

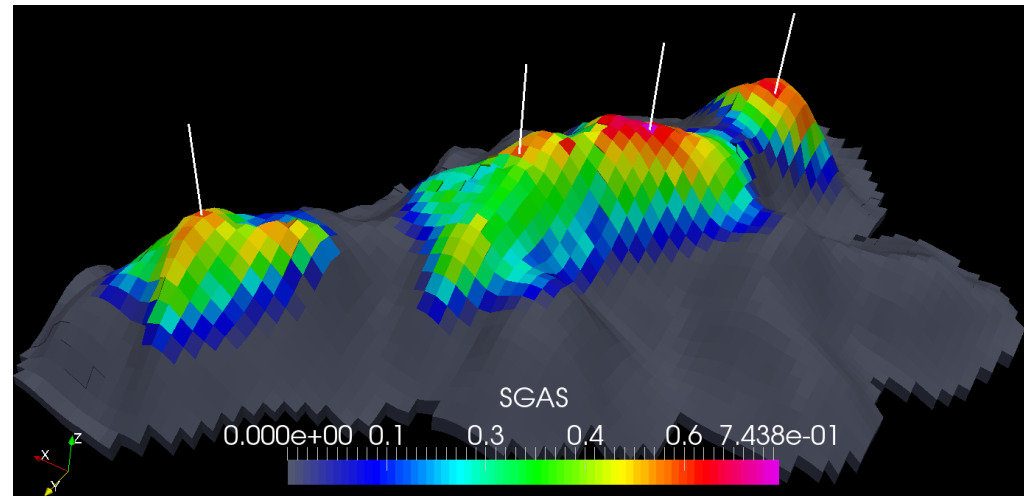
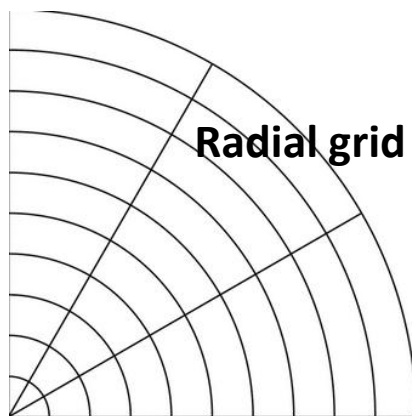
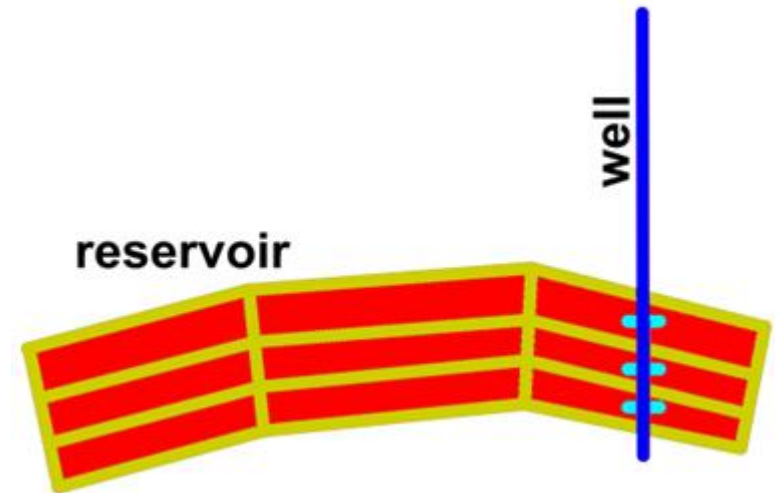
# Тренинг по пакету программ MUFITS

День 3

Скважины; Модули BINMIXT и  
GASSTORE; Радиальные сетки

# Программа

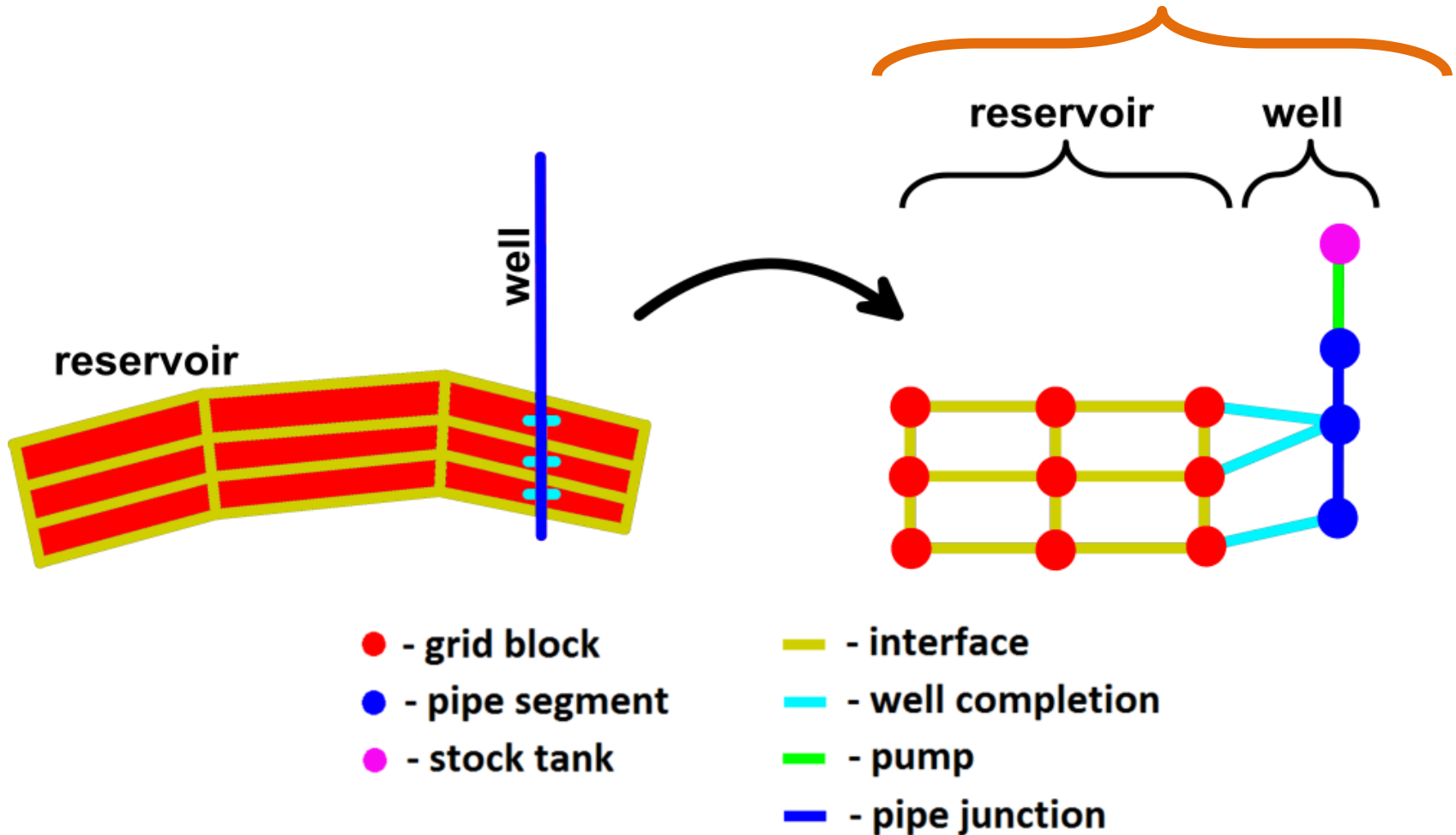
- Скважины
- Модуль BINMIXT
- Модуль GASSTORE
- Радиальные сетки



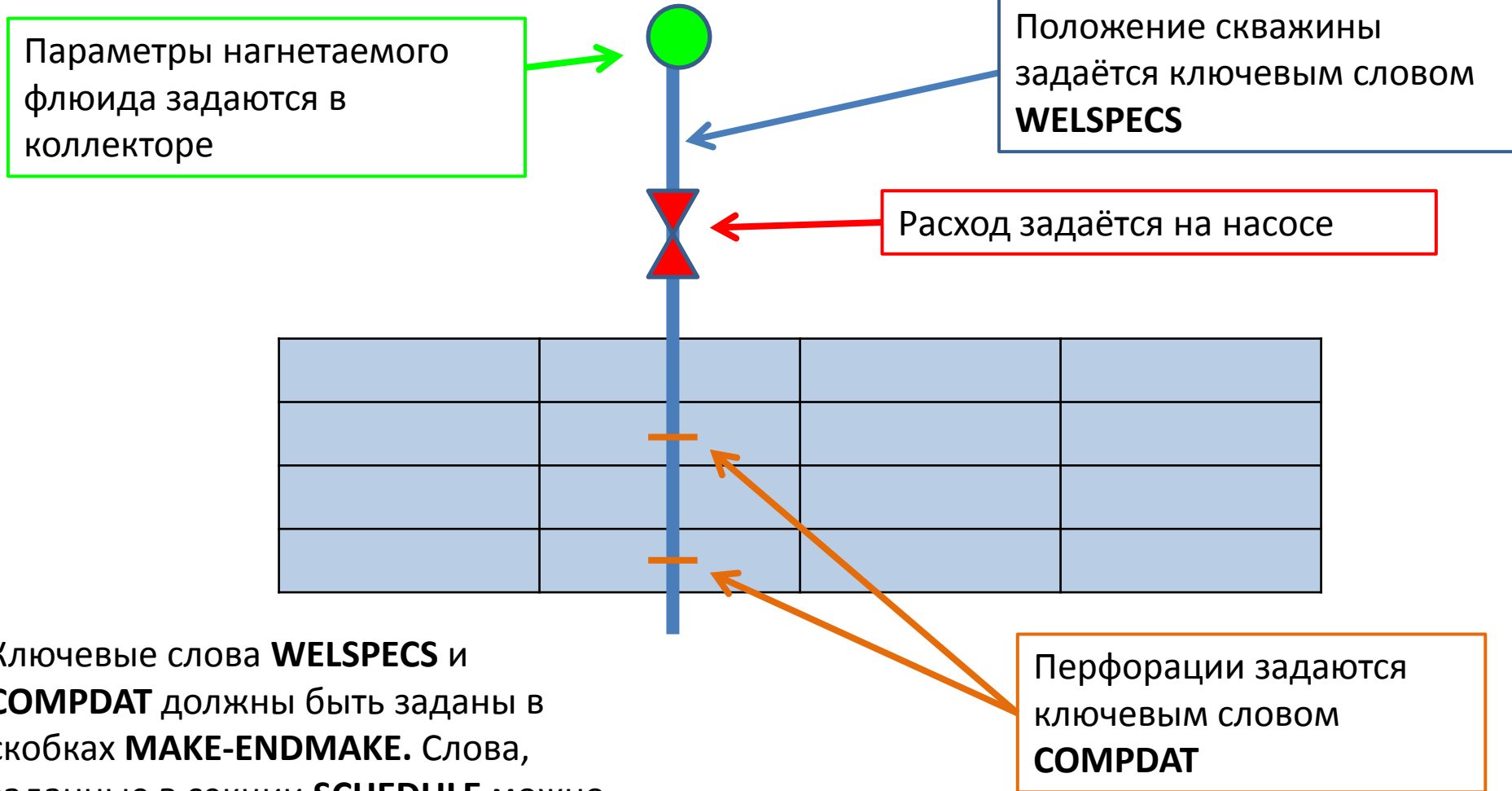
# Скважины

# Представление модели в симуляторе

Строится внутри скобок MAKE-ENDMAKE



# О Скважинах



Ключевые слова **WELSPECS** и **COMPDAT** должны быть заданы в скобках **MAKE-ENDMAKE**. Слова, заданные в секции **SCHEDULE** можно загрузить, указав в скобках слово **GETWELLS**.

# Ключевое слово WELSPECS

```
----- WELSPECS syntax -----
1  -- within MAKE-ENDMAKE brackets or in SCHEDULE section
2
3  WELSPECS
4      name1 nu1 iloc1 jloc1 datum1 nu1 r0_1 3*nu1 eosnum1 5*nu1 fluxnum1 /
5      name2 nu2 iloc2 jloc2 datum2 nu1 r0_2 3*nu2 eosnum2 5*nu2 fluxnum2 /
6      name3 nu3 iloc3 jloc3 datum3 nu1 r0_3 3*nu3 eosnum3 5*nu3 fluxnum3 /
7      ...
8  /
9
10 -----
11
12  name#      - well name;
13  nu#        - a parameter not used at present;
14  iloc#      - i-index of the grid block where the well head is located;
15  jloc#      - j-index of the grid block where the well head is located;
16  datum#    - reference depth for bottom hole pressure;
17  r0_#       - drainage radius;
18  eosnum#    - equation of state region number used for the fluid properties
19              calculation in the well;
20  fluxnum#   - FLUXNUM region number assigned to all cells of which the well
21              is constructed.
```

# Ключевое слово COMPDAT

```

1  -- within MAKE-ENDMAKE brackets or in SCHEDULE section
2
3  COMPDAT
4  name1 iloc1 jloc1 kmin1 kmax1 mode1 satnum1 tran1 d1 kh1 skin1 nu1 dir1 r0_1 /
5  name2 iloc2 jloc2 kmin2 kmax2 mode2 satnum2 tran2 d2 kh2 skin2 nu2 dir2 r0_2 /
6  name3 iloc3 jloc3 kmin3 kmax3 mode3 satnum3 tran3 d3 kh3 skin3 nu3 dir3 r0_3 /
7  ...
8  /
9
10 =====
11
12  name#       - well name;
13  nu#         - a parameter not used at present;
14  iloc#/jloc# - i-index and j-index of the grid block where the well is
15              completed;
16  kmin#/kmax# - k-index range of grid blocks where the well is completed;
17  mode#       - if OPEN (default) the completion is opened for the fluid
18              transport; if SHUT the completion is closed off;
19  satnum#    - saturation functions region (SATNUM) used for the calculation
20              of the fluxes through the completion;
21  tran#      - this field is for explicit specification of the
22              transmissibility;
23  d#         - wellbore diameter at the connection;
```

# Ключевое слово WELLPROD

Параметры добывающих скважин задаются ключевым словом **WELLPROD**

*WELLPROD syntax*

```
1 -- in SCHEDULE section
2
3 WELLPROD
4   name1 mode1 targ1 volrate1 massrate1 bhp1 vp1 nu1 dimflag1 /
5   name2 mode2 targ2 volrate2 massrate2 bhp2 vp2 nu2 dimflag2 /
6   name3 mode3 targ3 volrate3 massrate3 bhp3 vp3 nu3 dimflag3 /
7   ...
8 /
9
10 =====
11
12 name#      - well name or well name template;
13 mode#      - well mode. Available values: OPEN - well
14             STOP - well stoped above formation, SHUT
15             isolated form the formation.
16 targ#      - well operational target. Available values:
17             RESV - volumetric rate at reservoir cond
18             bottom hole pressure;
19 massrate#  - mass rate;
20 volrate#   - volumetric rate;
21 bhp#       - bottom-hole pressure (either limit (MASS
22             parameter (BHP));
```

The graph illustrates the relationship between well rate and pressure. The vertical axis represents the production rate in m³/day, with a specific value of 10<sup>5</sup> marked. The horizontal axis represents pressure in MPa, with values 0, 20, and 40 indicated. A green line shows that the rate is zero until a certain pressure is reached, after which it increases sharply and then levels off at a constant rate of 10<sup>5</sup> m³/day. A vertical dashed line marks the 'Pressure limit'. A horizontal double-headed arrow above the line indicates a pressure change of dP → 0.



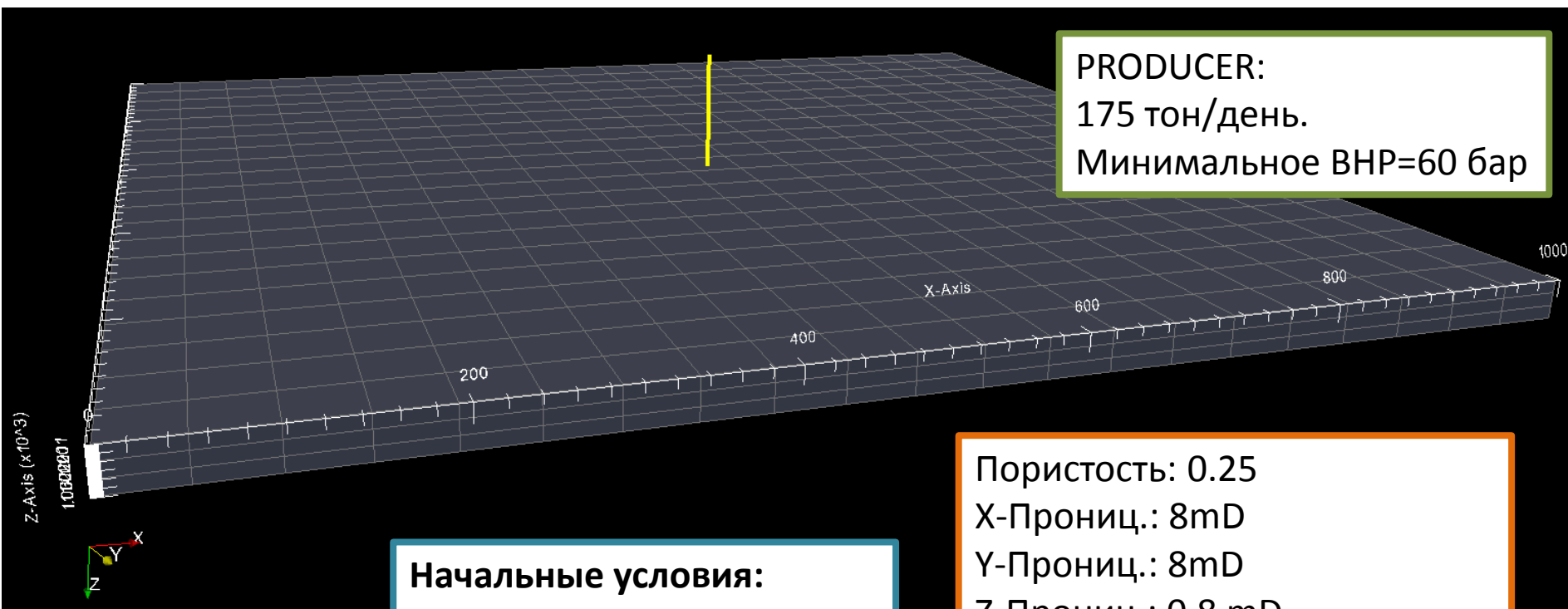
# Пример 5

Сетка: 21\*21\*3

Область : [0,1000]\*[0,1000]\*[1000,1030] m

PRODUCER: i=11, j=11 завершен в k=1,2

Рассчитать до 9540 дней сохраняя распределения каждые 180 days.



$$k_{r,l} = s_l^3$$
$$k_{r,g} = 1 - s_l^2$$

**Начальные условия:**  
Температура=307.8 С;  
Термодинамическое  
равновесие вода-пар;  
насыщенности воды = 1.0

Пористость: 0.25  
X-Прониц.: 8mD  
Y-Прониц.: 8mD  
Z-Прониц.: 0.8 mD  
Коэфф. Теплопр.: 2 Вт/м/К  
ПлотностьПороды: 2650 кг/м3  
Теплоёмкость: 1 кДж/кг/К

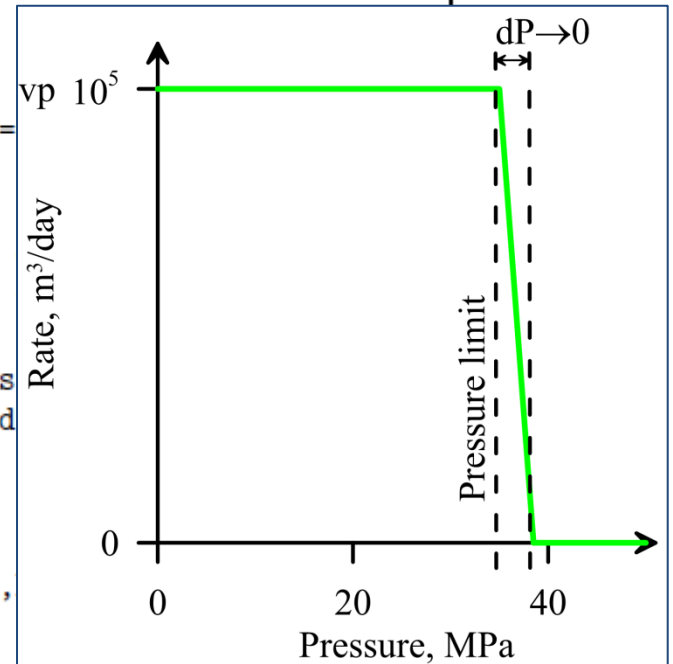
# Пример 5 (RUN-файл)

1. Откройте RUN-файл в текстовом редакторе (SCENARION-B5.RUN)
2. Проведите расчёт
3. Откройте результаты в ParaView

# Ключевое слово WELLINJE

Параметры нагнетательных скважин задаются ключевым словом **WELLINJE**

```
WELLINJE syntax
1 -- in SCHEDULE section
2
3 WELLINJE
4   name1 mode1 targ1 volrate1 massrate1 bhp1 vp1 injtype1 dimflag1 /
5   name2 mode2 targ2 volrate2 massrate2 bhp2 vp2 injtype2 dimflag2 /
6   name3 mode3 targ3 volrate3 massrate3 bhp3 vp3 injtype3 dimflag3 /
7   ...
8 /
9
10 =====
11
12 name#      - well name or well name template;
13 mode#      - well mode. Available values: OPEN - well
14             STOP - well stoped above formation, SHUT
15             isolated form the formation.
16 targ#      - well operational target. Available values
17             RATE - volumetric rate at stock tank cond
18             bottom hole pressure;
19 massrate#  - mass rate;
20 volrate#   - volumetric rate;
21 bhp#       - bottom-hole pressure (either limit (MASS,
22             parameter (BHP));
```

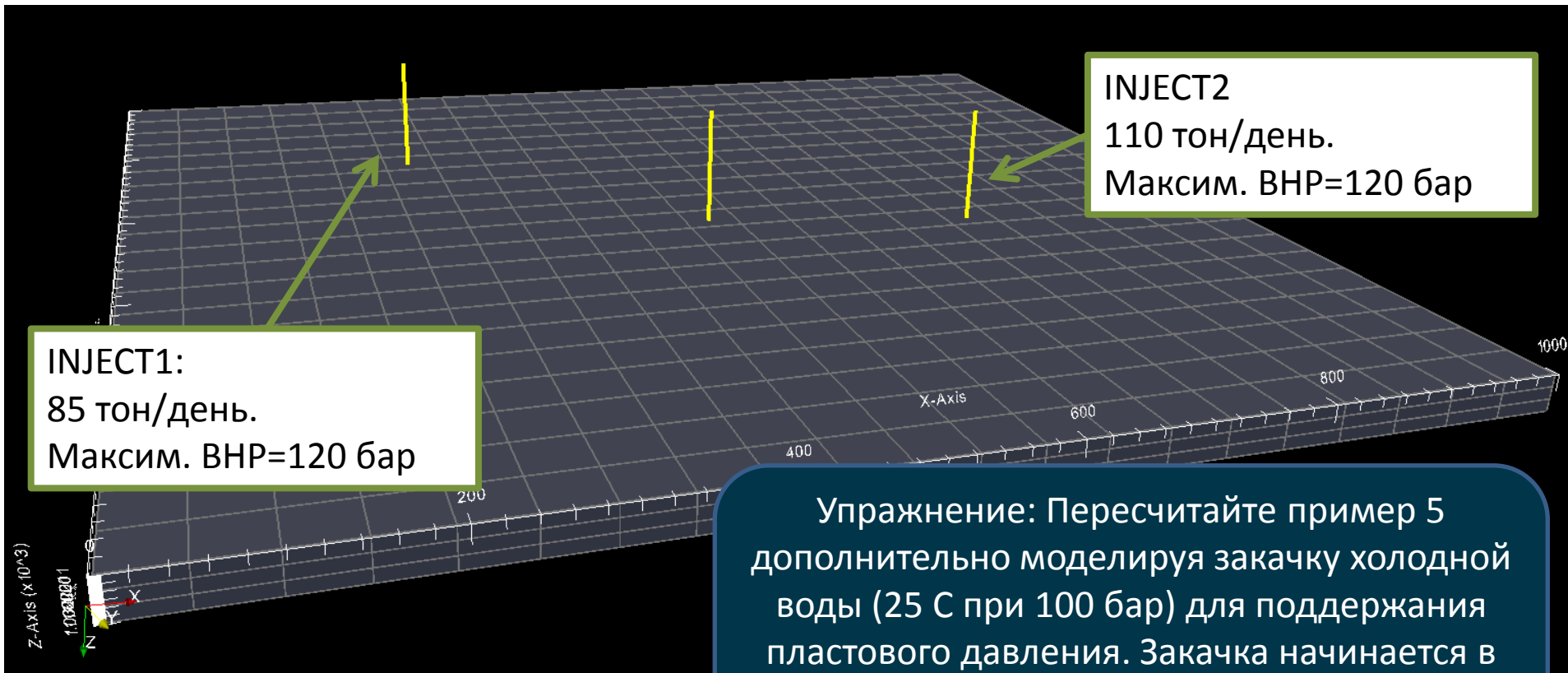


# Пример (упраж. 1)

PRODUCER:  $i=11, j=11$  перфор. в  $k=1,2$

INJECT1:  $i=6, j=6$  перфор. в  $k=1,2,3$

INJECT2:  $i=16, j=12$  перфор. в  $k=1,2,3$



INJECT1:  
85 тон/день.  
Максим. ВНР=120 бар

INJECT2  
110 тон/день.  
Максим. ВНР=120 бар

Упражнение: Пересчитайте пример 5 дополнительно моделируя закачку холодной воды (25 С при 100 бар) для поддержания пластового давления. Закачка начинается в момент времени 3240 дней. Сохраните параметры всех скважин

# RUN-файл (пример 5; упражнение 1)

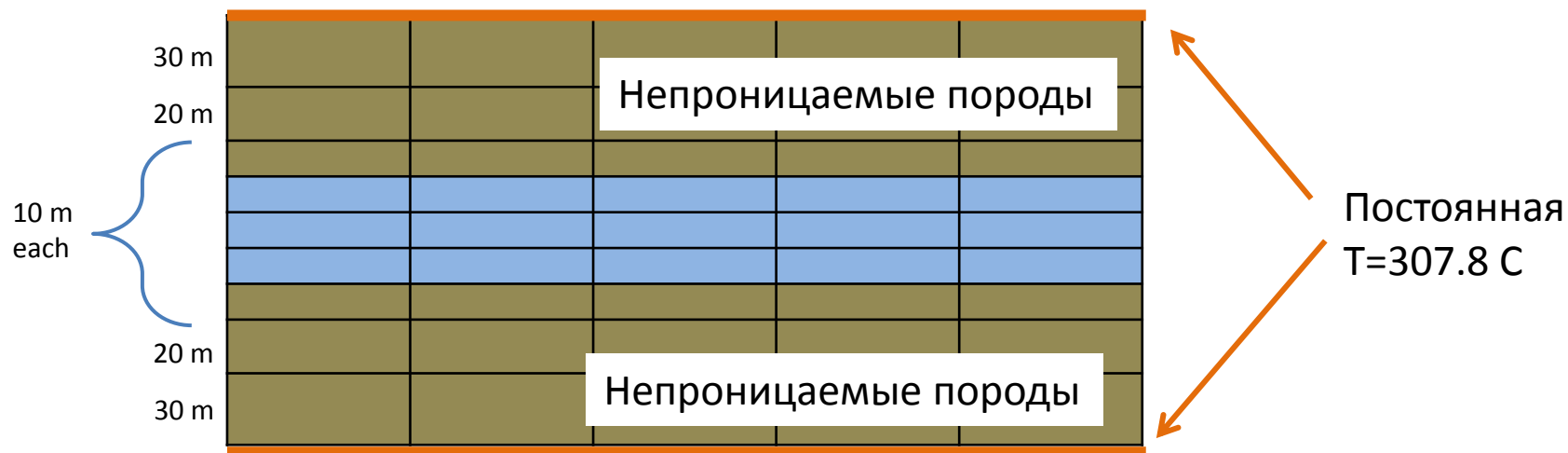
1. Откройте RUN-файл в текстовом редакторе (SCENARIO-B5.RUN)
2. Проведите расчёт
3. Откройте результаты в ParaView

# Пример 5 (упражнение 2)

Сетка: 21\*21\*9

Упражнение: Пересчитайте пример 5, моделируя теплообмен с непроницаемыми породами

Сечение задачи



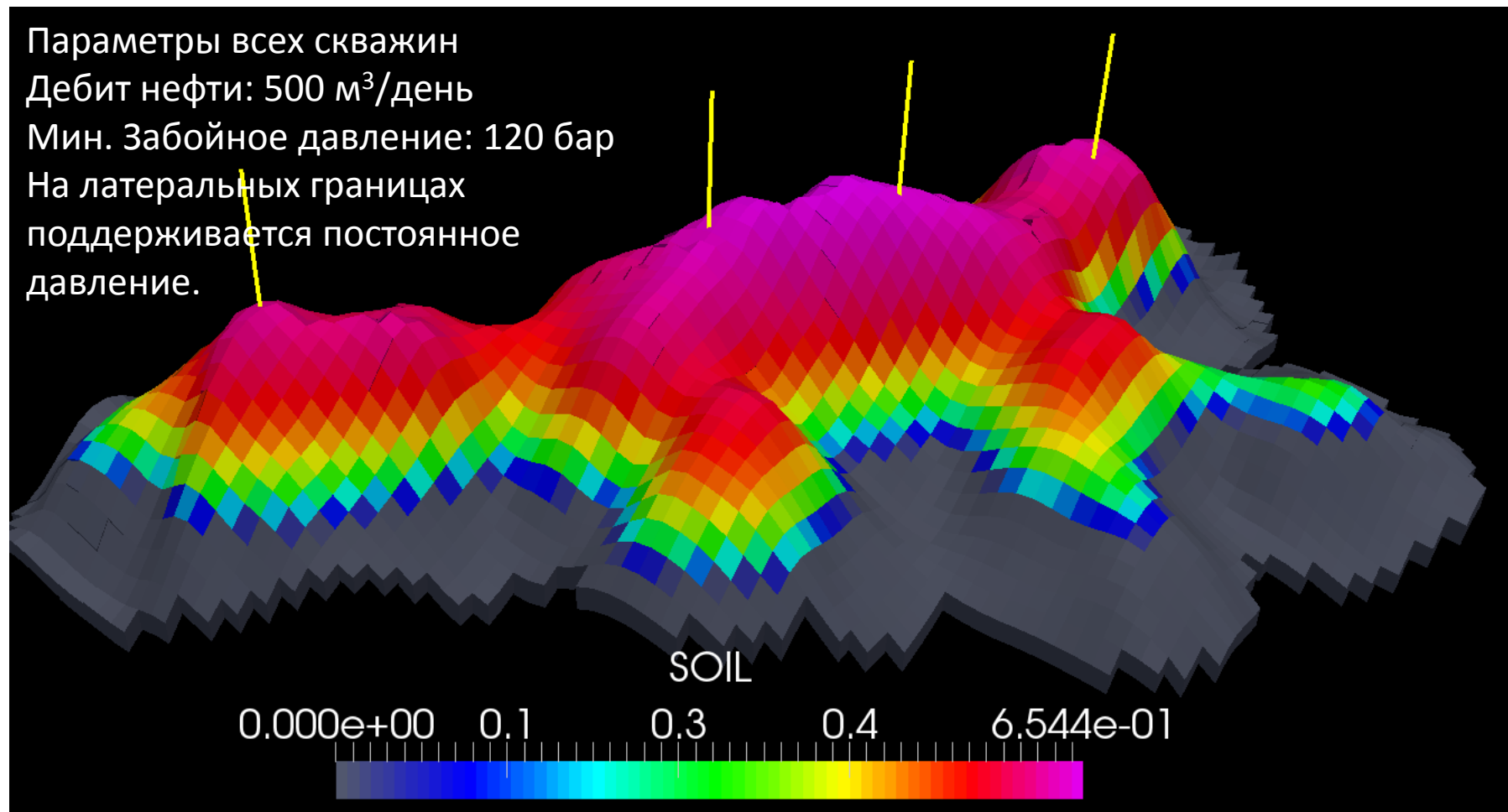
# RUN-файл (пример 5; упражнение 2)

1. Откройте RUN-файл в текстовом редакторе (SCENARIO-B5.RUN)
2. Проведите расчёт
3. Откройте результаты в ParaView

# Пример 6 (развитие примера 3)

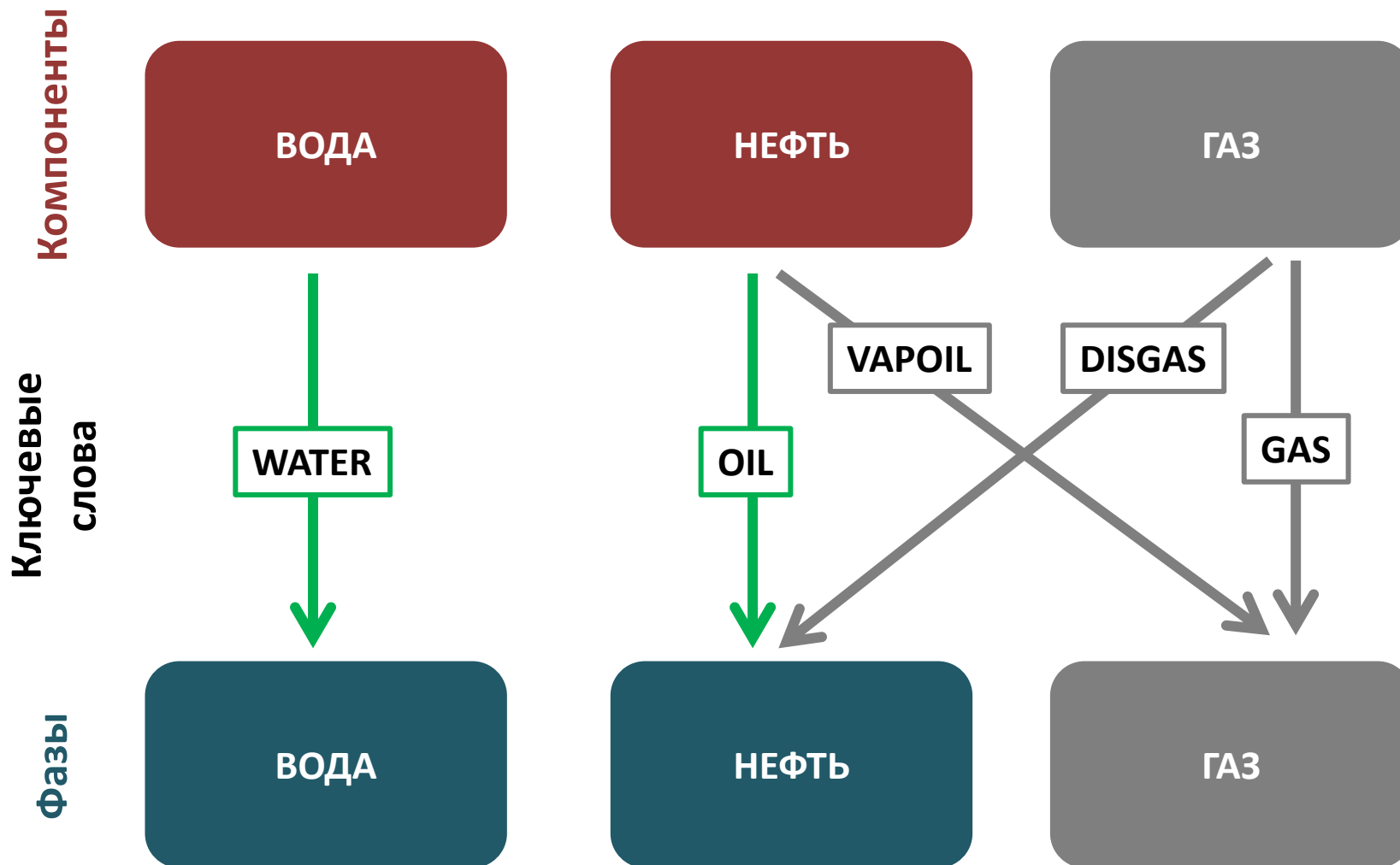
Проведите моделирование разработки месторождения в течении 720 дней.

Параметры всех скважин  
Дебит нефти: 500 м<sup>3</sup>/день  
Мин. Забойное давление: 120 бар  
На латеральных границах  
поддерживается постоянное  
давление.





# EOS модуль BLACKOIL



# RUN-файл (пример 6)

1. Откройте RUN-файл в текстовом редакторе (SCENARIO-B6.RUN)
2. Проведите расчёт
3. Откройте результаты в ParaView

# Ключевое слово WELLSTOP

Останавливает скважину

```
                                WELLSTOP syntax
1  -- in SCHEDULE section
2
3  WELLSTOP
4     name1 /
5     name2 /
6     name3 /
7     ...
8  /
9
10 =====
11
12  name# - well name or well name template.
```

# Пример 6 (упражнение 1)

Упражнение: Пересчитайте пример 6, остановив работу скважин через 720 дней разработки на 360 дней, а затем возобновив их работу в последующие 360 дней.

# Пример 6 (упражнение 2)

Упражнение: Пересчитайте пример 6, добавив через 720 дней разработки закачку воды через две дополнительные скважины. Продолжите расчёт до 1080 дней.

## Параметры скважин:

INJE1: I=30, J=27, k=2-5, Q=500 м<sup>3</sup>/день, P<sub>max</sub>=260 бар

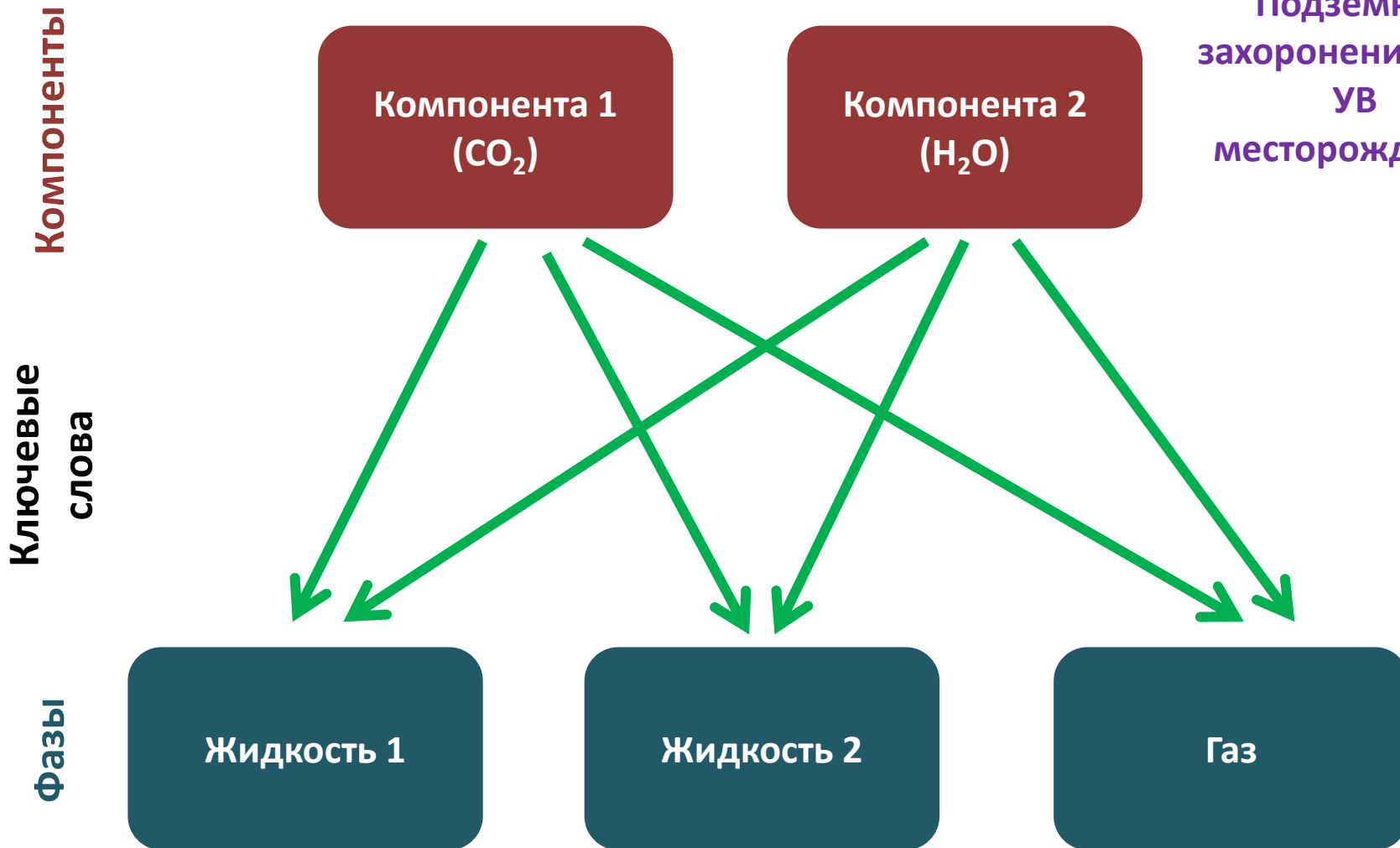
INJE2: I=20, J=47, k=2-5, Q=500 м<sup>3</sup>/день, P<sub>max</sub>=260 бар

# Модуль BINMIXT

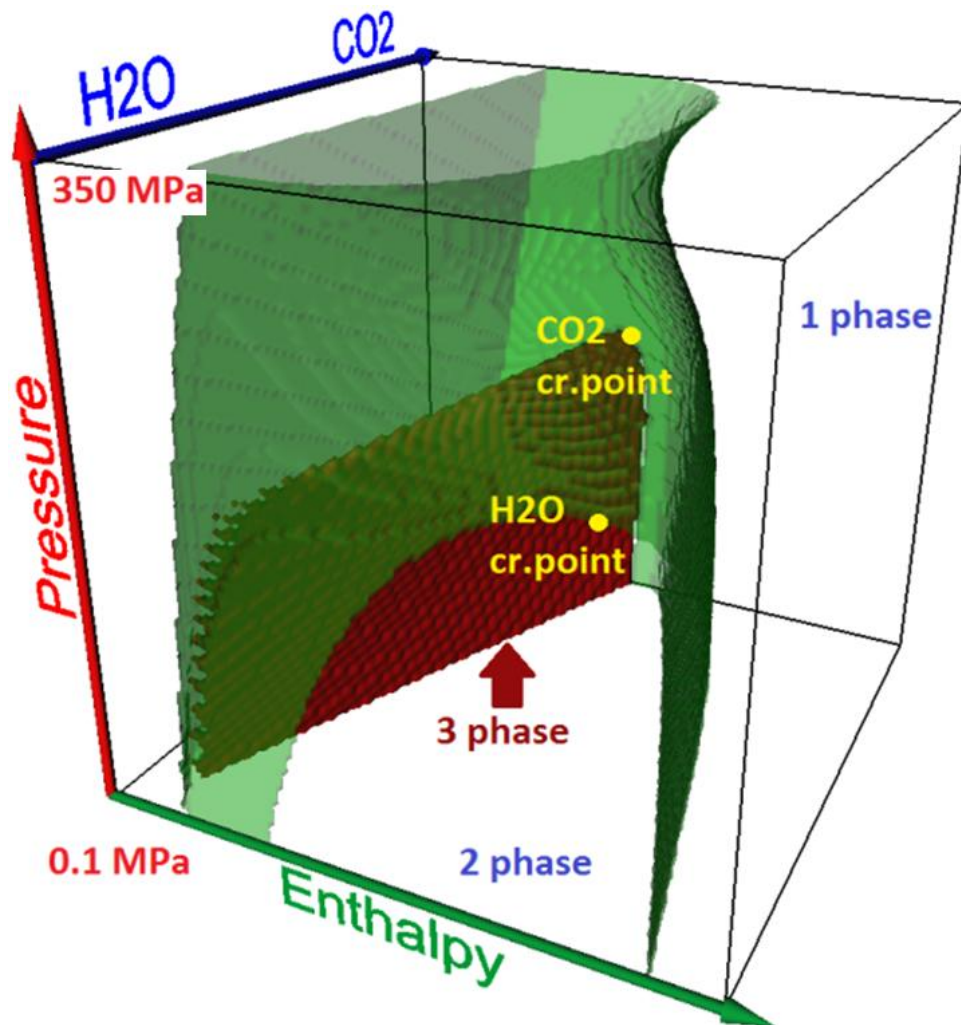
T≠const

# EOS модуль BINMIXT

Геотермальные приложения;  
Подземное захоронение CO<sub>2</sub>;  
УВ месторождения



# Фазовая диаграмма смеси CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O



Фазовая диаграмма  
в переменных  
давление-энтальпия-состав

Вне зелёной поверхности – 1-фазные состояния, внутри зелёной и вне красной – 2-фазные состояния, внутри красной поверхности 3-фазные состояния.



# Ключевое слово LOADEOS

EOS-файл содержит в виде таблиц всю информацию о теплофизических параметрах бинарной смеси. EOS-файл может быть загружен в расчёт с помощью ключевого слова **LOADEOS** в секции **PROPS**.

```
                                LOADEOS syntax
1  -- in PROPS section
2
3  LOADEOS
4     filename /
5
6  =====
7
8     filename - name of EOS file.
```

# Дополнительные мнемоники

Мнемоника	Описание
ENTHT	Молярная энтальпия (кДж/моль)
COMP1T	Молярная доля первой компоненты (CO <sub>2</sub> )
COMP2T	Молярная доля второй компоненты (H <sub>2</sub> O)
SGASINIT	Начальная насыщенность газа
SLIQINIT	Начальная насыщенность жидкости

# Ключевые слова и мнемоники, доступные с модулем BINMIXT

Откройте Справочное руководство  
и просмотрите ключевые слова и  
мнемоники доступные с модулем  
BINMIXT

# Начальные условия

Возможности задания начальных условий

- a) Заданы давление (PRES), температура (TEMP или TEMPC), состав (COMP1T или COMP2T) [Приоритет 1];
- b) Заданы давление (PRES), Энтальпия (ENTHT), состав (COMP1T или COMP2T) [Приоритет 2].

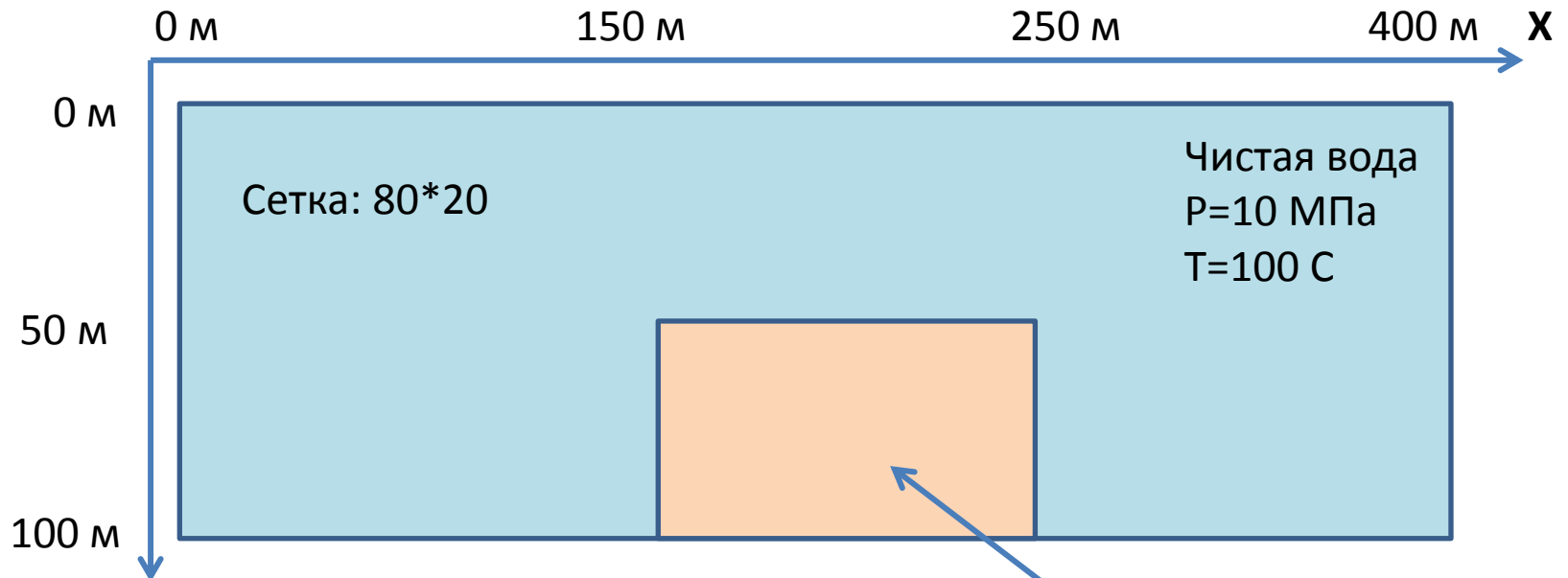
Для двухфазных состояний, заданных опциями a) или b), насыщенность фаз может быть задана с помощью мнемоник SLIQINIT и SGASINIT. В этом случае энтальпия (ENTHT) и компонентный состав (COMP1T или COMP2T) изменяются чтобы удовлетворить условиям для насыщенности, однако теплофизические параметры фаз (плотность, вязкость) не изменяются.

# Пример 7

Рассчитайте фильтрацию в течении 200 дней сохраняя распределения каждые 10 дней.

## Свойства породы

Пористость = 0.25;  
Проницаемость = 100 мД ;  
Плотность породы = 2900 кг/м<sup>3</sup>;  
Теплоёмкость= 1 кДж/кг/К;  
Теплопроводность= 2 Вт/м/К.



## Фазовые проницаемости

Brooks and Corey,  
 $s_{\min}=0.2, s_{\max}=0.95$

$$k_{r,l} = s_l^4$$

$$k_{r,g} = 1 - s_l^2 \quad 1 - s_l^2$$

P=10 МПа

T=200 С

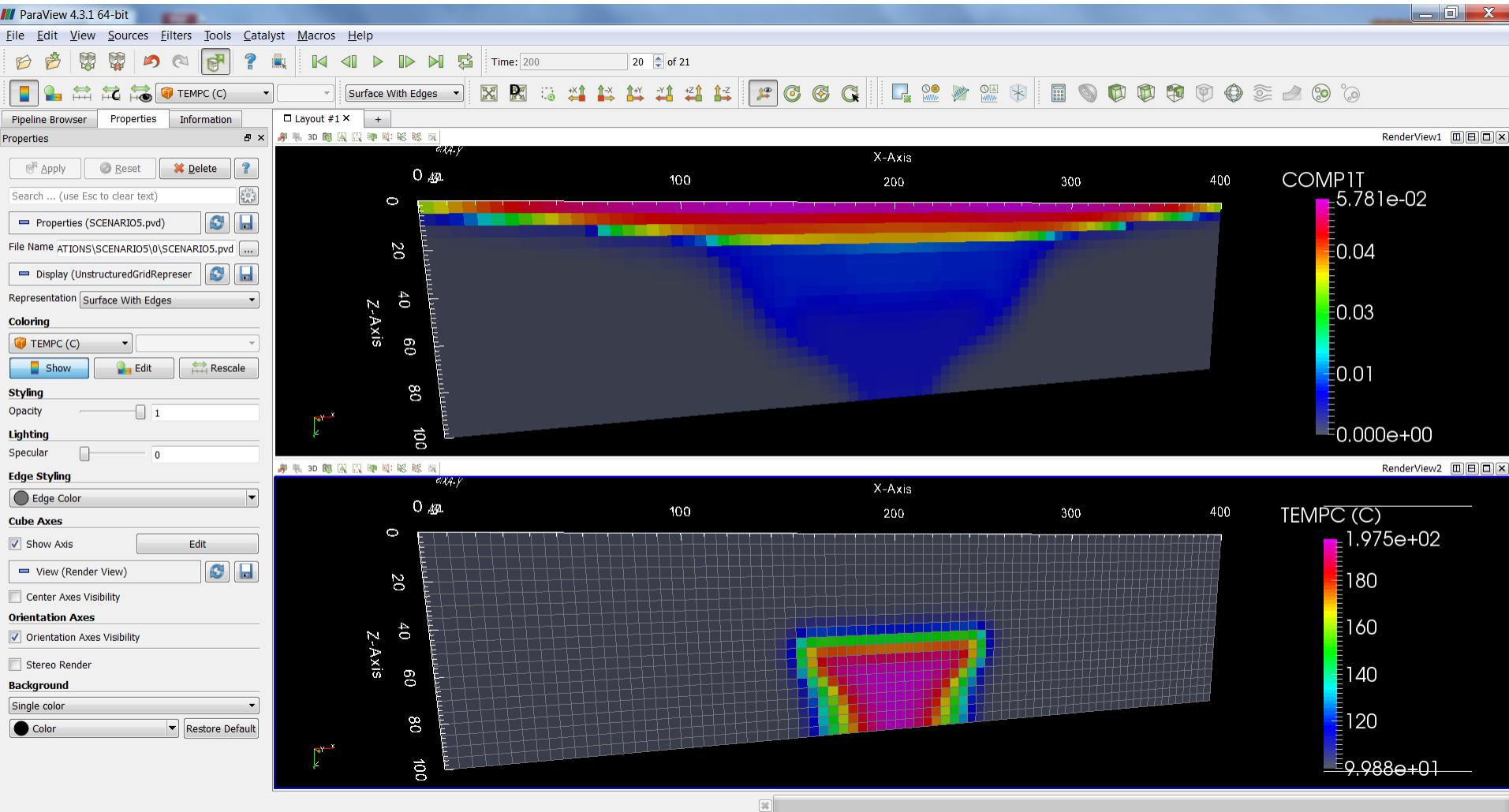
CO<sub>2</sub> мол доля =0.7

Насыщ. Газа =0.95

# RUN-файл (Пример 7)

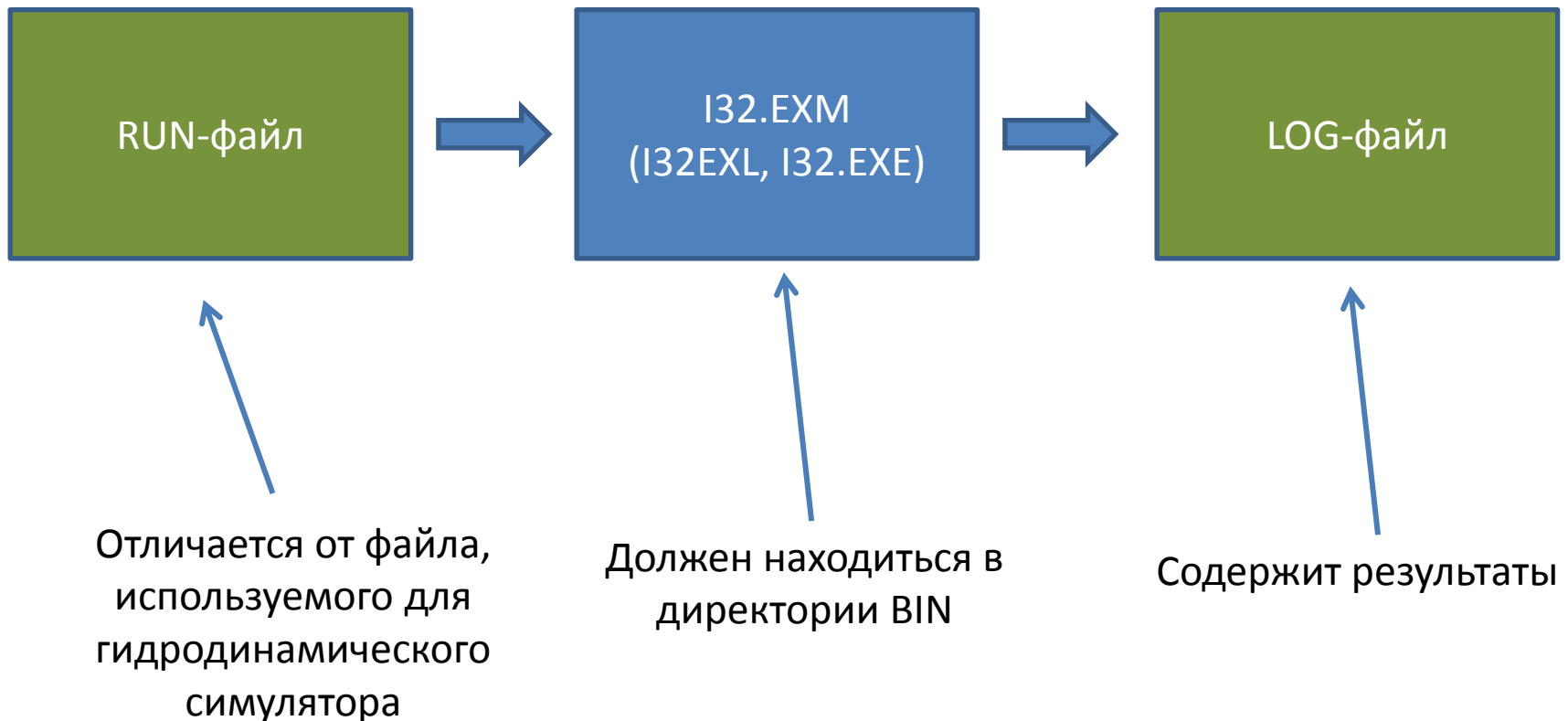
1. Откройте в текстовом редакторе RUN-файл (SCENARIO-B7.RUN)
2. Проведите расчёт
3. Откройте результат в ParaView

# Результат (пример 7)



# PVT программа

PVT-программа позволяет рассчитать параметры смеси при заданных (давлении, температуре и т.д.). Результаты расчётов сохраняются в LOG-файл





# Параметры смеси при заданных Р и Т

При заданных давлении, температуре и составе свойства смеси можно вычислить с помощью ключевого слова **PHEQPTX**.

```
----- PHEQPTX syntax -----  
1 PHEQPTX  
2   pres1  temp1  comp1t1  comp2t1  /  
3   pres2  temp2  comp1t2  comp2t2  /  
4   pres3  temp3  comp1t3  comp2t3  /  
5   ...  
6 /  
7  
8 =====  
9  
10 pres#   - pressure;  
11 temp#   - temperature (degrees of Kelvin);  
12 comp1t# - total molar fraction of the 1st component;  
13 comp2t# - total molar fraction of the 2nd component.
```

# PVT программа (упражнение)

Упражнение: Вычислите параметры термодинамического равновесия для начальных параметров в примере 6:

- 1) PRES=10MPa, TEMPC=100C, COMP1T=0
- 2) PRES=10MPa, TEMPC=200C, COMP1T=0.7

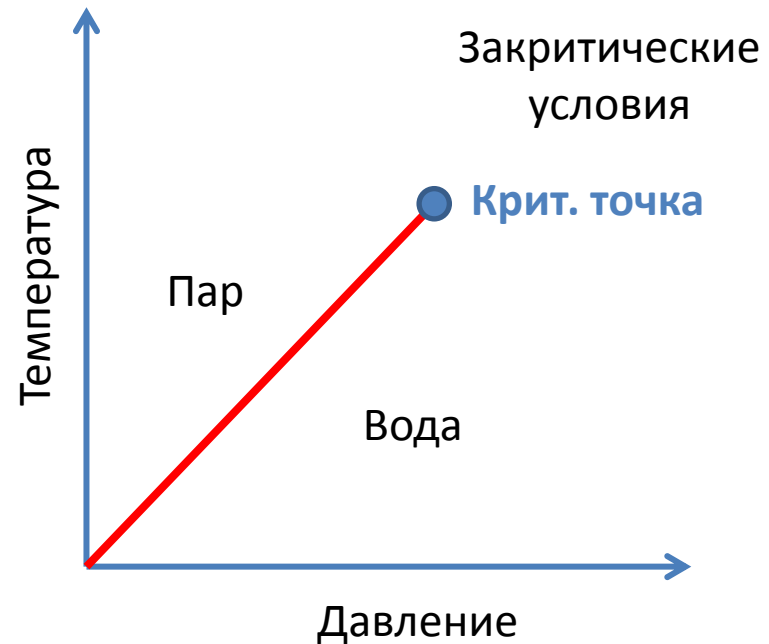
1. Откройте в текстовом редакторе RUN-файл
2. Проведите расчёт
3. Откройте LOG-файл чтобы увидеть результат

# Ключевое слово PHASES

При движении вокруг критической точки нет чёткой границы между жидкостью и газом

Ключевое слово PHASES задаёт

Фазовая диаграмма воды



# Ключевое слово PHASES

```
----- PHASES syntax -----  
1 -- in PROPS section  
2  
3 PHASES  
4   name1 pres1 entht1 comp1t1 comp2t1 /  
5   name2 pres2 entht2 comp1t2 comp2t2 /  
6   name3 pres3 entht3 comp1t3 comp2t3 /  
7   ...  
8 /  
9  
10 =====  
11  
12 name# - phase name (4-byte character);  
13 pres# - pressure;  
14 entht# - total molar enthalpy;  
15 comp1t# - total molar fraction of the 1st component;  
16 comp2t# - total molar fraction of the 2nd component.
```

Для заданной температуры энтальпия может быть вычислена с помощью PVT программы

Рекомендуемые параметры фаз (для докритических значений для H<sub>2</sub>O:

- Жидкая вода: PRES= 1 МПа, ENTHT=5 кДж/моль, COMP1T=0
- Закритический CO<sub>2</sub>: PRES= 10 МПа, ENTHT=10 кДж/моль, COMP1T=1

# Ключевое слово PHASES

Ключевое слово создаёт следующие мнемоники

Мнемоника	Описание
SAT#name	Насыщенность
DEN#name	Плотность
VIS#name	Вязкость
...	См. Справочное руководство

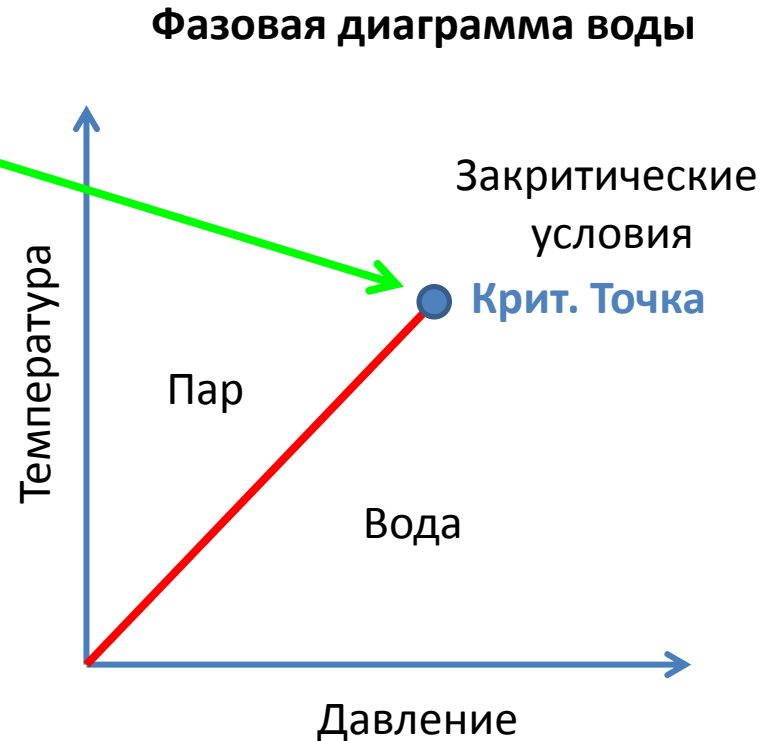
Здесь 'name' – имя фазы, заданной с помощью ключевого слова PHASES

# Использование модуля BINMIXT

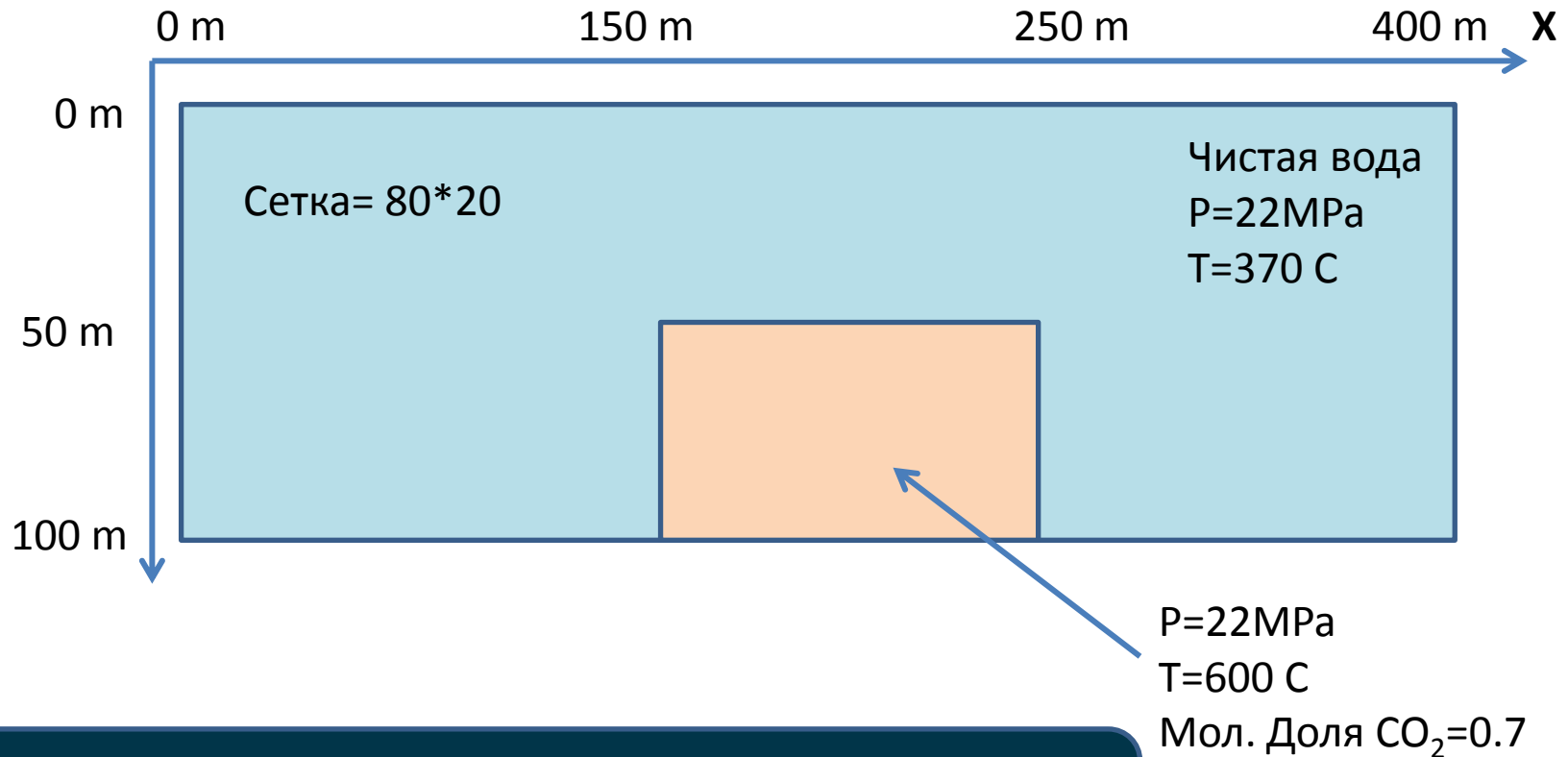
Упражнение: Пересчитайте Пример 7, сохраняя насыщенности, плотности и вязкости фаз.

# Масштабирование относительных фазовых проницаемостей

ОФП должны быть линейными функциями от насыщенности при околоскритических термодинамических условиях. Симулятор может автоматически масштабировать ОФП, заданные с помощью SATTAB, при околоскритических условиях. Эта опция включается ключевым словом SATCRT.



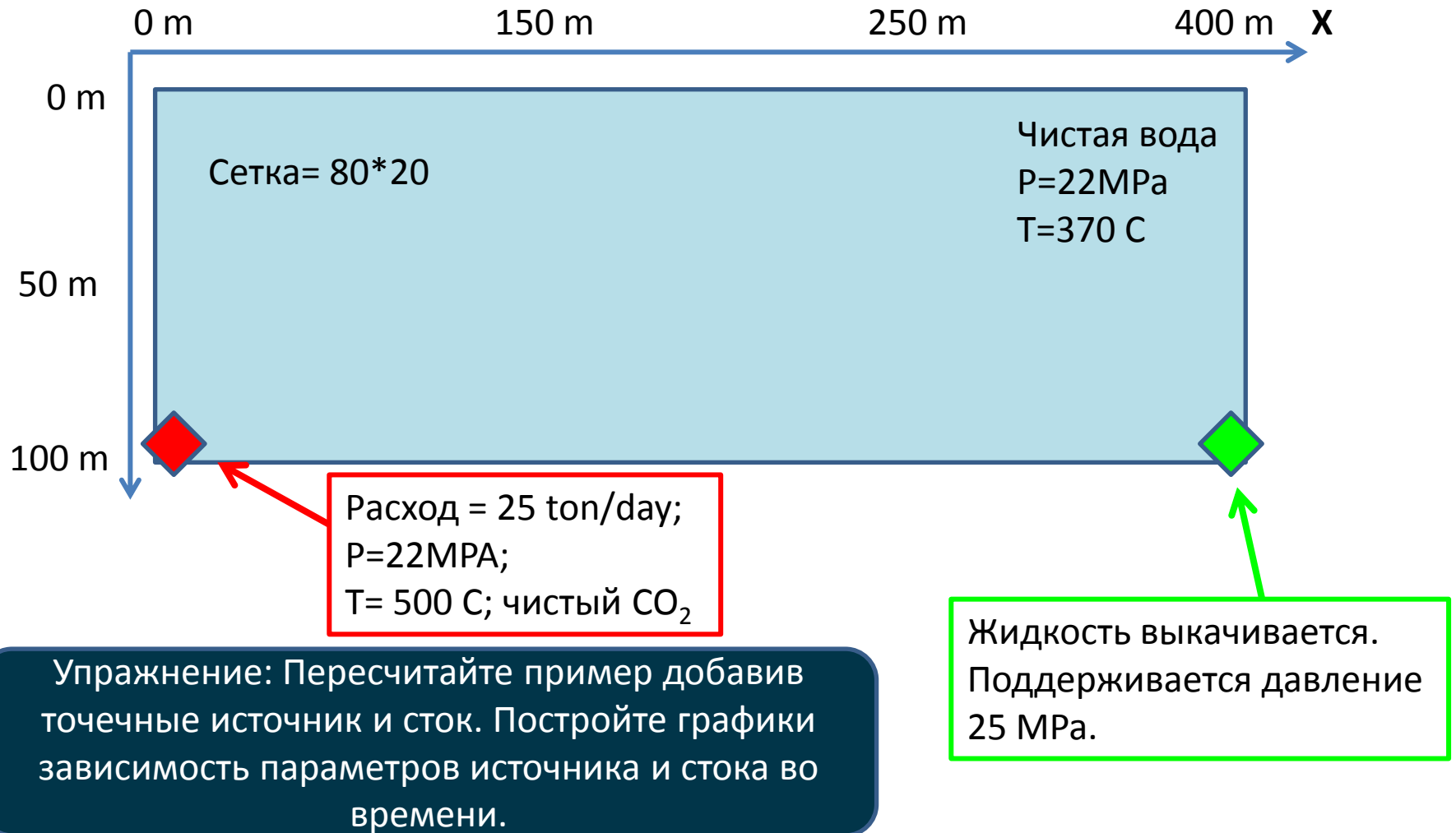
# Использование модуля VINMIXT



Пересчитайте пример 7 для новых начальных условий



# Упражнение

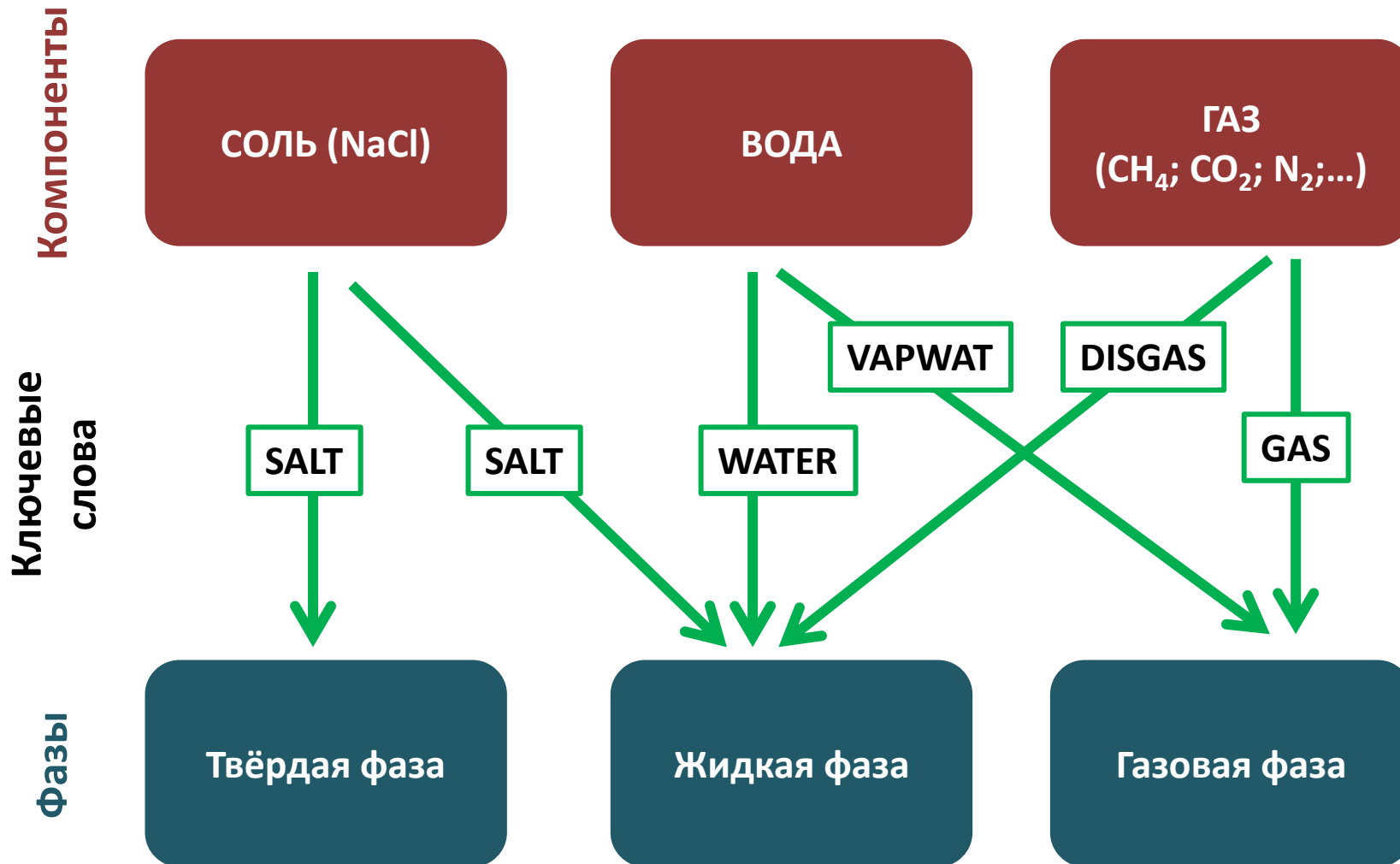


# Модуль GASSTORE

T≠const

Подземное  
хранение газа;  
захоронение CO<sub>2</sub>

# EOS модуль GASSTORE



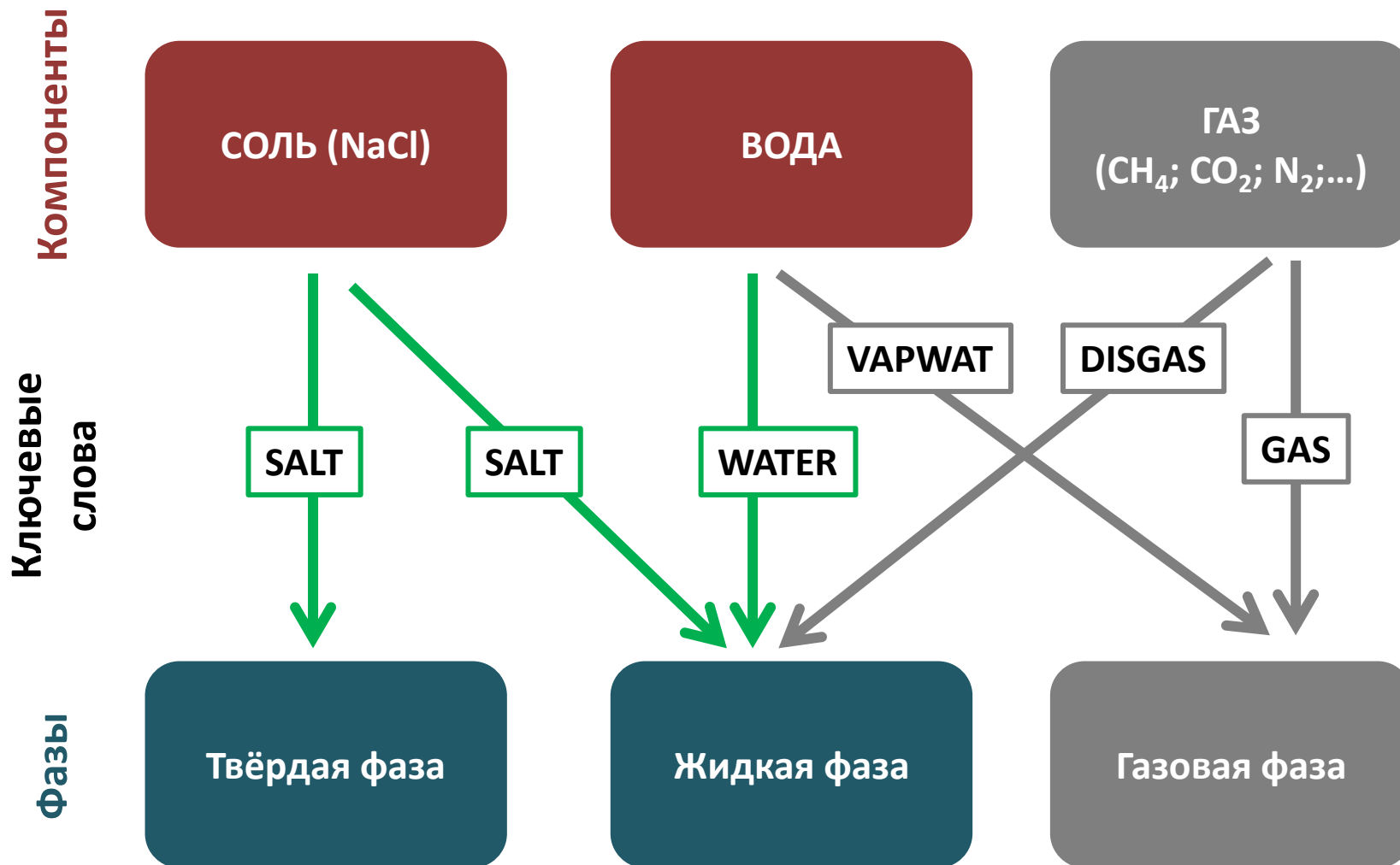
# Ключевые слова и мнемоники, доступные с модулем GASSTORE

Откройте Справочное руководство  
и просмотрите ключевые слова и  
мнемоники доступные с модулем  
GASSTORE

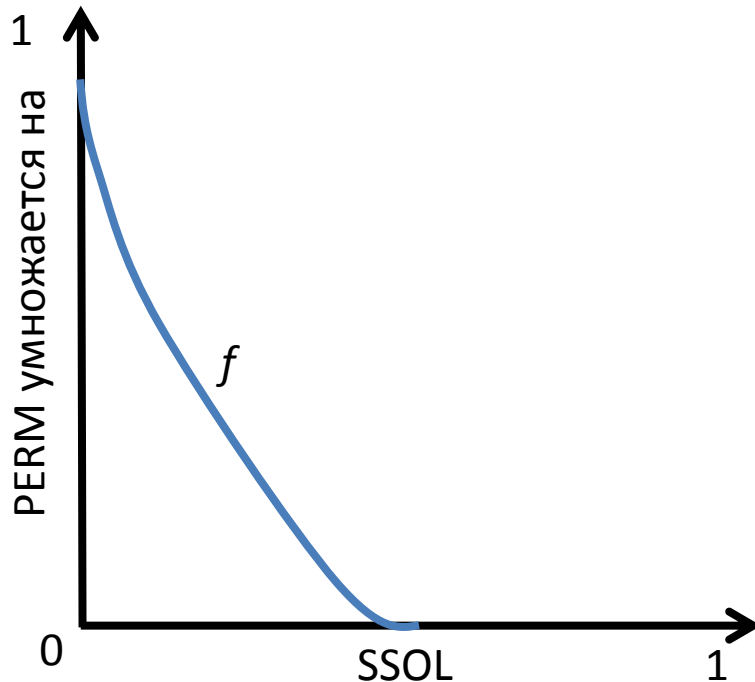
T≠const

Подземное  
хранение газа;  
захоронение CO<sub>2</sub>

# EOS модуль GASSTORE



# Зависимость проницаемости от насыщенности соли

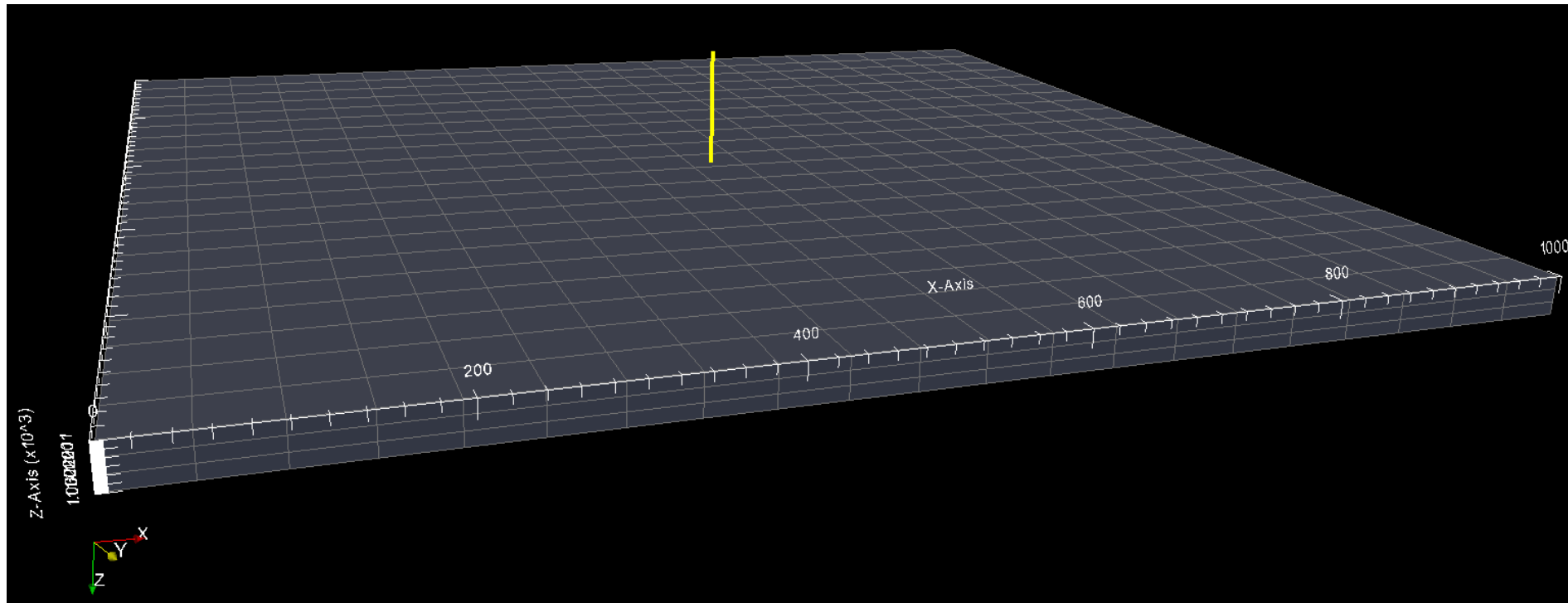


$$\frac{K}{K_0} = f(s_s)$$

При увеличении насыщенности твёрдой фазы проницаемость  $K$  снижается.

# Пример 8

В начальный момент времени пласт заполнен солёной водой. Задано начальное распределение температуры и насыщенности соли в зависимости от глубины. На глубине 1 км давление равно 110 бар.



Через скважину в течении 200 дней закачивается чистая вода с расходом 500 тон/день; максимальное забойное давление 150 бар.

# RUN-файл (Пример 8)

1. Откройте в текстовом редакторе RUN-файл (SCENARIO-B8.RUN)
2. Проведите расчёт
3. Откройте результат в ParaView



# Пример 8 (упражнение 1)

Ключевое слово ISOTHERM позволяет провести расчёт фильтрации, не учитывая изменение температуры.

*ISOTHERM syntax*

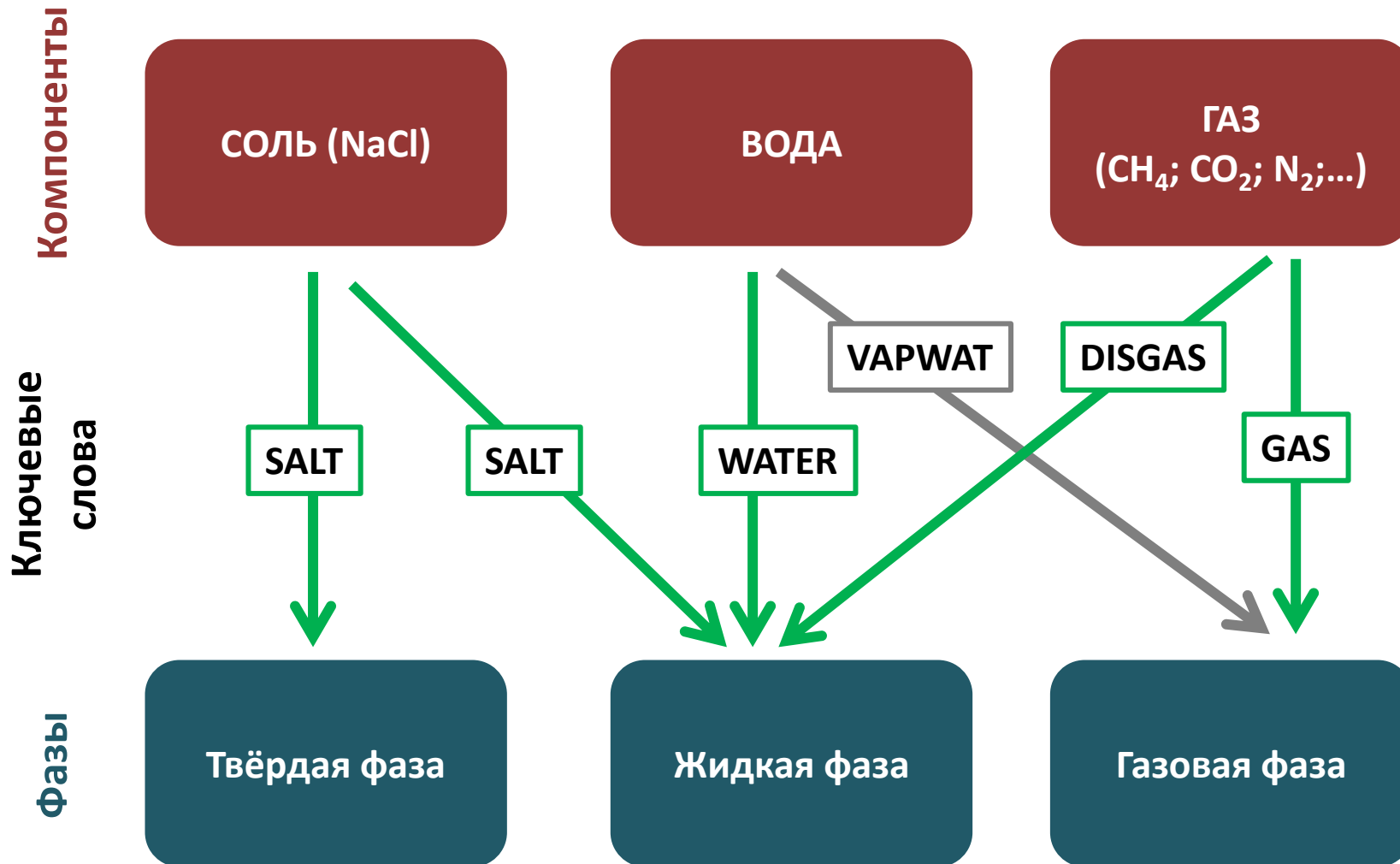
```
1 -- in RUNSPEC section  
2  
3 ISOTHERM
```

Пересчитайте Пример 8 в изотермическом режиме

T≠const

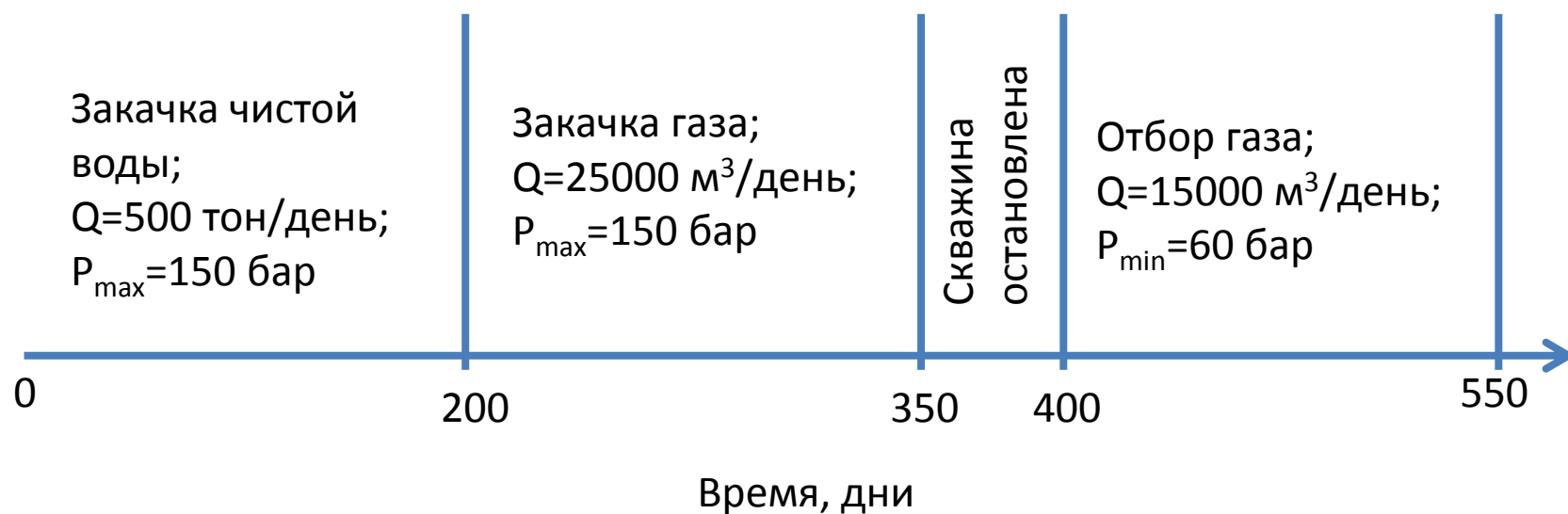
Подземное  
хранение газа;  
захоронение CO<sub>2</sub>

# EOS модуль GASSTORE



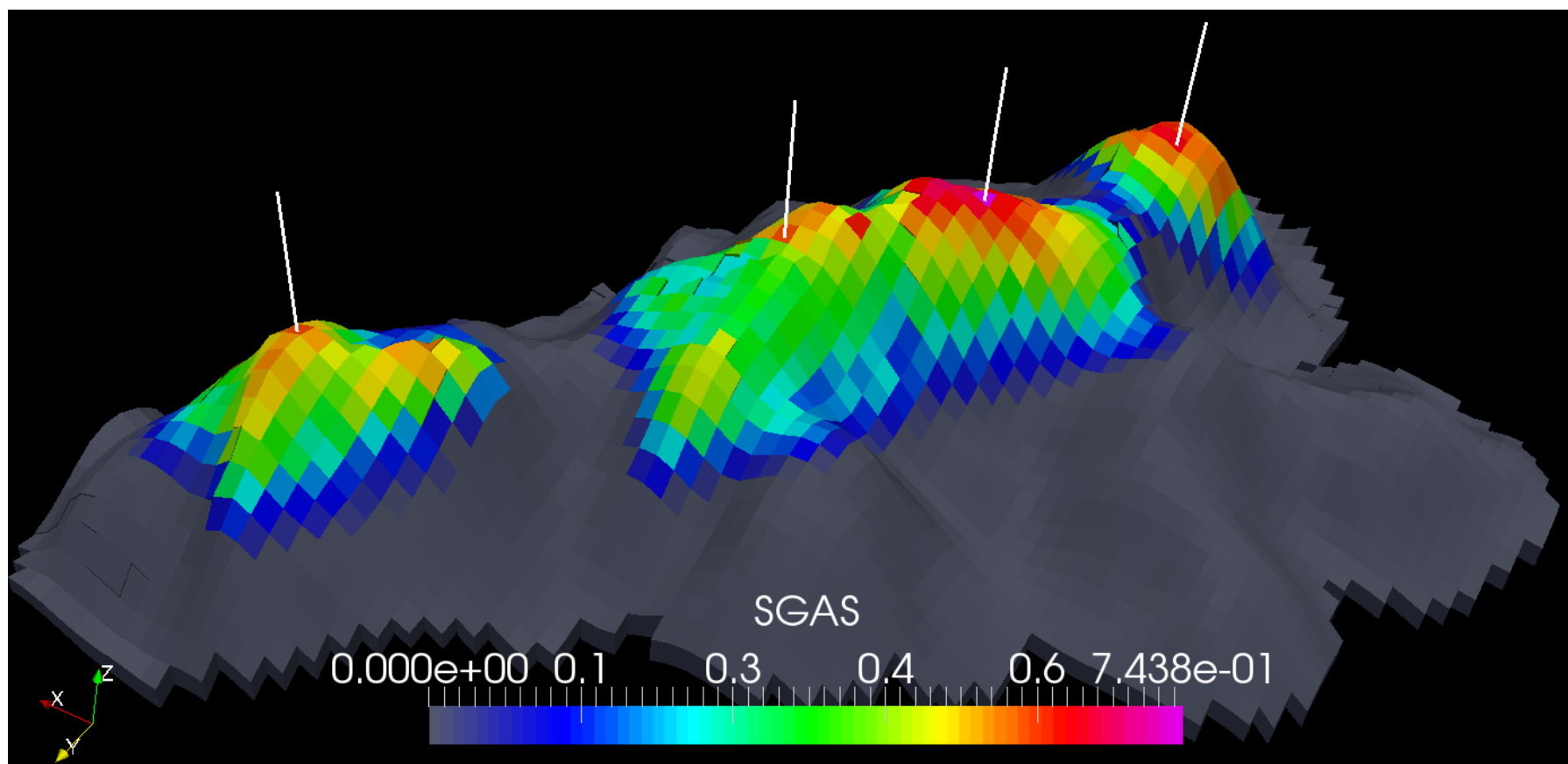
# Пример 8 (упражнение 2)

Пересчитайте Пример 8 моделируя закачку метана и его последующий отбор из пласта



# Пример 9 (ПХГ)

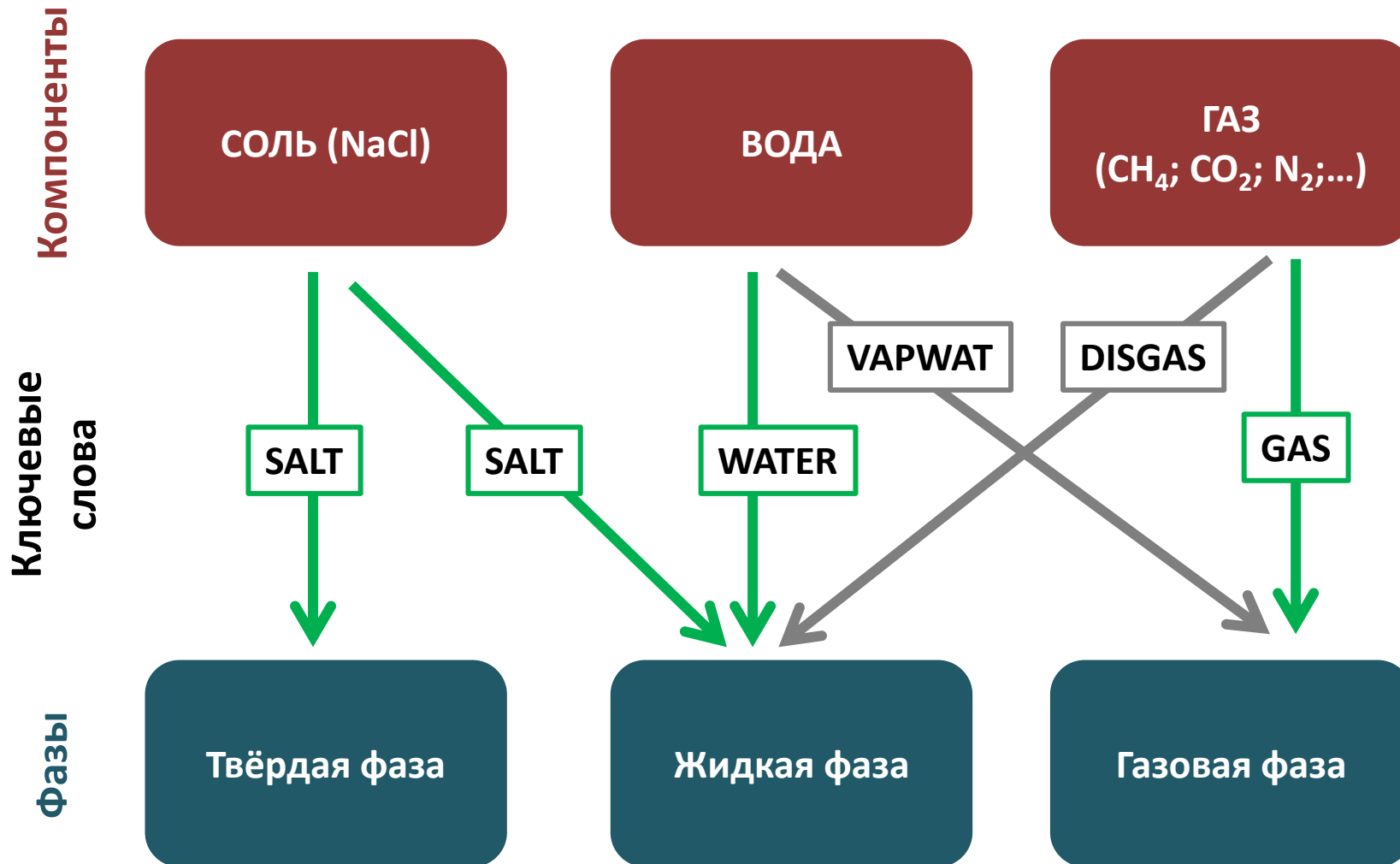
Через скважины происходит циклическая закачки и отбор метана в водонасыщенный пласт. 100 дней в году (весна-лето) происходит нагнетание газа и 100 дней году (осень-зима) происходит отбор газа. Используется EOS-модуль GASSTORE.



T≠const

Подземное  
хранение газа;  
захоронение CO<sub>2</sub>

# EOS модуль GASSTORE



# RUN-файл (Пример 9)

1. Откройте в текстовом редакторе RUN-файл (SCENARIO-B7.RUN)
2. Проведите расчёт
3. Откройте результат в ParaView

# Радиальные сетки

# Радиальные сетки

Число ячеек сетки вдоль каждой из осей задаётся ключевым словом **MAKE**

*MAKE-ENDMAKE syntax*

```
1 -- in GRID section
2
3 MAKE
4   gridtype  ni nj nk /
5
6 -- other keywords
7
8 ENDMAKE
9
10 =====
11
12 gridtype = CART    - Cartesian Grid
13           = RADIAL - Radial Grid
14           = CORNER - Corner-Point grid
15
16 ni - number of grid blocks along i-indexation axis
17 nj - number of grid blocks along j-indexation axis
18 nk - number of grid blocks along k-indexation axis
```

**Выберите эту опцию**



Область:  $[0,200\text{m}] * [0,\pi/2] * [500\text{m},510\text{m}]$

Сетка:  $30 * 20 * 1$

# Пример 10 (T2EOS1)

Закачка в течении 500 дней;  
Отчет каждые 50 дней.

На границе параметры  
постоянные

**Свойства породы:**

Пористость = 0.25;

Проницаемость = 50 мД ;

Плотность= 2800 кг/м<sup>3</sup>;

Теплоемкость= 1.1 кДж/кг/К;

Теплопроводность= 2 Вт/м/К.

**Начальные условия:**  
PRES=5MPa, SWAT=0.1

Закачка воды при 25°C, 1 бар. Расход 500  
м<sup>3</sup>/день.

**ОФП:**

См RUN-файл

# RUN-файл (Пример 10)

1. Откройте в текстовом редакторе RUN-файл (SCENARIO-B10.RUN)
2. Проведите расчёт
3. Откройте результат в ParaView

# Радиальные сетки

Границы расчётной области задаются ключевым словом **RTZBOUND**

```
----- RTZBOUND syntax -----  
1  -- within MAKE/ENDMAKE brackets.  
2  
3  RTZBOUND  
4    rmin rmax  tmin tmax  zmin zmax  rincr tincr zincr /  
5  
6  =====  
7  
8    rmin/rmax - the domain boundaries along axis r (rmin<rmax)  
9    tmin/tmax - the domain boundaries along axis theta (tmin<tmax) [rad]  
10   zmin/zmax - the domain boundaries along axis z (zmin<zmax)  
11   rincr      - the increment of the grid block sizes along axis R. With  
12               increasing i-index every next grid block is xincr times larger  
13               then the previous block;  
14   tincr      - the increment of the grid block sizes along axis Theta. With  
15               increasing j-index every next grid block is tincr times larger  
16               then the previous block;  
17   zincr      - the increment of the grid block sizes along axis Z. With  
                   zincr times larger
```

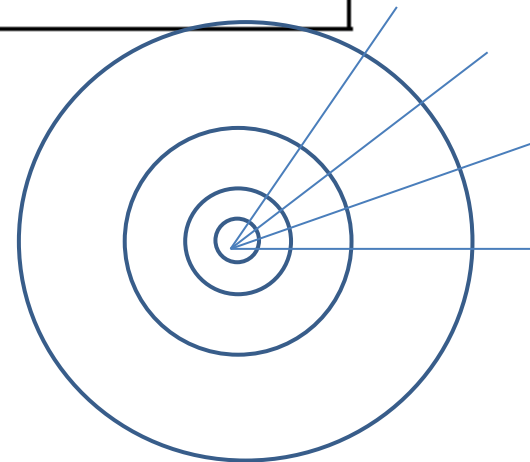
Упражнение: пересчитайте Пример 10 используя диапазон угловой координаты  $[0, \pi/4]$

# Радиальные сетки

Размеры ячеек сетки вдоль каждой из осей могут быть изменены с помощью ключевых слов **DRV**, **DTHETAV**, **DZV**

```
1  -- within MAKE-ENDMAKE brackets
2
3  DRV
4  dr(1) dr(2) dr(3) ... dr(nr) /
5
6  =====
7
8  dr(#) - grid blocks extensions along axis R.
9  nr    - number of grid block along axis R. nr is the 2nd argument of the
10         keyword MAKE.
```

Упражнение: Пересчитайте Пример 10, измельчив сетку вблизи скважины.



# Завтра

$$A = \int_{domain} a dV$$

- Модуль SIMPLMOD
- Интегральные параметры
- Локальное измельчение сетки
- Сетки в геометрии угловой точки
- Разломы

