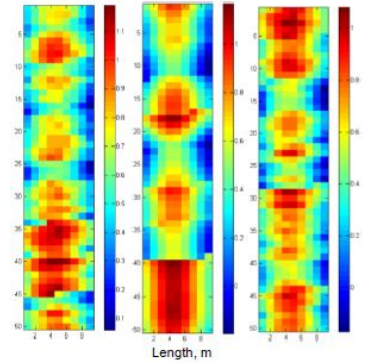
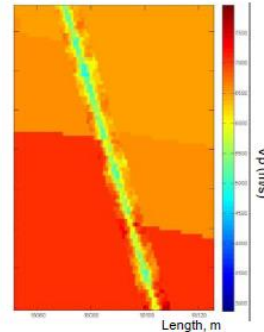
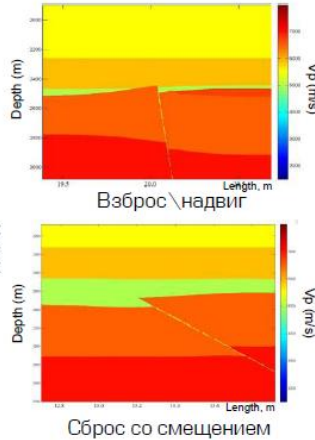
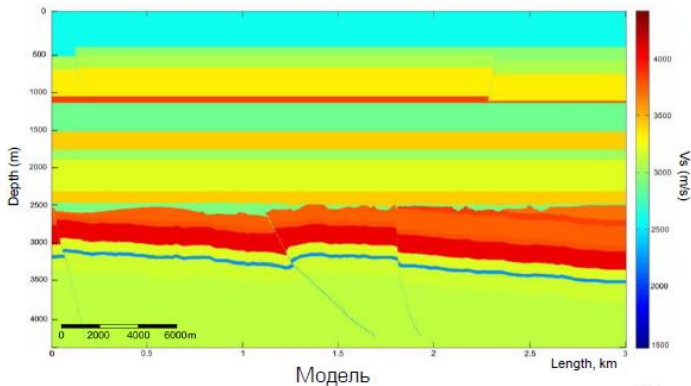
- ЮТМ располагается на территории Лено-Тунгуской НГП в пределах Байкитской гемиянтеклизы;



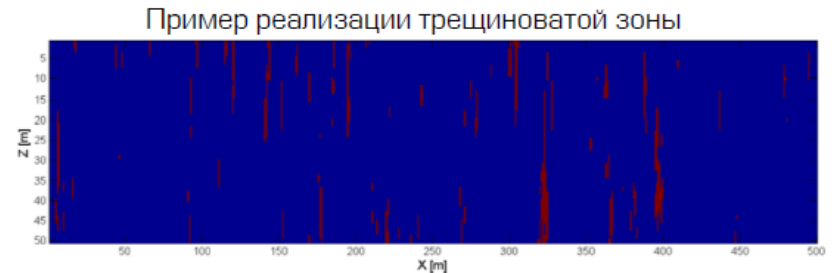
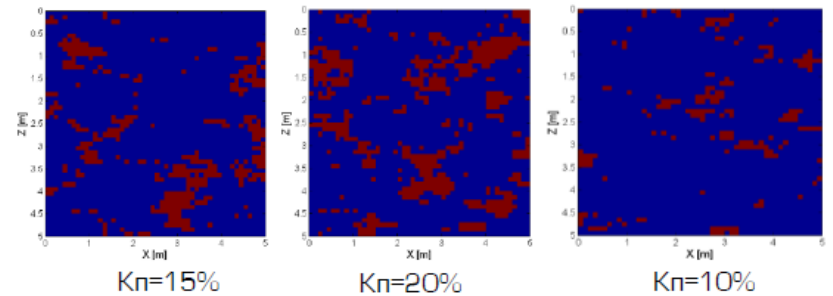
Для сейсмического моделирования была выполнена переинтерпритация сейсмических данных на примере отдельно взятого разреза и построена 2D модель. Упругие параметры среды построены исходя из данных скважинных наблюдений.

Пример 4.

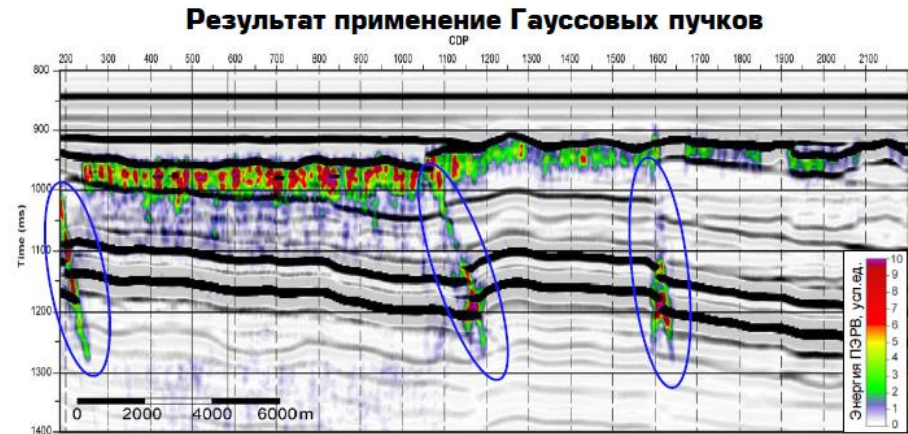
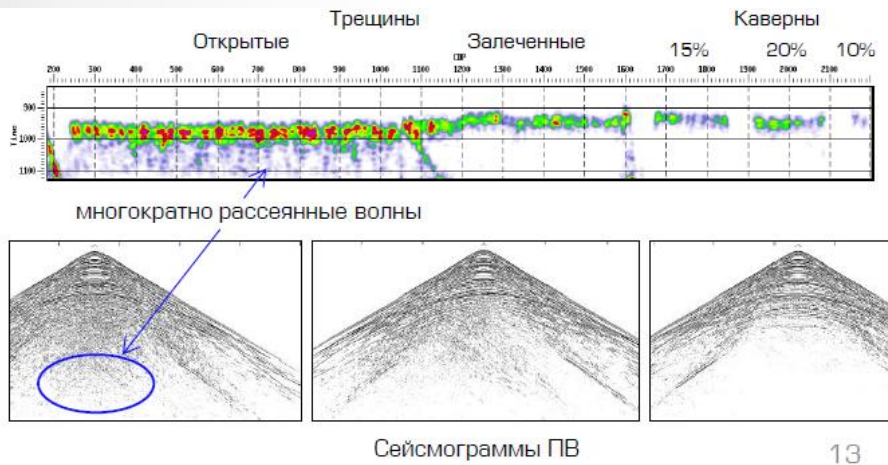
Локализация тектонических нарушений



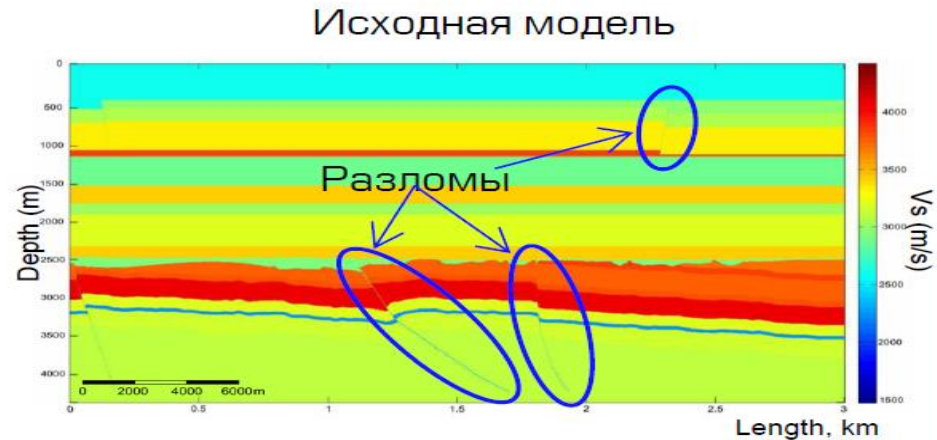
Пример реализации распределения кавернзости (квадрат 5x5 м)



Пример 4.

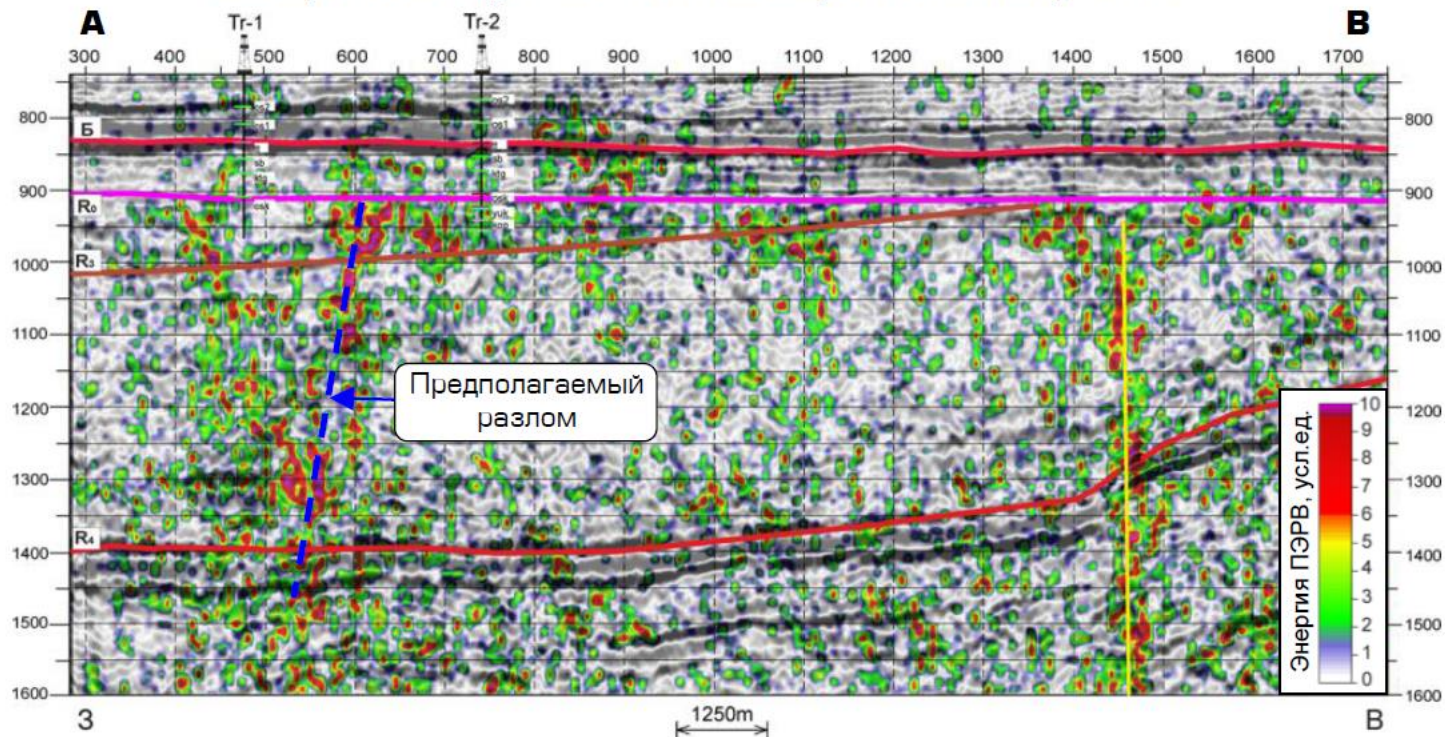


- Численный результат - Насчитаны сейсмограммы, которые потом были применены для калибровки обратных методов для восстановления геологической среды (Гауссовы пучки).



Пример 4. Апробация на реальных сейсмических данных.

Результат применения Гауссовых пучков



- Результаты Гауссовых пучков обладают более высокой разрешающей способностью, что позволило локализовать зону, возможно связанную с тектоническим нарушением.

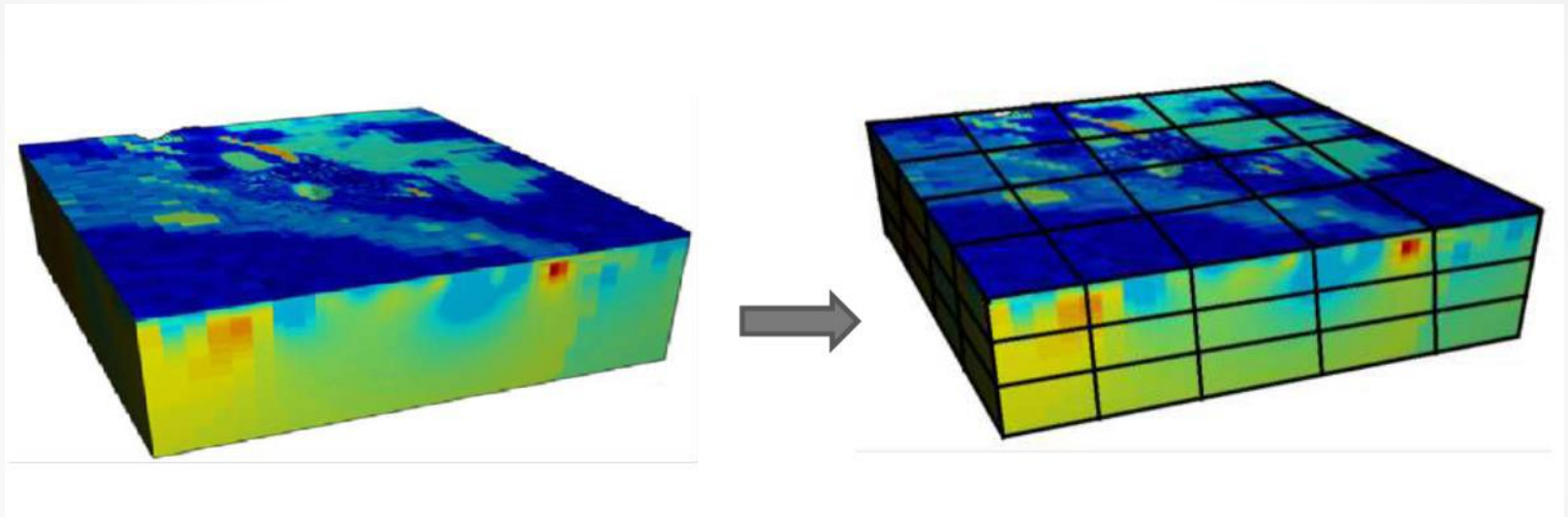
Основные особенности современных задач сейсмоки

- **Большой объем входных данных (модель)**
- **Многомасштабность**
- **Расчеты для многих источников**



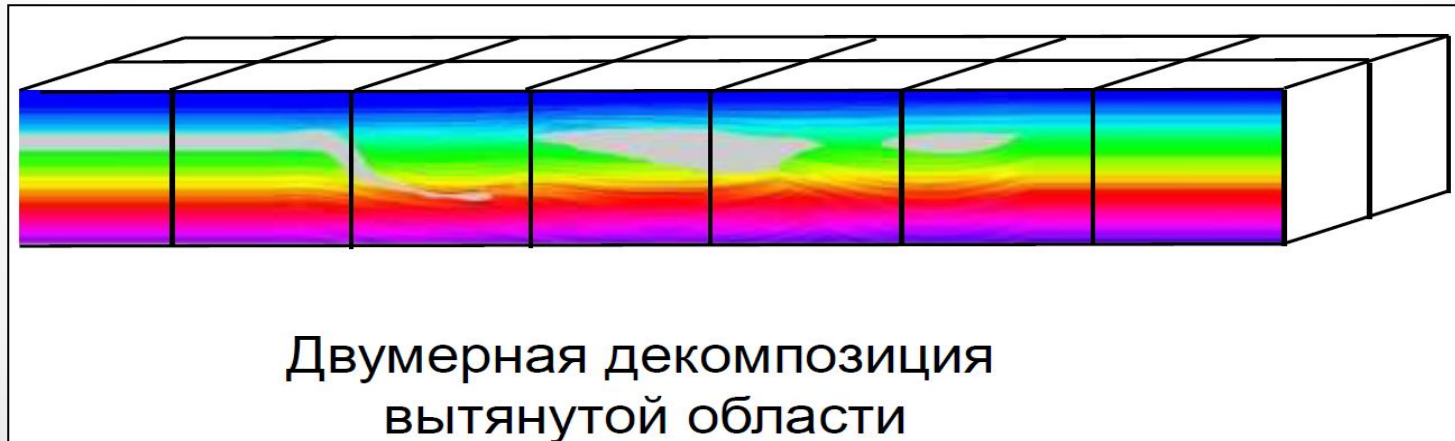
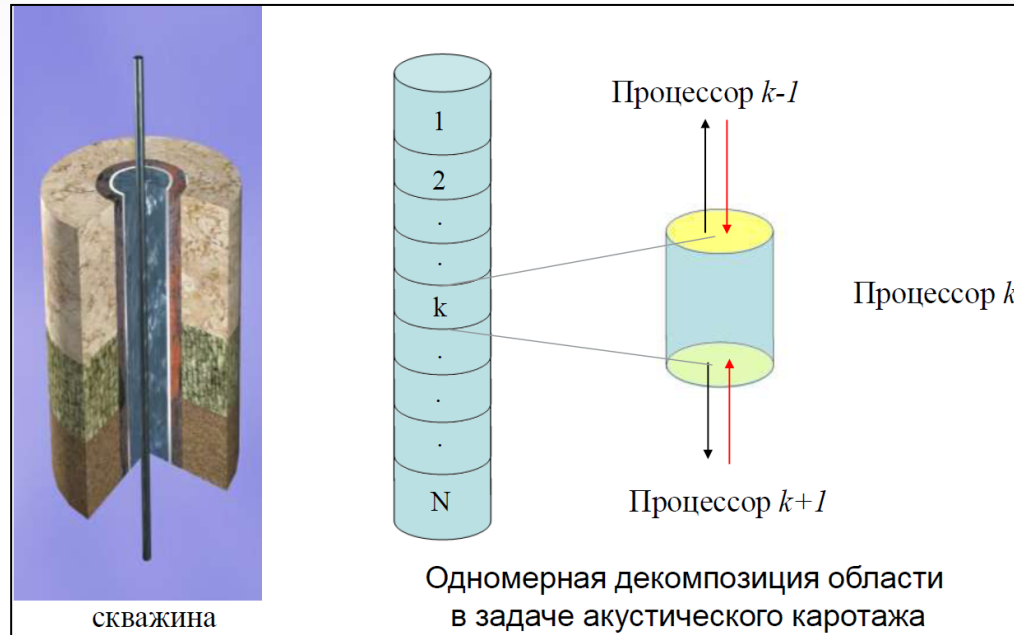
Необходима параллельная реализация даже в 2D

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ОБЛАСТИ



Декомпозиция зависит от особенностей задачи!
Не всегда 3D лучше 1D или 2D.

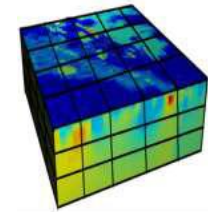
Пример 3. Акустический каротаж



ПРАВИЛО оптимальной декомпозиции

Необходимо **минимизировать обмен данными** между соприкасающимися процессорами. Чем больше объём пересылаемых данных, тем значительнее эти потери и, следовательно, ниже эффективность разработанного программного обеспечения.

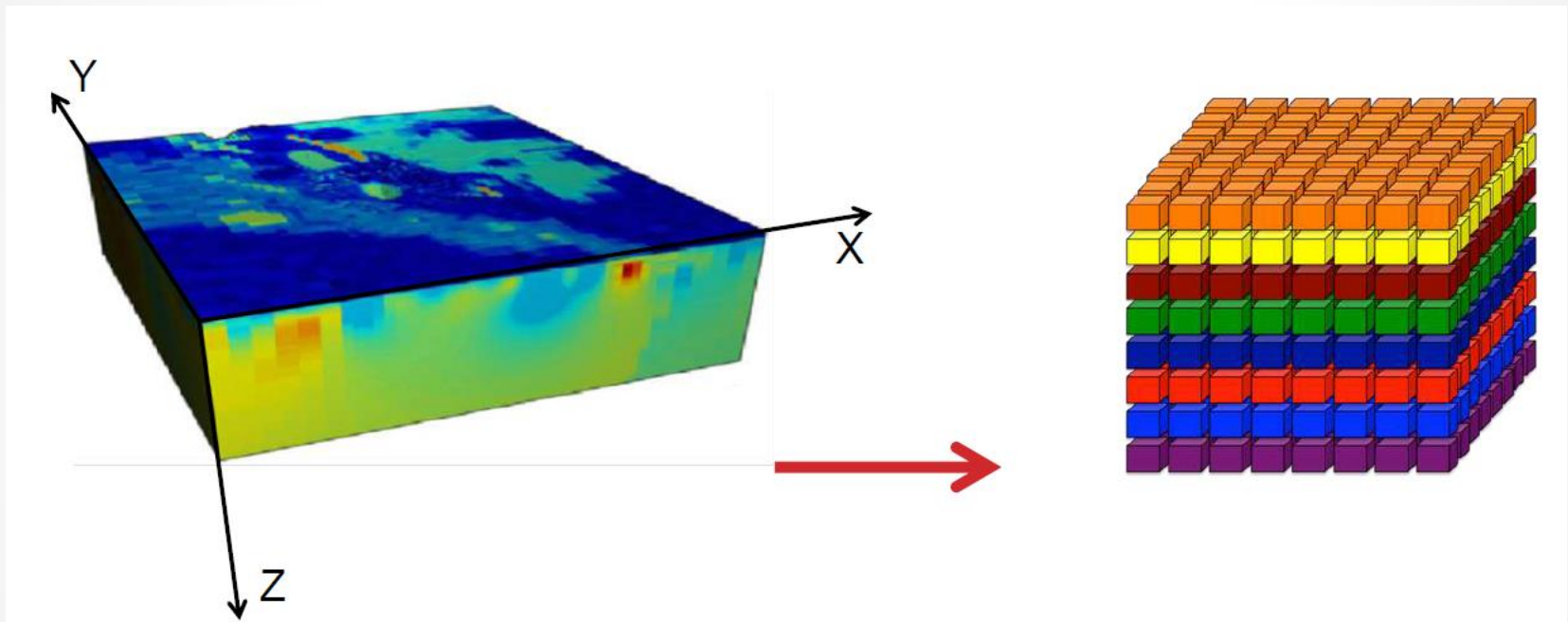
В свою очередь объём пересылаемых данных зависит от геометрии декомпозиции области.



Хорошо известный факт - **среди всех параллелепипедов фиксированного объёма куб имеет наименьшую площадь поверхности.**

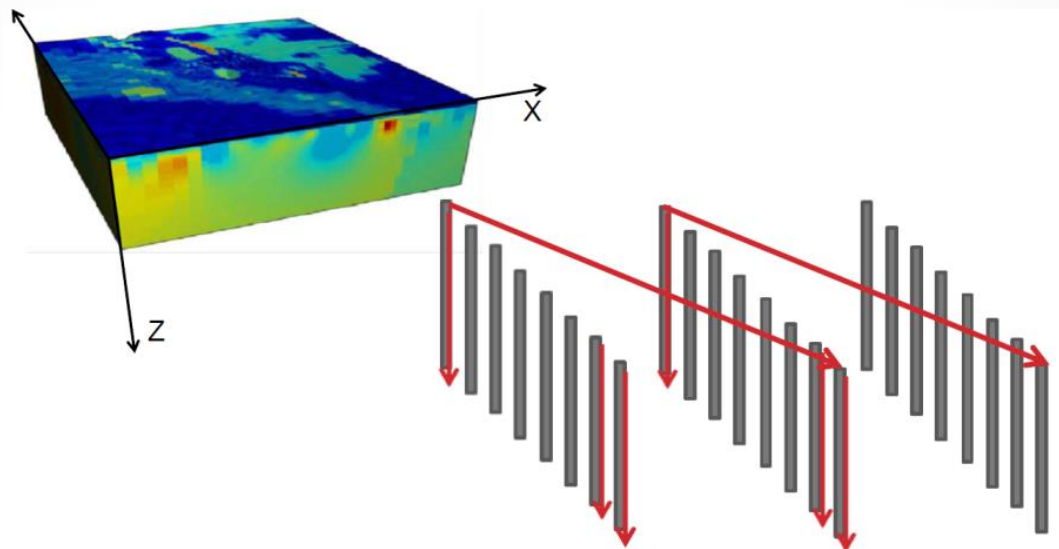
- **Большой объем входных данных (модель)**
- **Многомасштабность**
- **Расчеты для многих источников**

Операции параллельного ввода-вывода входных данных и результатов расчетов

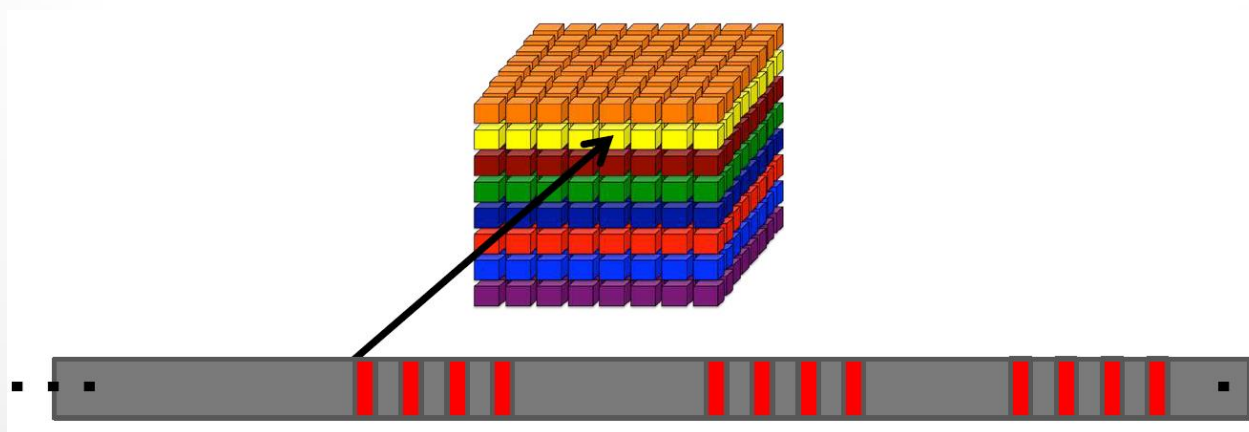


- Особенность сейсмических задач – необходимо задание параметров среды v_p , v_s , ρ .
- Однородная или простая среда
- Сложная цифровая модель

Операции параллельного ввода-вывода входных данных и результатов расчетов



Пользователю: бинарный файл с входными данными для описания модели среды



Операции параллельного ввода-вывода ВХОДНЫХ данных и результатов расчетов

MPI 2.1.2.

```
→ call para_type_block3(1,NzD,1,NyD,1,
* ..... k1,k2,j1,j2,i1,i2,inewtype,of7)
→ .....
c ..... read vp from vp_model_All.dat/////////vp_model_smooth.dat
→ myfh=3

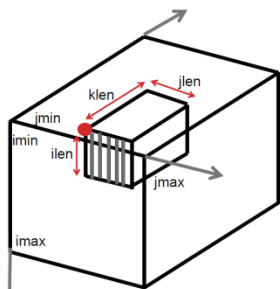
→ allocate (.fileread_vp(bufcount),STAT=ALERR) →
→ if(ALERR.NE.0) print*, 'ALL: allocate fileread_vp fail.'

→ call MPI_FILE_OPEN(MPI_COMM_1,str31,MPI_MODE_RDONLY, .....
* ..... MPI_INFO_NULL, myfh, ierr)

→ call MPI_BARRIER(MPI_COMM_1, ierr) .....

→ call MPI_FILE_SET_VIEW(.myfh, .of7, MPI_REAL, .inewtype,
* ..... 'native', MPI_INFO_NULL, ierr)

→ call MPI_FILE_READ_ALL(myfh, .fileread_vp, .bufcount,
* ..... MPI_REAL, .istatus, ierr)
→ call MPI_GET_COUNT(.istatus, MPI_REAL, .numread, ierr)
→ call MPI_FILE_CLOSE(myfh, ierr)
```



Производные типы данных
MPI_Type_struct

```
! .....
..... array_of_sizes(1) := Nz ! global array size in x dimension
..... array_of_sizes(2) := Ny ! global array size in y dimension
..... array_of_sizes(3) := Nx ! global array size in z dimension

..... array_of_subsizes(1) := k2-k1+1 ! subarray size in x dimension
..... array_of_subsizes(2) := j2-j1+1 ! subarray size in y dimension
..... array_of_subsizes(3) := i2-i1+1 ! subarray size in z dimension

! In a Fortran program with arrays indexed starting from 1,
! if the starting coordinate of a particular dimension of the subarray is n,
! then the entry in array_of_starts for that dimension is n-1. (End of advice to user)
..... array_of_starts(1) := k1-1
..... array_of_starts(2) := j1-1
..... array_of_starts(3) := i1-1

→ call MPI_Type_create_subarray(3, array_of_sizes, array_of_subsizes,
* ..... array_of_starts, MPI_ORDER_FORTRAN, MPI_REAL, ftype, ierr)

→ call MPI_Type_commit(ftype, ierr)

→ call MPI_File_open(MPI_COMM_1, str31, MPI_MODE_RDONLY,
* ..... MPI_INFO_NULL, myfh, ierr)

→ ..... of7 = 0
→ call MPI_File_set_view(myfh, of7, MPI_REAL, ftype, 'native',
* ..... MPI_INFO_NULL, ierr)

!!! (this type need for vs) ..... call MPI_Type_free(ftype, ierr)

→ call MPI_File_read_all(myfh, fileread_vp, bufcount,
* ..... MPI_REAL, istatus, ierr)

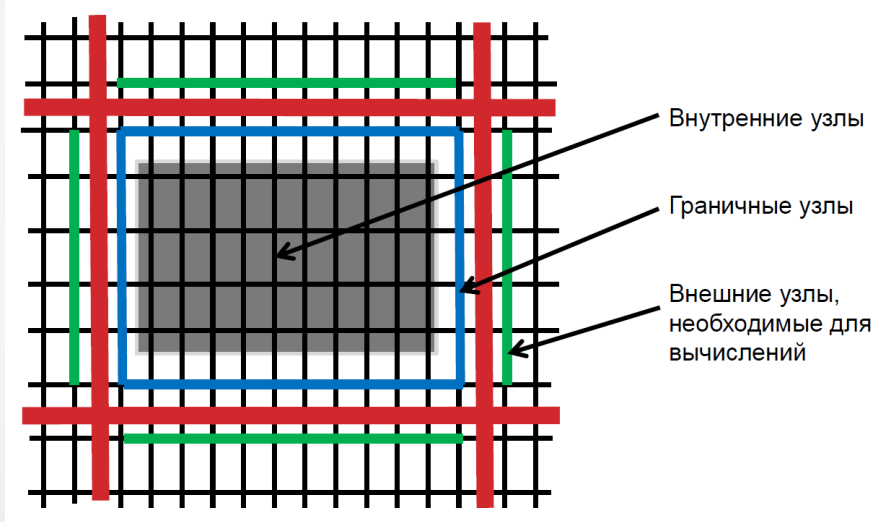
→ call MPI_GET_COUNT(.istatus, MPI_REAL, .numread, ierr)

→ call MPI_File_close(myfh, ierr)
```

НЕБЛОКИРУЮЩИЕ КОММУНИКАЦИОННЫЕ ОПЕРАЦИИ

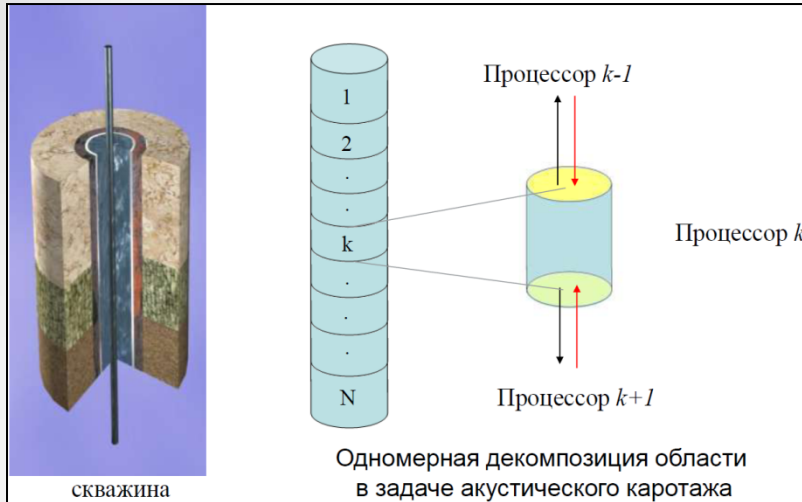
`MPI_Irecv` и `MPI_Isend`

Использование неблокирующих коммуникационных операций может увеличить скорость работы программы за счет **совмещения выполнения вычислительных и коммуникационных операций**.

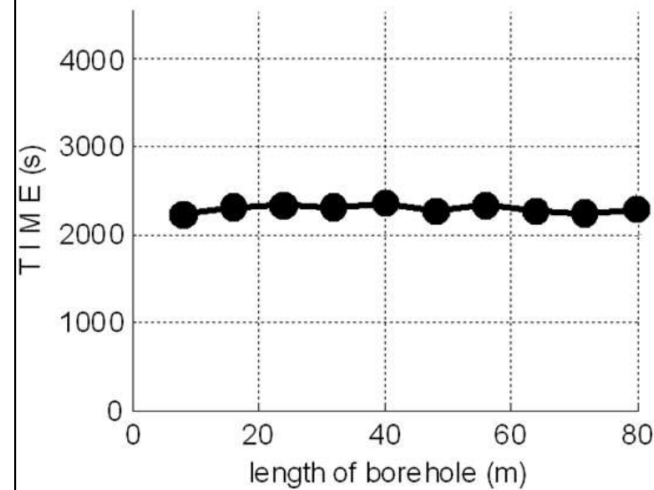


- C:
`MPI_Isend` (buf, count, datatype, dest, tag, comm, &request);
`MPI_Wait` (&request, &status);
`MPI_Test` (&request, &flag, &status);
- Fortran:
`CALL MPI_Isend`(buf, count, datatype, dest, tag, comm, request, ierror);
`CALL MPI_Wait`(request, status, ierror)
`CALL MPI_Test`(request, flag, status, ierror)
- buf не должен использоваться между Isend и Wait

НЕБЛОКИРУЮЩИЕ КОММУНИКАЦИОННЫЕ ОПЕРАЦИИ MPI_RECV и MPI_SEND



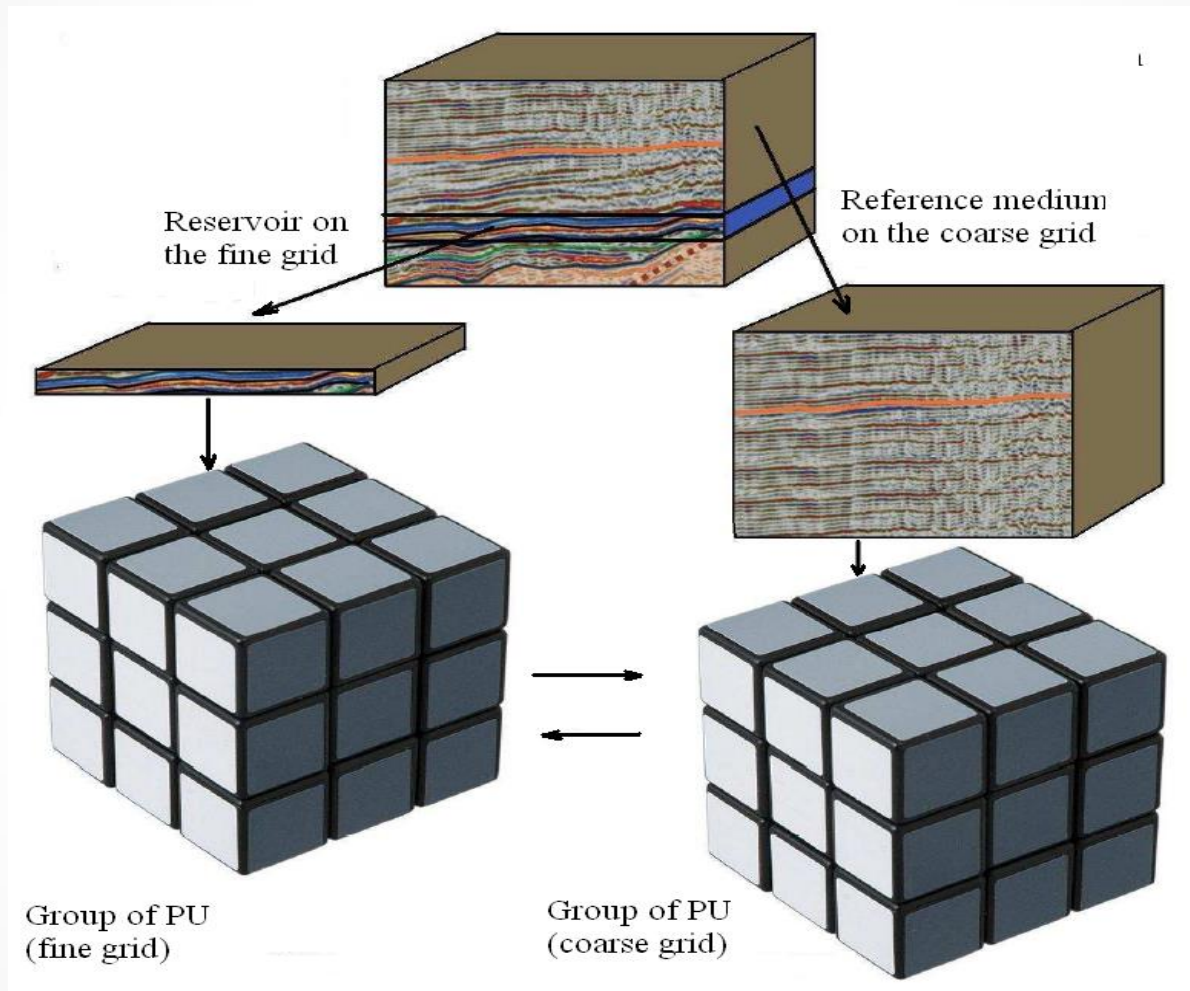
МАСШТАБИРУЕМОСТЬ



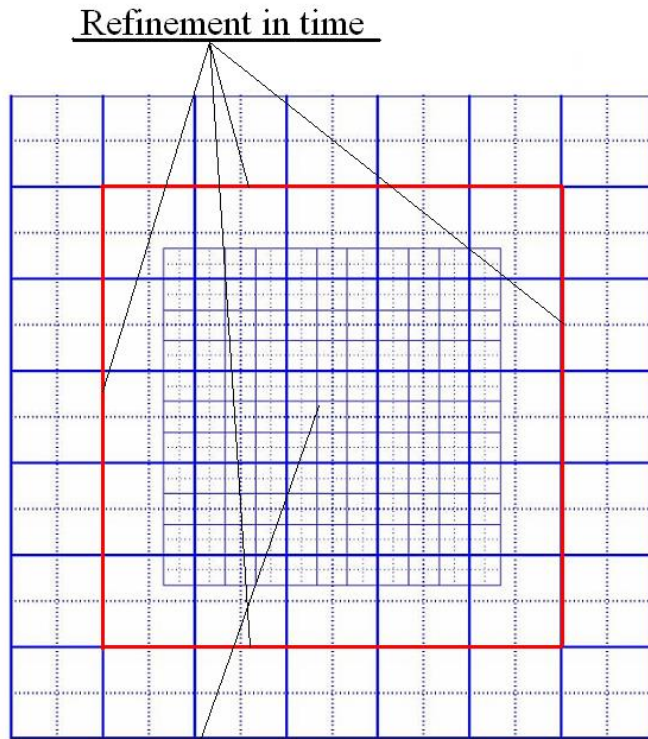
Глубина скважины
8 м - 4 проц.
16м - 8 проц.
24м - 12 проц.
40м - 20 проц.
56м - 28 проц.
64м - 32 проц.
:
160м – 80 проц.

- **Большой объем входных данных (модель)**
- **Многомасштабность**
- **Расчеты для многих источников**

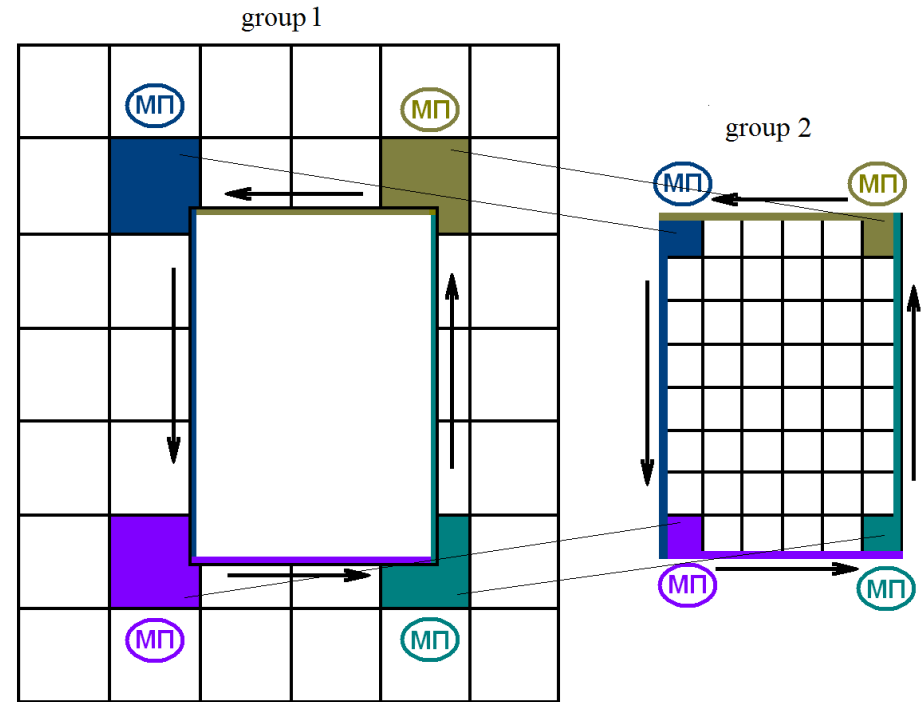
Метод конечных разностей с измельчением по пространству и времени.



Метод конечных разностей с измельчением по пространству и времени.

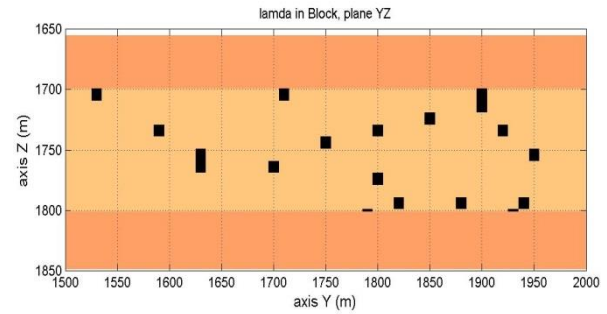
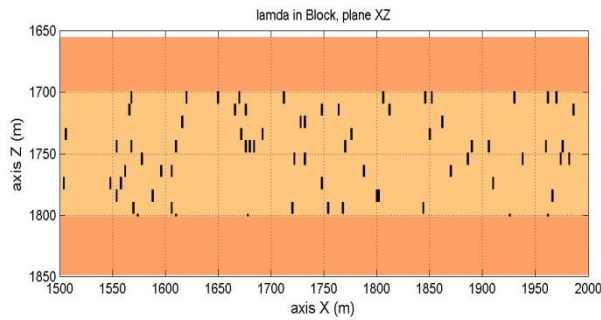
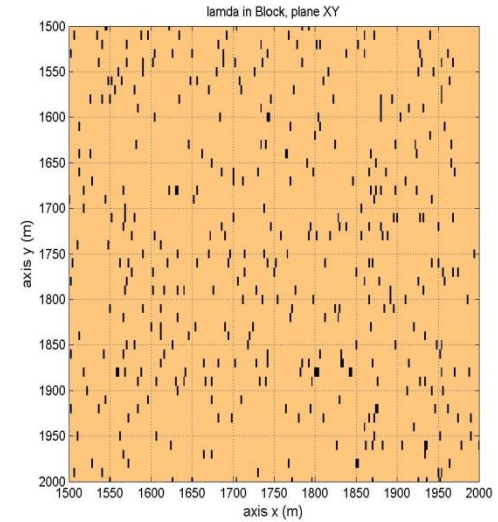
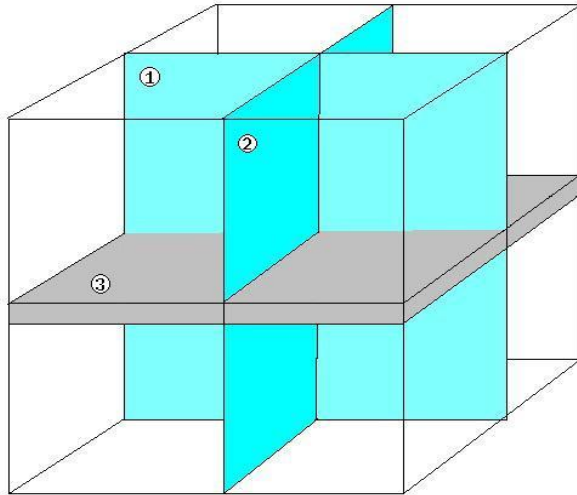


Сетка с измельчением.

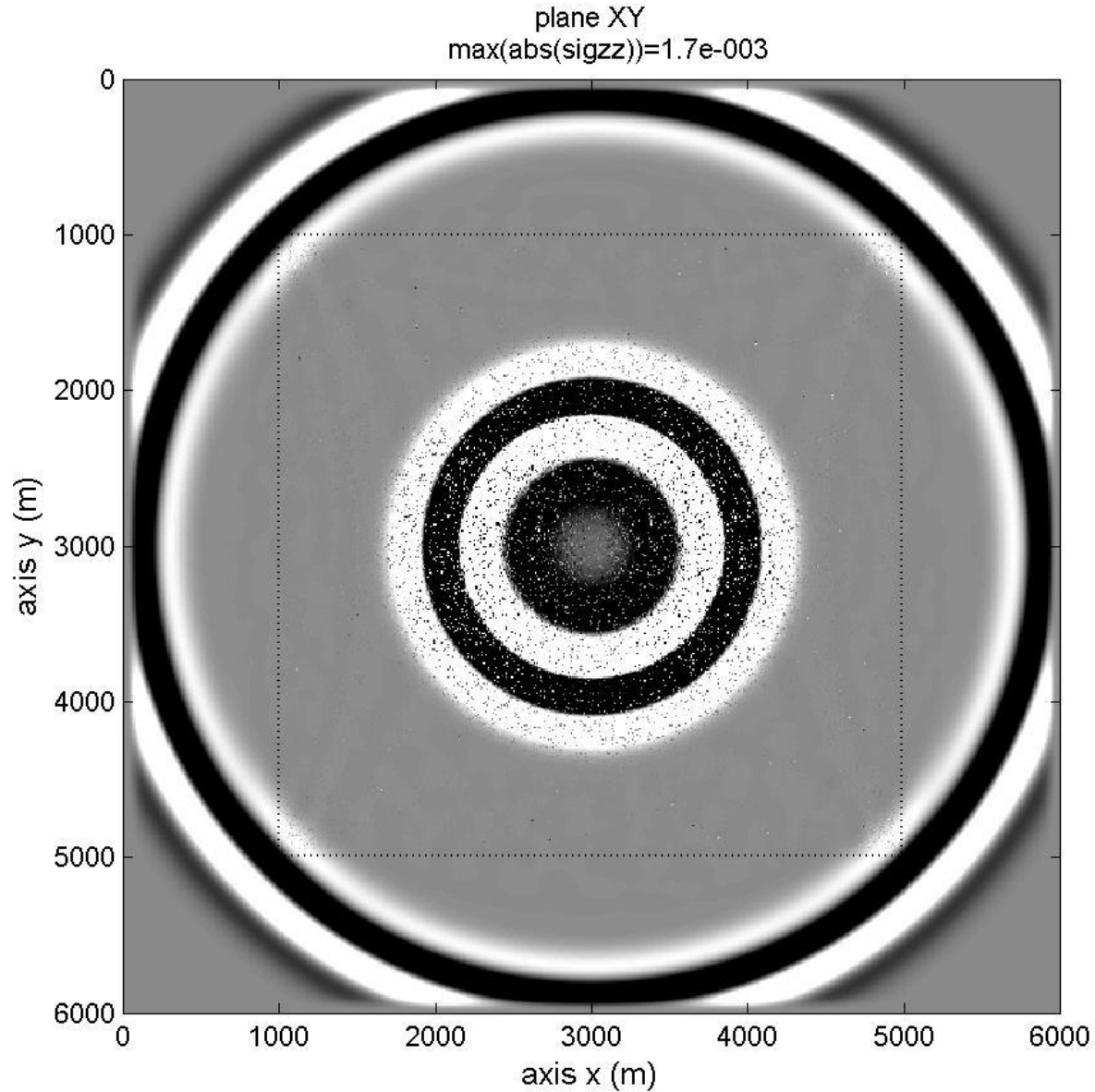


Обмен данными между группами процессоров.

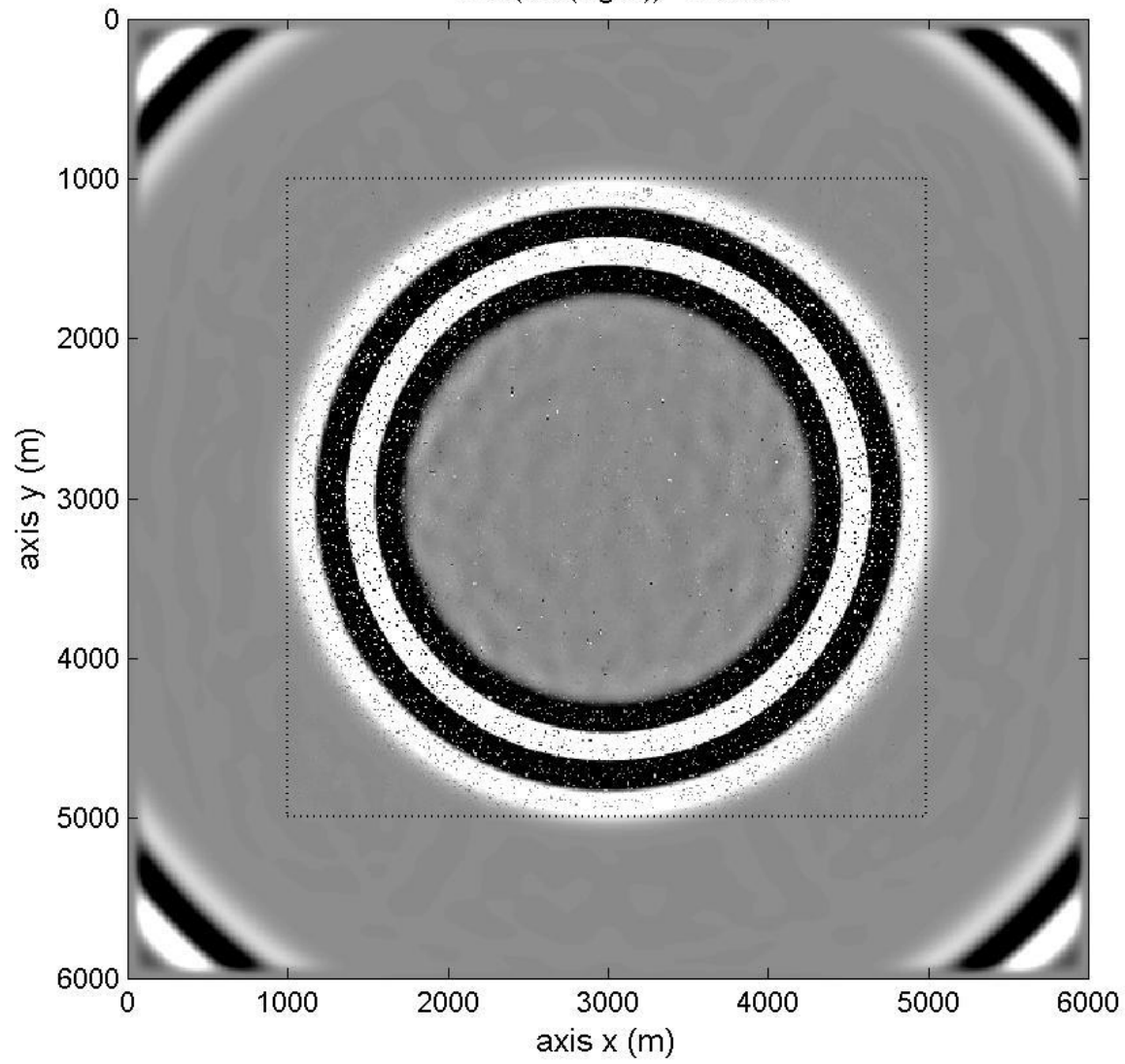
Метод конечных разностей с измельчением по пространству и времени.



Метод конечных разностей с измельчением по пространству и времени.

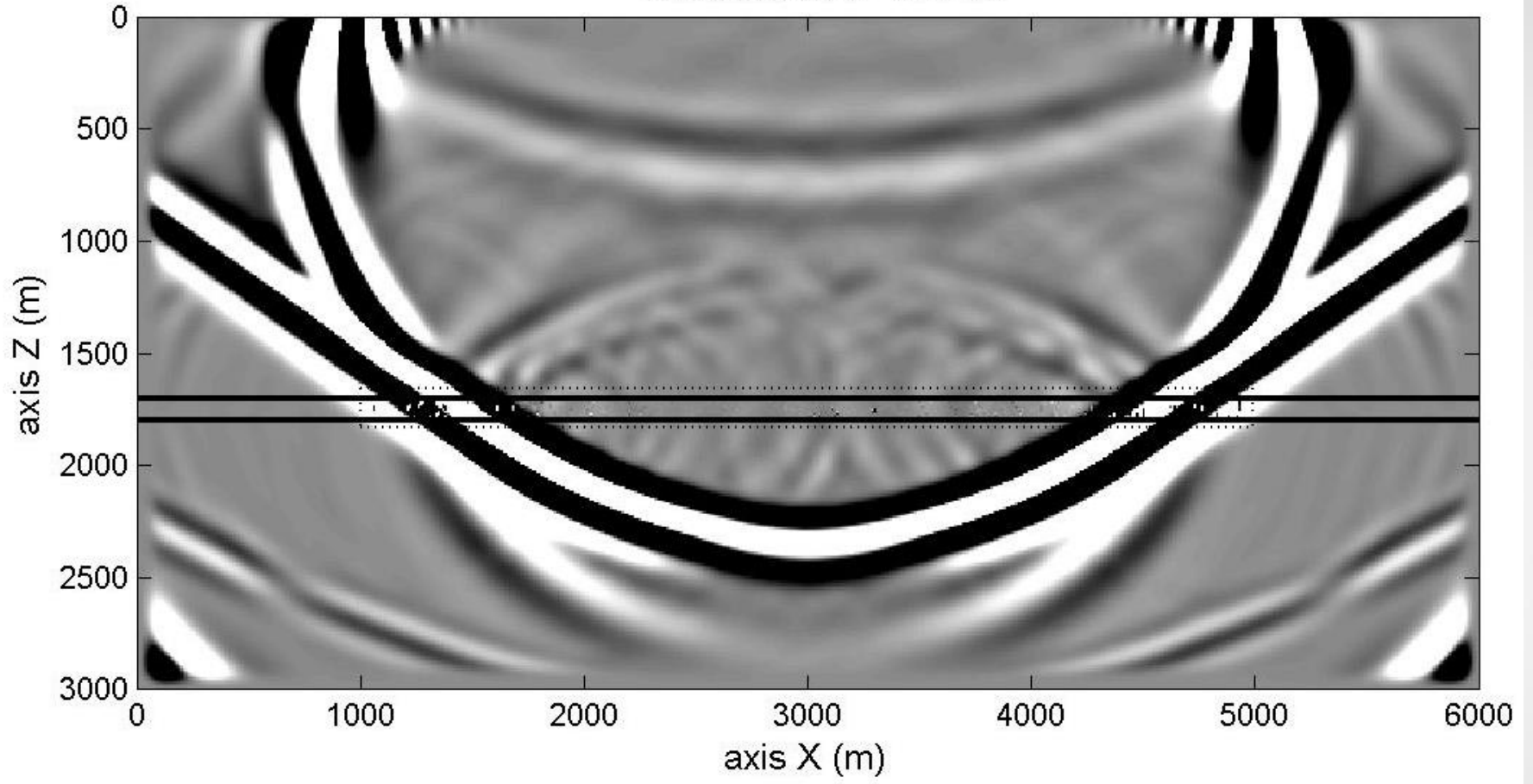


plane XY
 $\max(\text{abs}(\text{sigzz}))=1.4\text{e-}003$

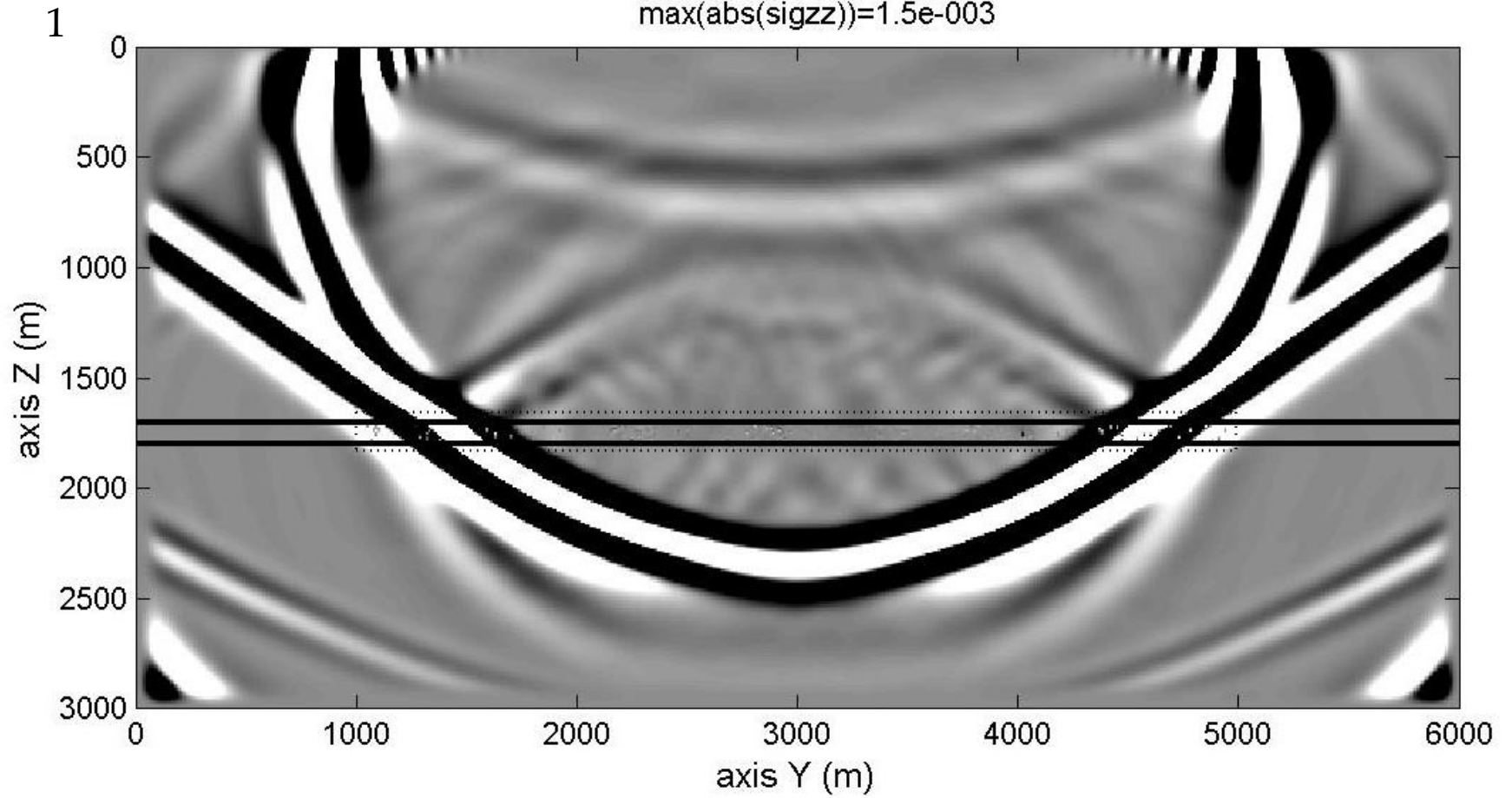


2

plane XZ
max(abs(sigzz))=1.5e-003



plane YZ
max(abs(sigzz))=1.5e-003



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ