

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

### ПОДГОТОВКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В PETREL 2015 И ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ В tNavigator

Учебно-методическое пособие по курсу  
«Гидродинамическое моделирование»



*Публикуется по решению учебно-методической комиссии  
ФГАОУВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
Института геологии и нефтегазовых технологий  
Протокол № 7 от 5 мая 2020 г.*

Составители:

**Усманов Сергей Анатольевич**

Ассистент кафедры геофизики и геоинформационных технологий

**Зинюков Рустам Анверович**

Ассистент кафедры разработки и эксплуатации месторождений трудноизвлекаемых углеводородов

**Огнев Игорь Николаевич**

Ассистент кафедры разработки и эксплуатации месторождений трудноизвлекаемых углеводородов

**Судаков Владислав Анатольевич**

Заместитель директора по инновационной деятельности ИГиНГТ КФУ

**Платов Борис Викторович**

Старший преподаватель кафедры геофизики и геоинформационных технологий

**Гидродинамическое моделирование. Подготовка гидродинамической модели в Petrel 2015 и инициализация в tNavigator. – Казань: К(П)ФУ, 2020. – 65 с.**

Данное пособие направлено на приобретение практических навыков по созданию гидродинамических моделей на основе геологических моделей в программном пакете Petrel.

В пособии представлена пошаговая инструкция для создания в Petrel 2015 и инициализации в tNavigator гидродинамической модели одного из нефтяных месторождений Республики Татарстан на основе ранее созданной геологической модели и кратко освещены теоретические аспекты гидродинамического моделирования.

© Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2020

© С.А. Усманов, Р.А. Зинюков, И.Н. Огнев, В.А. Судаков, Б.В. Платов, 2020



**Компетенции, приобретаемые в процессе изучения курса  
«Гидродинамическое моделирование»**

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий

создавать и анализировать геологические, гидродинамические и геомеханические модели месторождений, используя обширный комплекс геолого-геофизических данных

находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Первое открытие модели. Данные, необходимые для гидродинамической модели.....	6
2. Добавление куба абсолютной проницаемости. Секция GRID .....	14
3. Добавление функций ОФП и Капиллярного давления. Секция PROPS .....	16
4. Задание контактов и создание модели флюида. Секции SOLUTION и PROPS .....	23
5. Задание водонапорного горизонта. Секция SOLUTION .....	28
6. Задание информации о работе скважин. Секция SCHEDULE.....	34
7. Создание кейса гидродинамической модели.....	48
8. Data-файл гидродинамической модели. Инициализация гидродинамической модели.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

**Гидродинамическое моделирование месторождений углеводородов** – область разработки месторождений, в которой компьютеры используются для прогнозирования потока флюидов через поровую среду.

**Гидродинамическая модель месторождения** – это математическая модель, воспроизводящая физические процессы в месторождении нефти или газа при его разработке. Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных сохранения массы, импульса и энергии. Для решения систем дифференциальных уравнений применяют численные методы, основанные на конечно-разностном представлении производных. Гидродинамическая модель включает совокупность цифрового трехмерного массива геолого-физических параметров, характеризующая моделируемое месторождение (залежь, эксплуатационный объект) и управляющие воздействия на него в процессе разработки.

Основной целью построения гидродинамической модели месторождения является анализ текущего состояния и прогнозирование процесса разработки.

Данный курс предназначен для получения практических навыков создания гидродинамической модели залежи нефти в отложениях нижнего карбона, расположенной в Республике Татарстан. Работа с геологической моделью (далее – ГМ) будет производиться в программном комплексе Petrel 2015. Инициализация гидродинамической модели (далее – ГДМ) будет производиться в гидродинамическом симуляторе tNavigator.

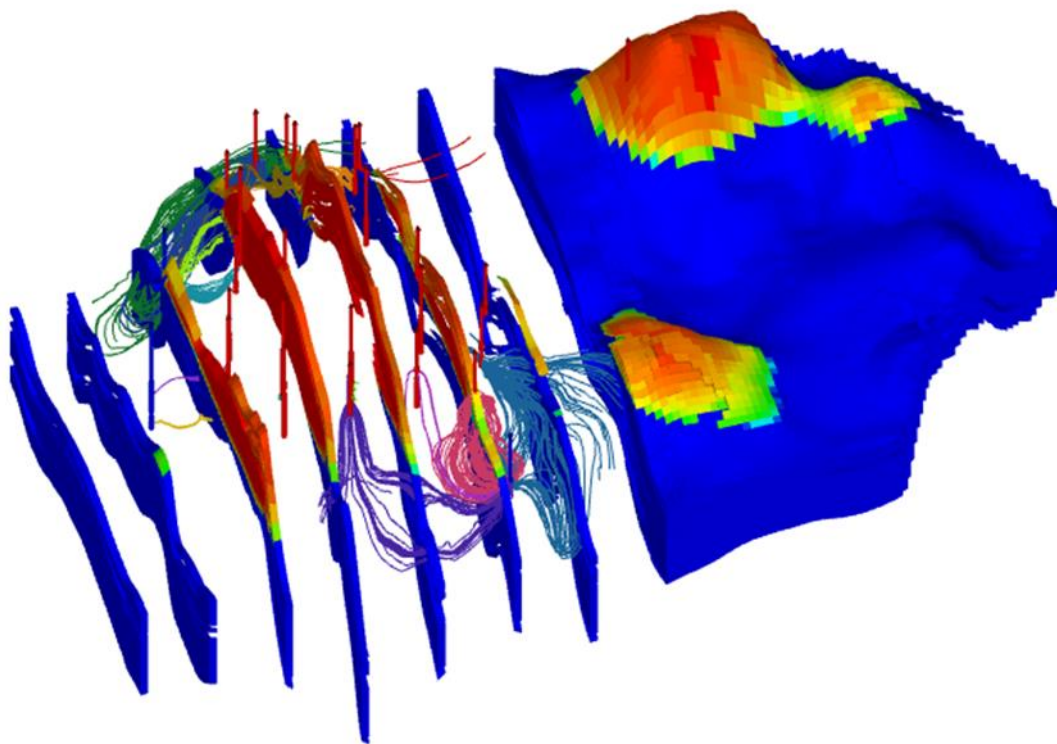


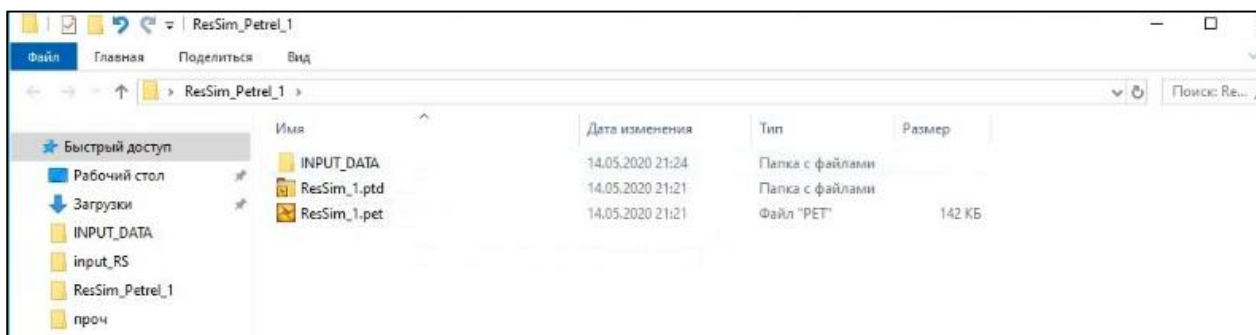
Рис. 1. Куб нефтенасыщенности и линии тока в гидродинамической модели, создаваемой в данном курсе

## 1. Первое открытие модели. Данные, необходимые для гидродинамической модели

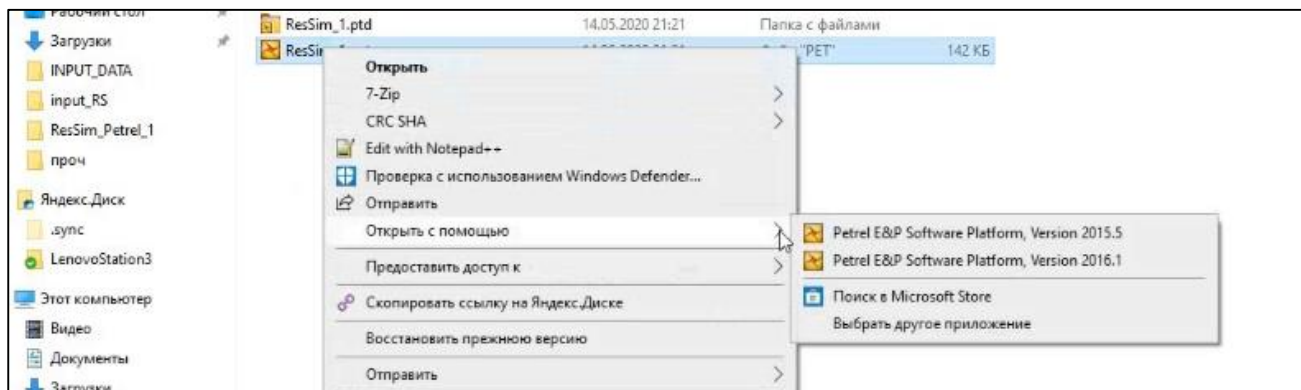
Для работы гидродинамической модели необходимы данные, включающие описание геометрии и свойств пласта (секция GRID в data-файле в формате ECLIPSE), свойств пластовых флюидов и взаимодействия флюид-порода (секция PROPS), начального состояния залежи (секция SOLUTION) и параметров работы скважин (секция SCHEDULE). Также данные могут быть дополнены регионами (секция REGIONS).

Исходные данные расположены в папке *ResSim\_Petrel\_1*. Данная папка содержит:

1. *ResSim\_1.ptd* – папка с данными в формате Petrel
2. *ResSim\_1.pet* – файл проекта Petrel
3. *INPUT DATA* – исходные данные для ГДМ



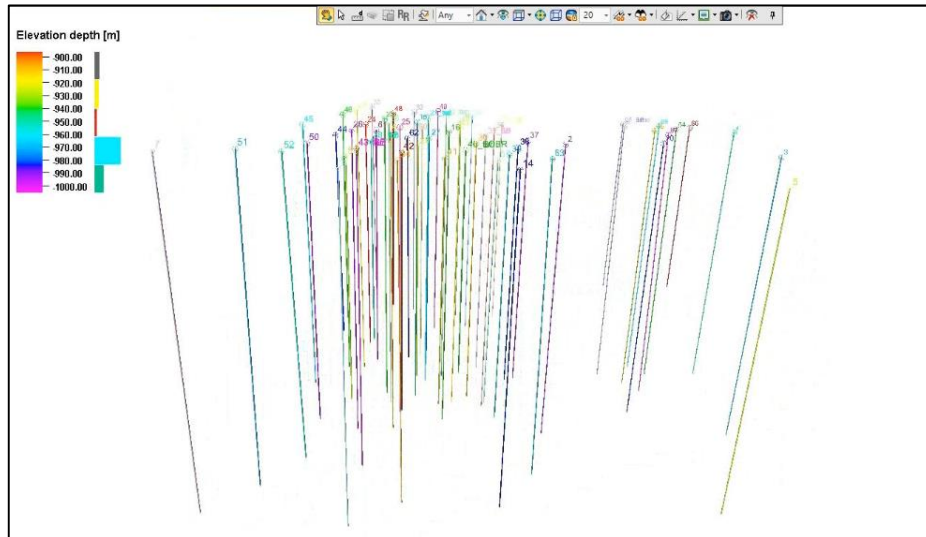
Откройте модель. Для этого кликните правой кнопкой на файл *ResSim\_1.pet* и выберите **Открыть с помощью** → **Petrel E&P Software Platform, Version 2016.1**



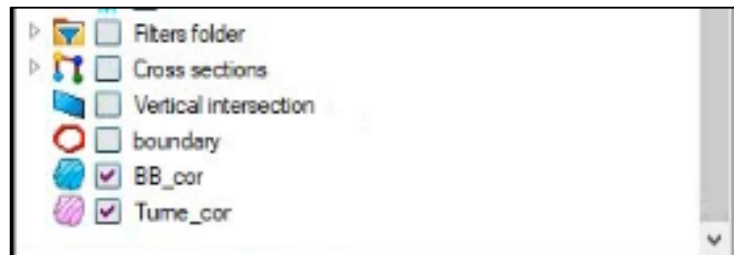
Оцените степень полноты исходных данных. Для начала перейдите в окно **Input**. Здесь вы найдете информацию о траектории скважин. Визуализируйте траекторию, отметив пункт **Wells**.



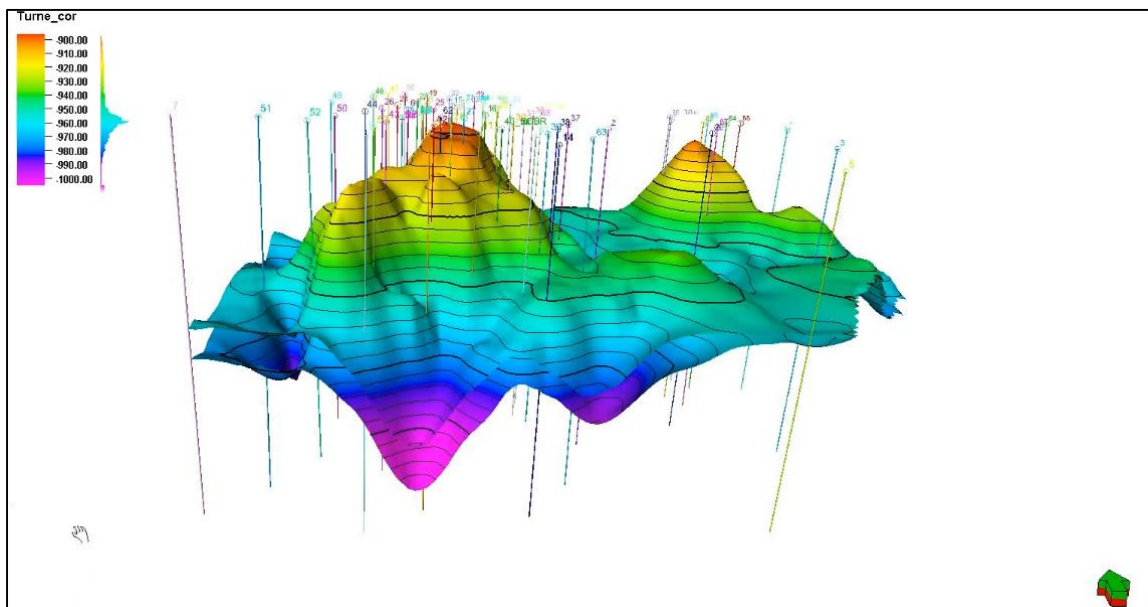
Перейдите в 3D окно.



Визуализируйте структурные поверхности основных продуктивных горизонтов. Для этого в окне **Input** отметьте пункты **BB\_Cor** и **Turne\_Cor**.



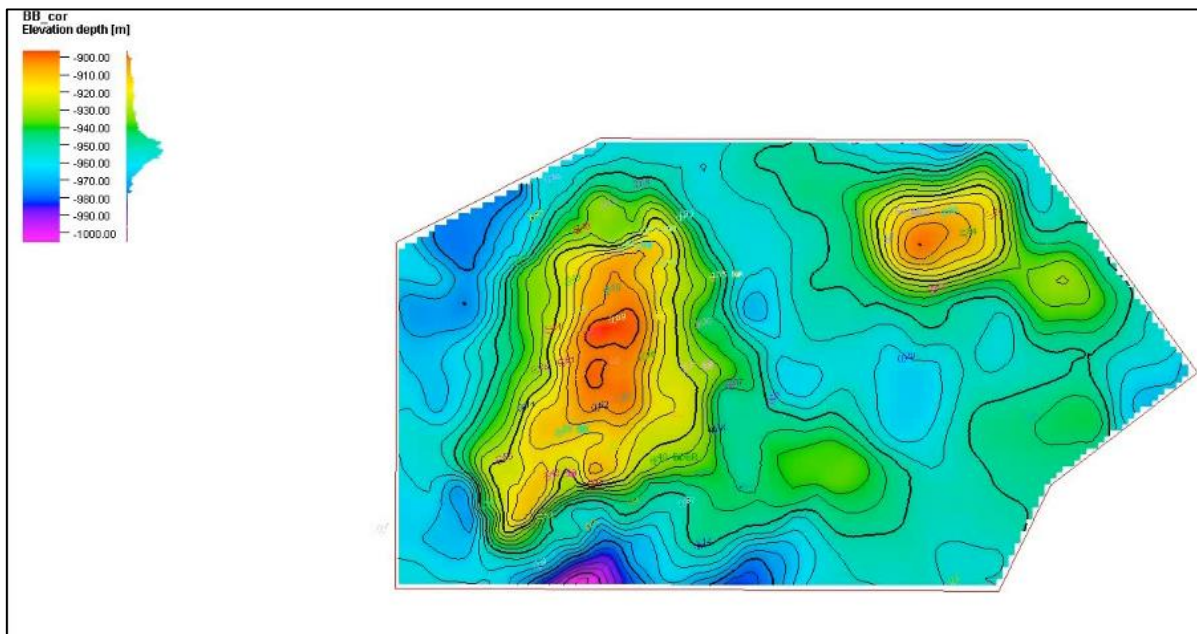
В 3D окне появятся структурные поверхности бобриковского и турнейского горизонтов.



Вы также можете просматривать поверхность в 2D окне. Для этого перейдите во вкладку **2D Window**.



В меню **Input** отметьте пункт **Boundary**, чтобы отобразить границу модели.

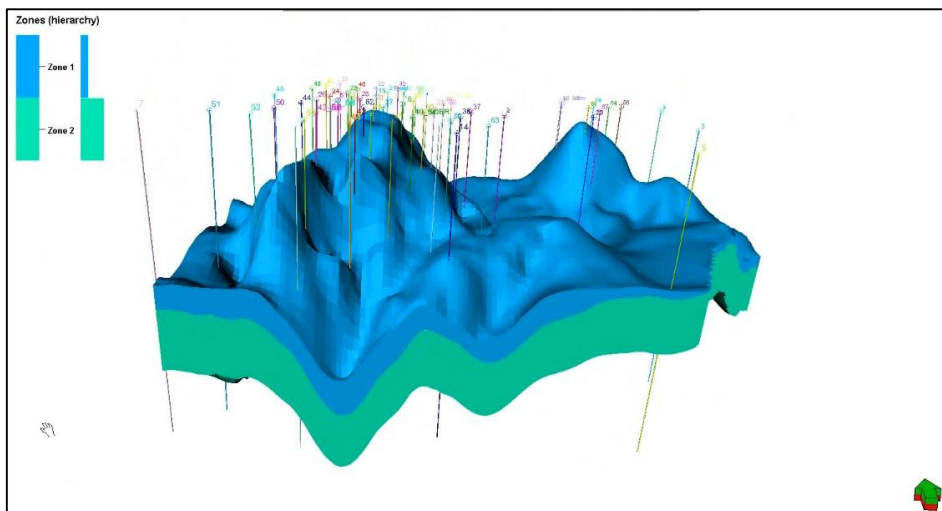


Далее рассмотрим основные исходные кубы. Для этого вернитесь к 3Д-отображению модели. Затем перейдите во вкладку **Models** и визуализируйте куб **Zones (hierarchy)**.

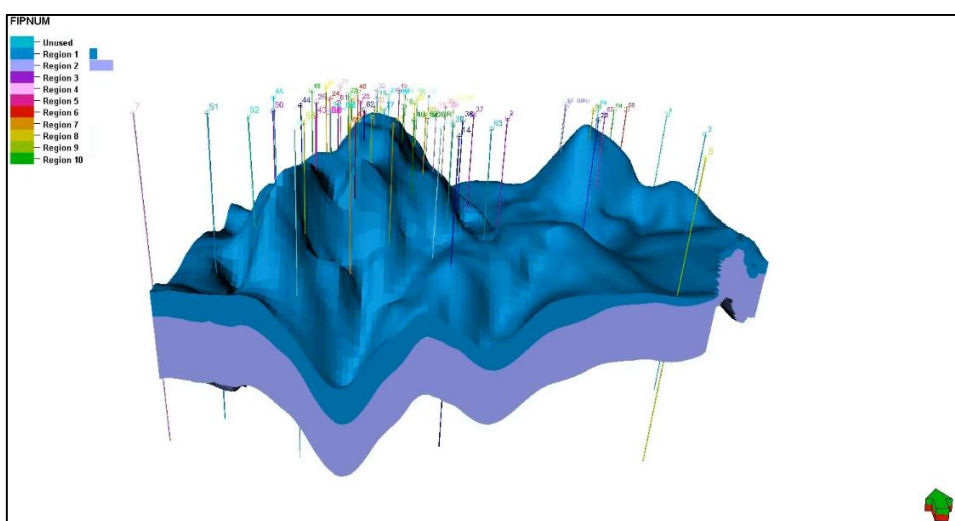


Данный куб разграничивает модель по принадлежности к той или иной стратиграфической единице. В нашем случае **Zone 1** соответствует тульско-бобриковским отложениям, а **Zone2** – турнейским.

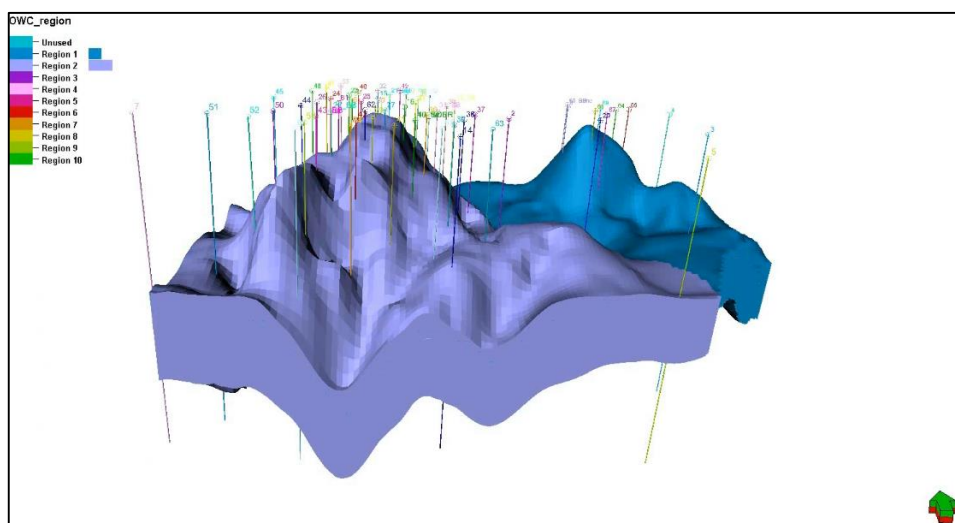




Куб FIPNUM в данном случае выполняет аналогичную функцию.

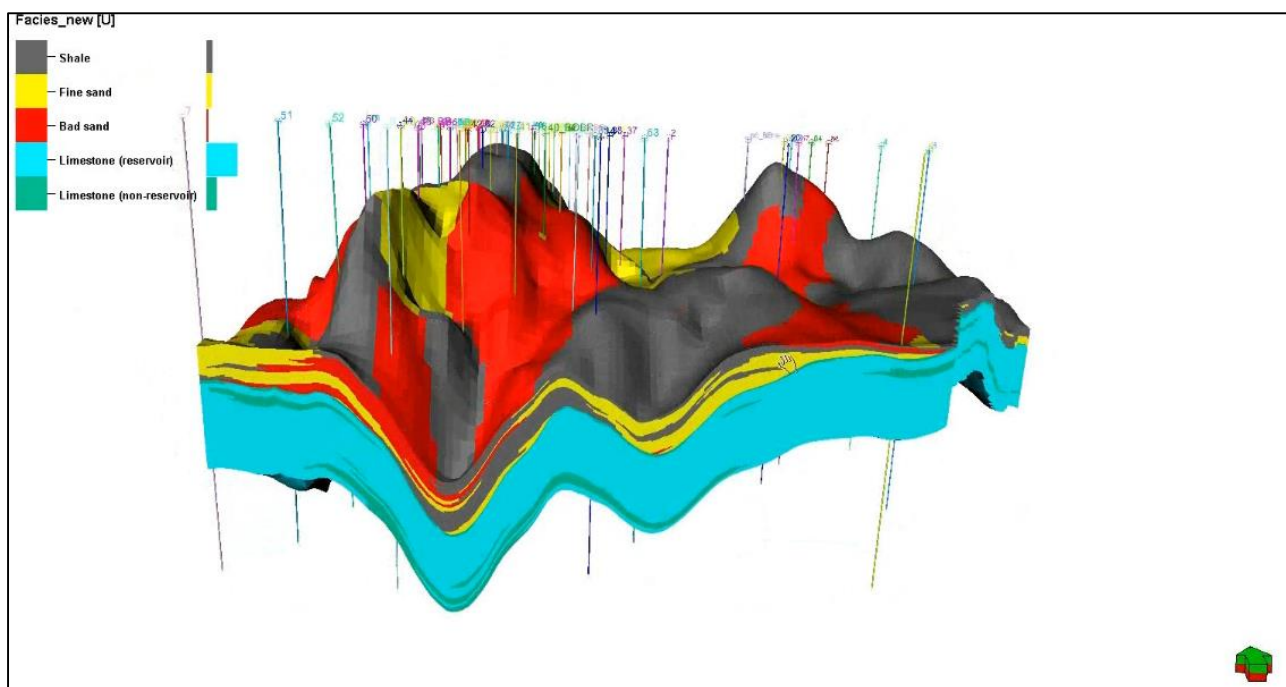


Визуализируйте куб OWC\_region. Основной функцией данного куба является задание регионов с разным уровнем ВНК. Наша модель будет состоять из двух поднятий, для каждого из которых будет задан отдельный уровень ВНК.



Далее откроем куб Facies\_new. Данный куб отражает распределение различных литотипов. В модели представлены:

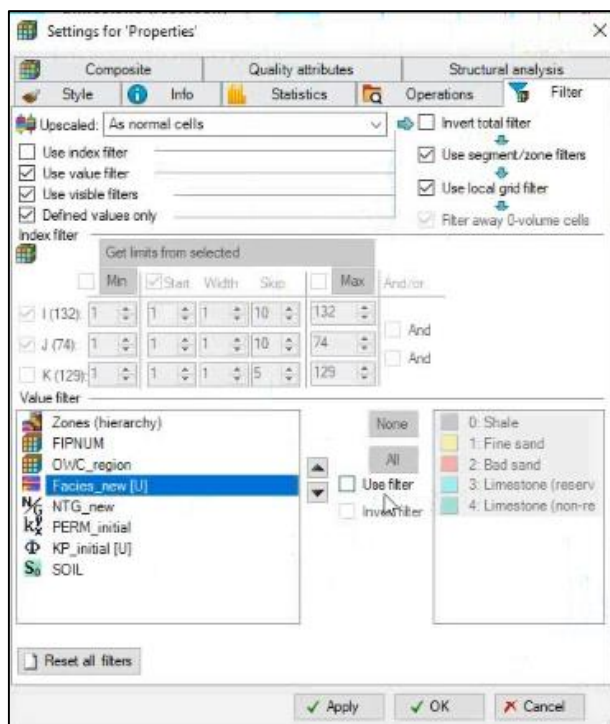
- Shale – Глина
- Fine Sand – Песчаник с хорошими фильтрационными свойствами
- Bad Sand – Песчаник глинистыми с плохими фильтрационными свойствами
- Limestone (reservoir) – Известняк-коллектор
- Limestone (non-reservoir) – Известняк-неколлектор



Чтобы отобразить только породы-коллектора поставим фильтр. Дважды кликните левой кнопкой мыши по вкладке **Properties**.



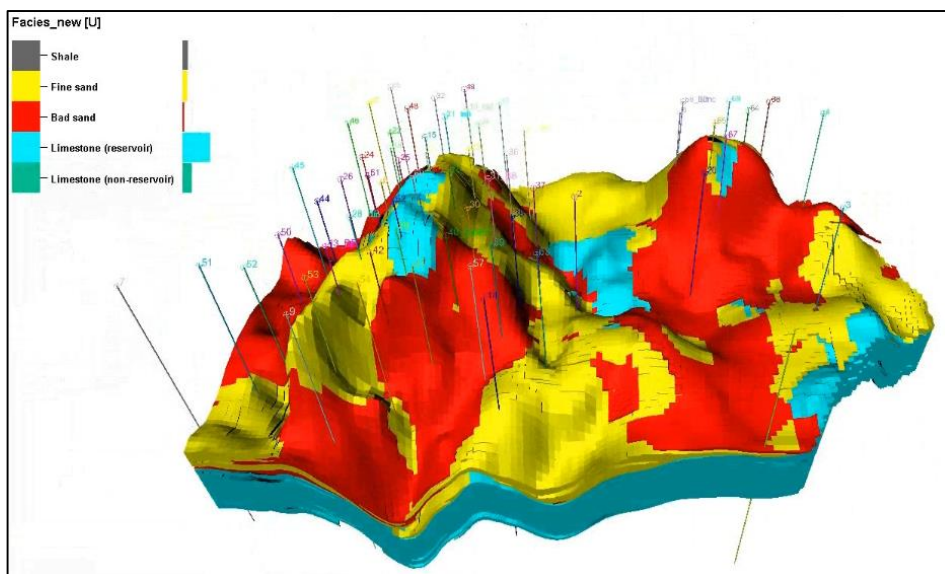
В открывшемся окне перейдите на вкладку **Filter**. Выберите пункт **Facies\_new** и отметьте пункт **Use filter**.



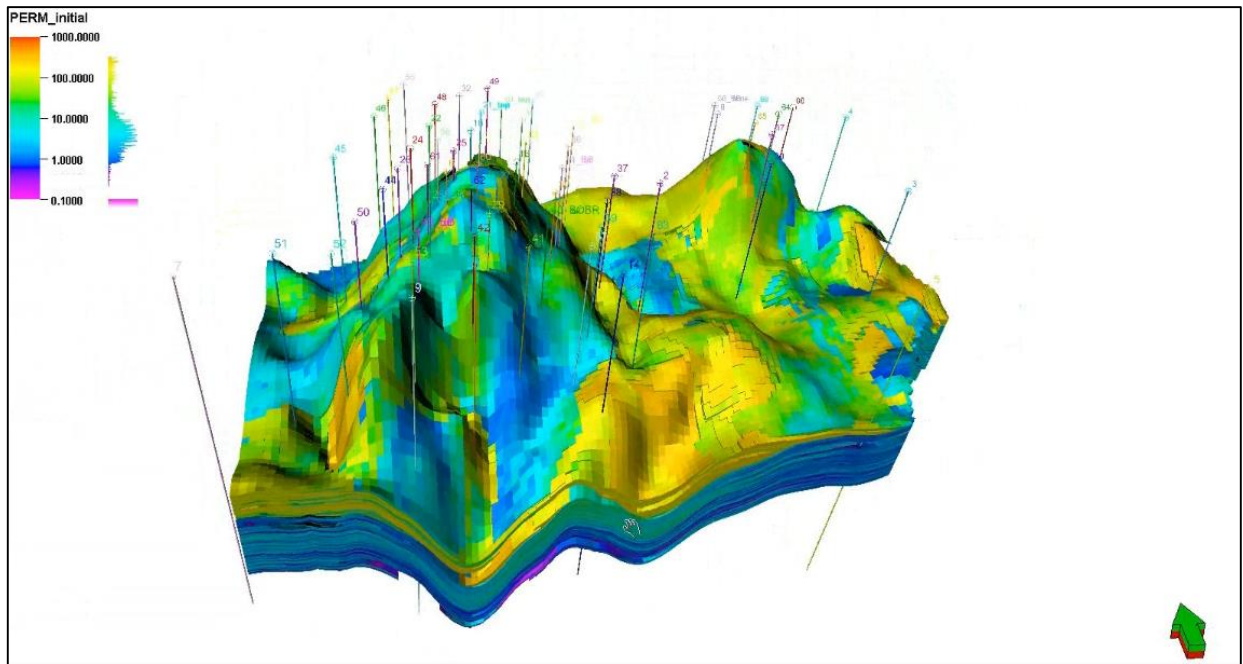
Оставьте выделенными только пункты, соответствующие породам-коллекторам. Нажмите **ОК**.



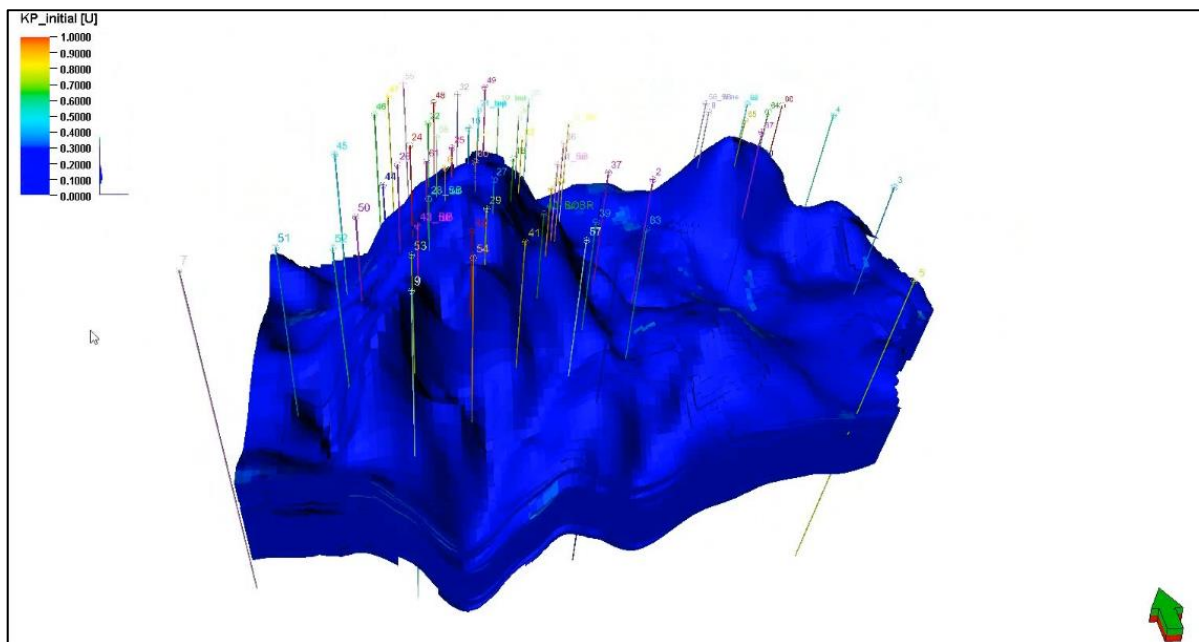
Теперь в окне отображается только коллектор.



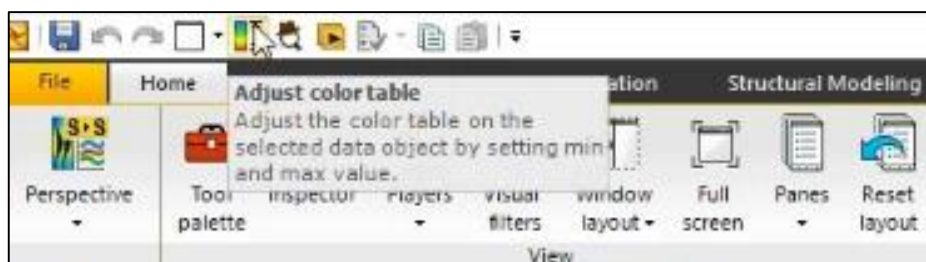
Визуализируйте куб PERM\_initial. Данный куб содержит информацию о латеральной проницаемости в направлениях Север-Юг и Запад-Восток.



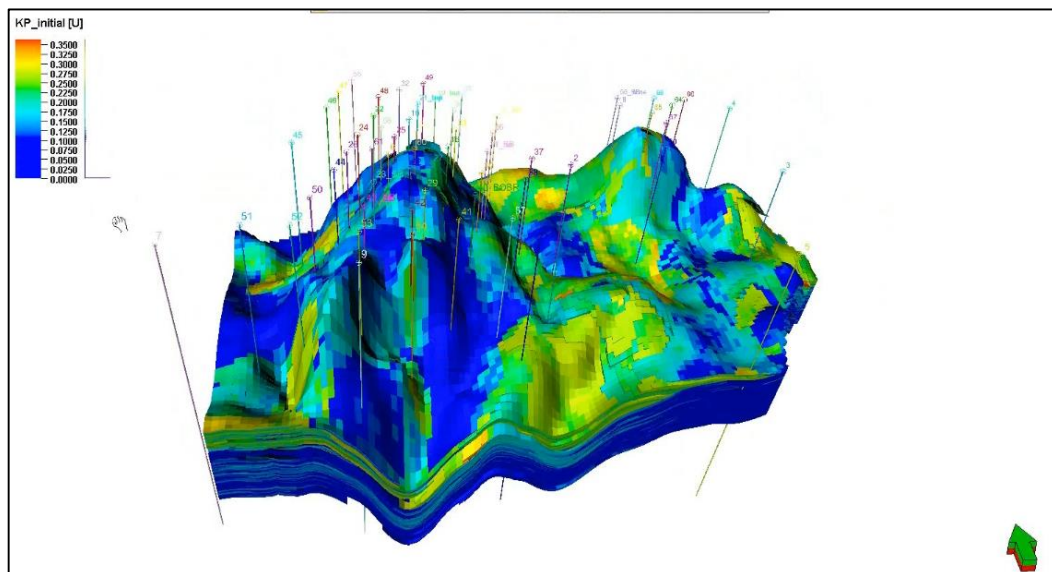
Далее откройте куб пористости KP\_initial. Заметим, что при переключении между кубами цветовая шкала не изменилась.



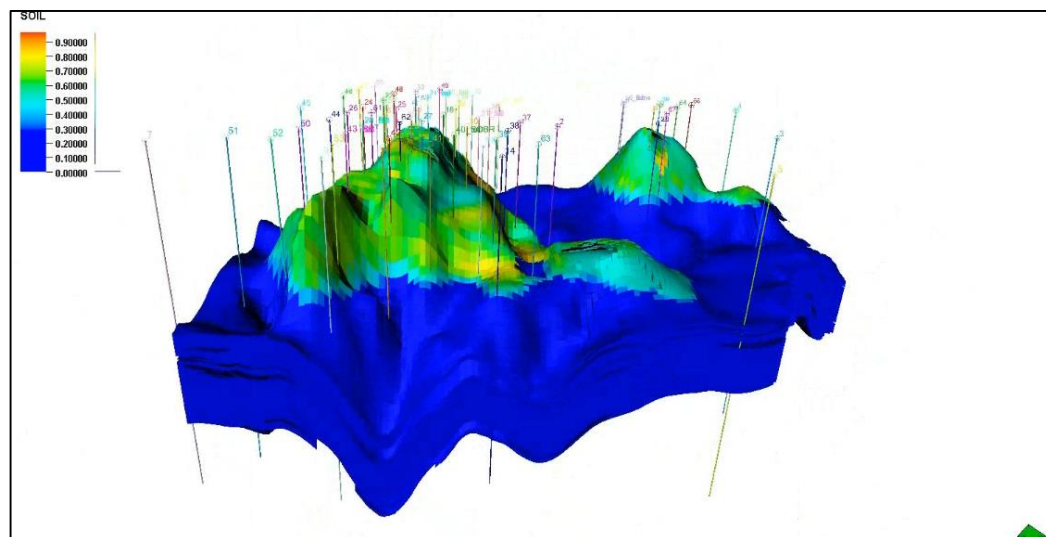
Для смены шкалы кликните на пункт **Adjust color table**. Во всплывшем окне кликните **Yes**.



Цветовая шкала должна обновиться.



Для визуализации куба нефтенасыщенности выберите пункт SOIL.



\* \* \*

### Контрольные вопросы к разделу 1

**«1. Первое открытие модели. Данные, необходимые для гидродинамической модели»:**

- 1) В какой вкладке хранятся кубы свойств?
- 2) Каких данных не хватает в используемой ГМ?
- 3) Что представляют из себя файлы .pet и .ptd?
- 4) Что представляет собой куб Zones?
- 5) Каким образом в Petrel можно визуализировать только коллектор?

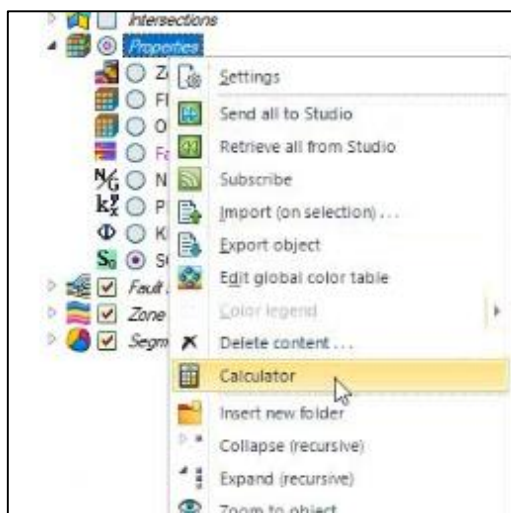
## 2. Добавление куба абсолютной проницаемости. Секция GRID

Секция GRID содержит данные, необходимые для описания гидродинамической модели на прямоугольной сетке.

Минимальный набор кубов, необходимых для запуска гидродинамической модели, помимо геометрии включает:

1. Куб пористости
2. Куб нефтенасыщенности
3. Куб латеральной абсолютной проницаемости по направлению X
4. Куб латеральной абсолютной проницаемости по направлению Y
5. Куб вертикальной абсолютной проницаемости (направление Z)

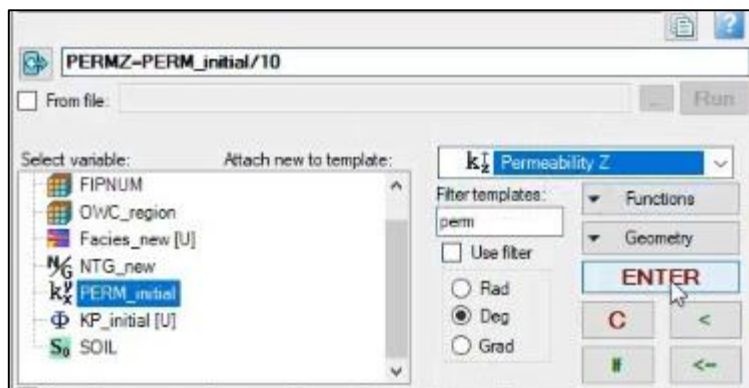
Как было выяснено ранее, исходная геологическая модель не содержит куба вертикальной проницаемости. Для расчета недостающего куба откройте калькулятор. Для этого кликните правой кнопкой по пункту **Properties** и выберите **Calculator**.



В открывшемся окне калькулятора введите выражение

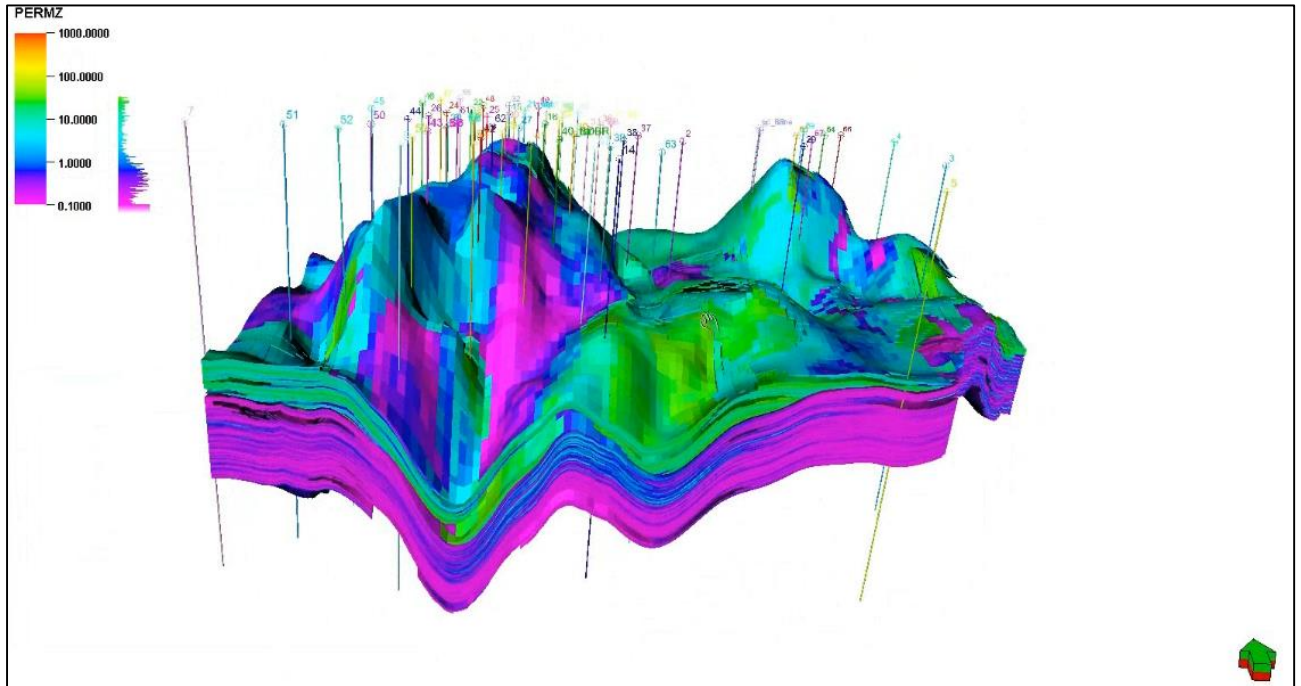
$$\text{PERMZ}=\text{PERM\_initial}/10$$

В меню **Attach new to template** выберите Permeability Z.



Смыслом данной операции является создание куба вертикальной проницаемости путем пересчета куба латеральной проницаемости. Традиционная величина отношения PERZ/PERMXY составляет 0.1 или 0.01.

Визуализируйте куб PERMZ.



\* \* \*

**Контрольные вопросы к разделу 2**

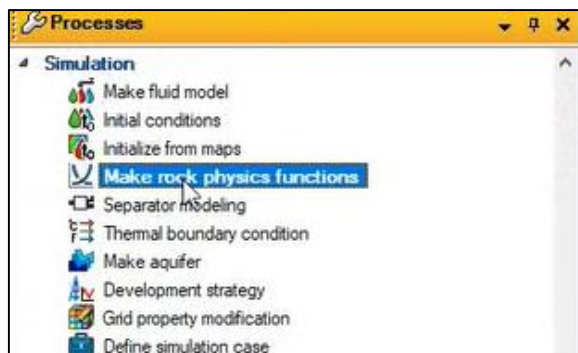
**Добавление куба абсолютной проницаемости. Секция GRID»:**

- 1) Какой минимально необходимый набор кубов для запуска ГДМ?
- 2) Как создать новый куб проницаемости?
- 3) Каким образом рассчитывается куб вертикальной проницаемости на основе проницаемости по латерали?
- 4) Как рассчитать куб вертикальной проницаемости отдельно для турнейских отложений  $PERM\_initial/2$ ) и отдельно для бобриковских ( $PERMZ= PERM\_initial/10$ )?
- 5) Чему в текущей модели равны проницаемости PERMX и PERMY?

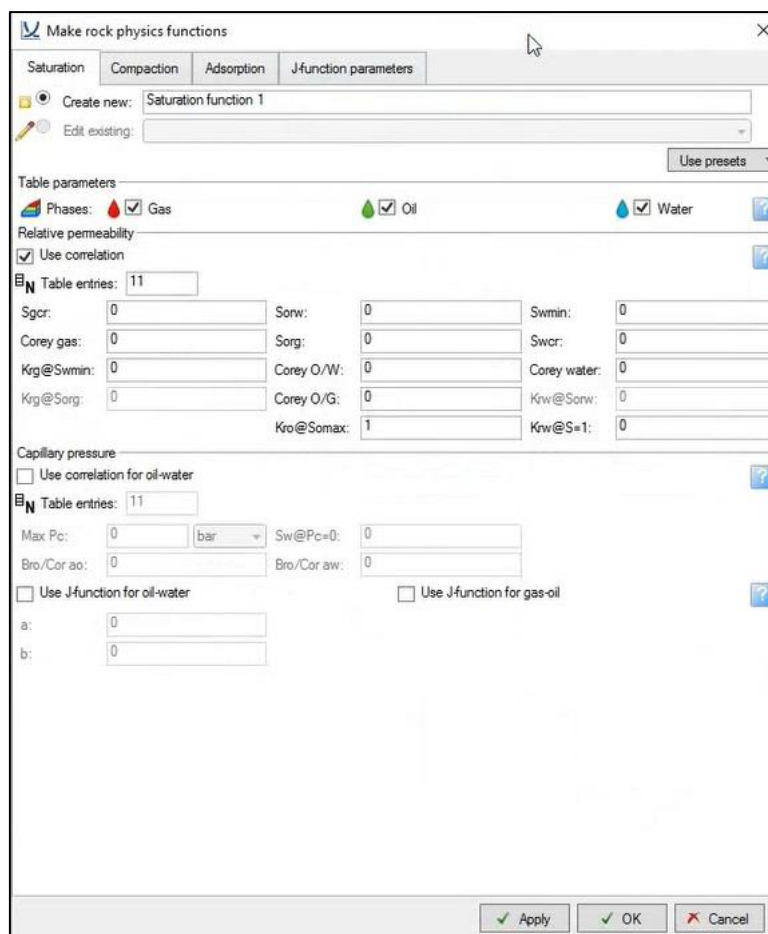
### 3. Добавление функций ОФП и Капиллярного давления. Секция PROPS

Секция PROPS содержит данные, необходимые для задания свойств флюидов, содержащихся в пласте, и параметров взаимодействия флюид-порода.

Для задания функций относительных фазовых проницаемостей (ОФП) и Капиллярного давления откройте окно **Processes**, найдите и раскройте пункт **Simulations** и выберите процесс **Make rock physics functions**

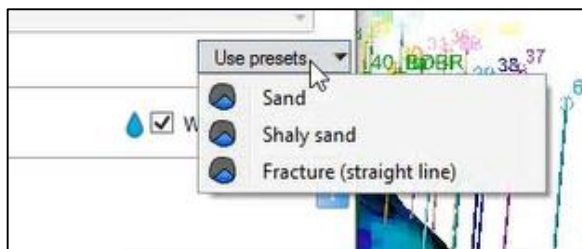


Откроется окно задания свойств флюидов, содержащихся в пласте, и параметров взаимодействия флюид-порода.



Сгенерируйте функции ОФП и капиллярные давления для бобриковского горизонта, исходя их расчета, что порода-коллектор представлена отложениями песчаника. Для этого кликните левой кнопкой на пункт **Use presets** и во всплывающем меню выберите **Sand**.





Программа автоматически заполнит все необходимые строки в соответствии с типовой моделью. Далее вам необходимо:

- присвоить функции имя **Bobrik**
- отменить выделение пункта **Gas**, убрав галочку напротив соответствующего пункта
- задать остаточную нефтенасыщенность в среде «вода-нефть» **Sorw** равной 0.2
- задать неснижаемую водонасыщенность **Swmin** равной 0,2
- задать критическую водонасыщенность **Swcr** равной 0.3
- задать относительную фазовую проницаемость воды при остаточном насыщении нефтью **Krw@Sorw** равной 0.8
- задать относительную фазовую проницаемость нефть при максимальной нефтенасыщенности **Kro@Somax** равной 0,7
- отметить пункт **Use correlation for oil-water** в меню **Capillary pressure**

Остальные параметры оставьте по умолчанию. Нажмите **OK**.

Make rock physics functions

Saturation | Compaction | Adsorption | J-function parameters

Create new: Bobrik

Edit existing:

Use presets

Table parameters

Phases:  Gas  Oil  Water

Relative permeability

Use correlation

Table entries: 11

Sgr:	0.05	Sorw:	0.2	Swmin:	0.2
Corey gas:	6	Sorg:	0.2	Swcr:	0.3
Krg@Swmin:	0.9	Corey O/W:	3	Corey water:	4
Krg@Sorg:	0.8	Corey O/G:	3	Krw@Sorw:	0.8
		Kro@Somax:	0.7	Krw@S=1:	1

Capillary pressure

Use correlation for oil-water

Table entries: 11

Max Pc: 0.89631845 bar Sw@Pc=0: 0.65

Bro/Cor ao: 3.86 Bro/Cor aw: 3.86

Use J-function for oil-water  Use J-function for gas-oil

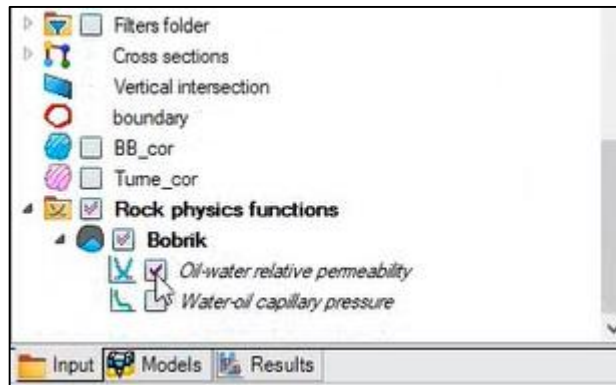
a: 17.969

b: -0.0496

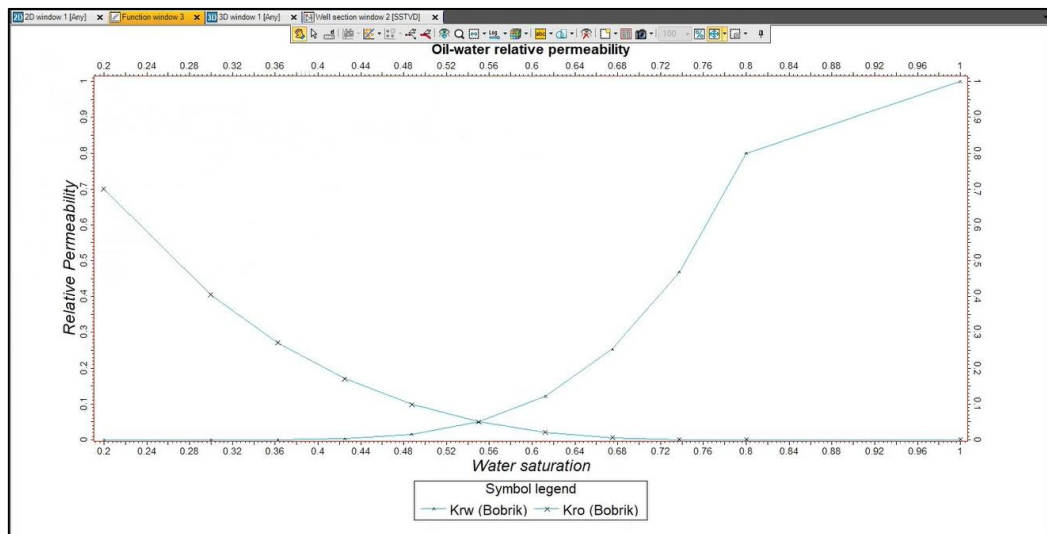
Apply OK Cancel

Apply changes and close the dialog.

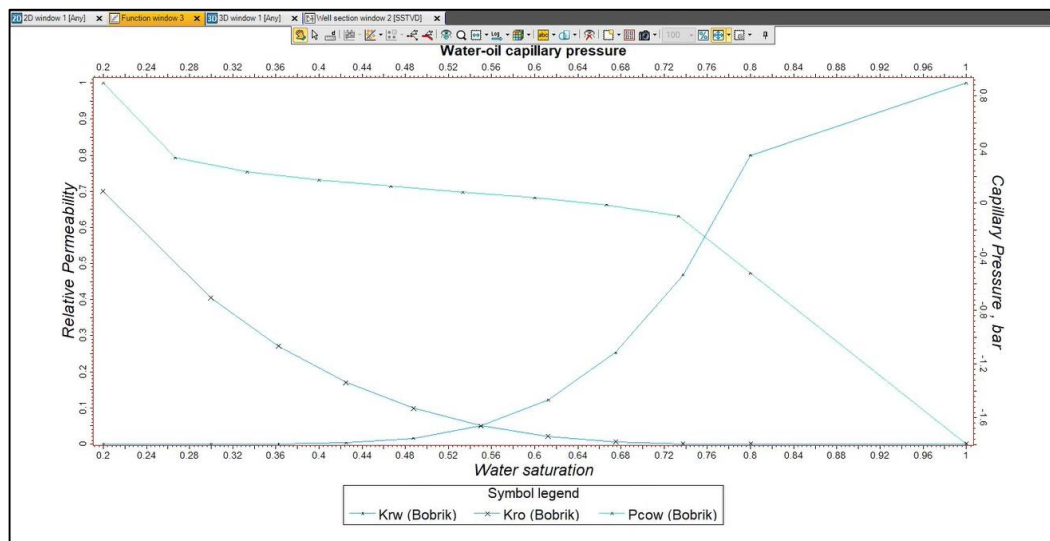
В рабочем окне приложения откройте вкладку **Function window**. Затем в меню **Input** раскройте папку **Rock physics functions** и выберите пункт **Oil-water relative permeability**.



Перед вами появится график относительных фазовых проницаемостей воды и нефти.

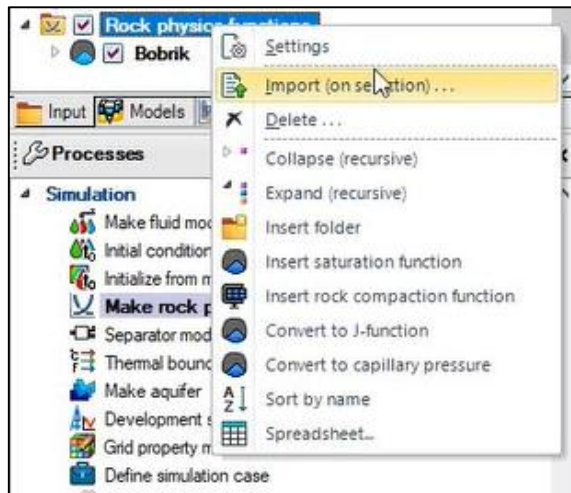


Аналогичным образом добавьте на график кривую капиллярного давления **Water-oil capillary pressure**.

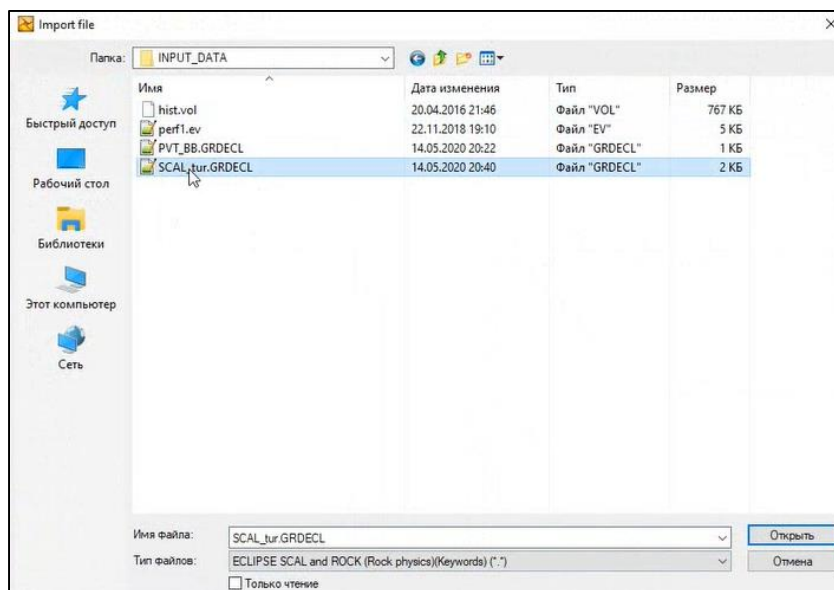


Существует еще один способ задания ОФП и капиллярного давления – Импорт, который мы рассмотрим на примере турнейских отложений.

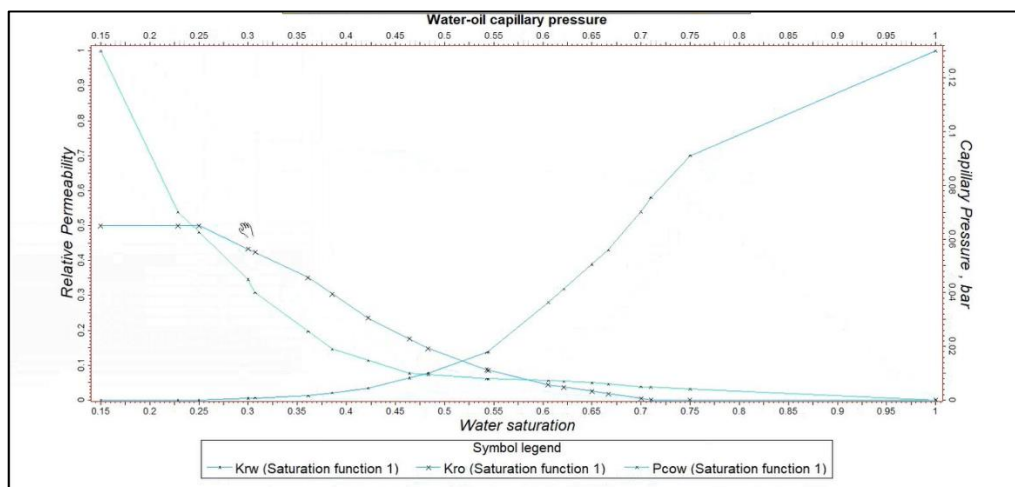
Для импорта данных лабораторного исследования керна турнейских отложений кликните правой кнопкой по папке **Rock physics functions** и во всплывшем меню выберите **Import (on selection)**.



В папке INPUTDATA выберите под именем *SCAL\_tur.GRDECL*. Нажмите **Открыть**.



Найдите загруженные кривые в папке **Rock physics functions** и визуализируйте их.



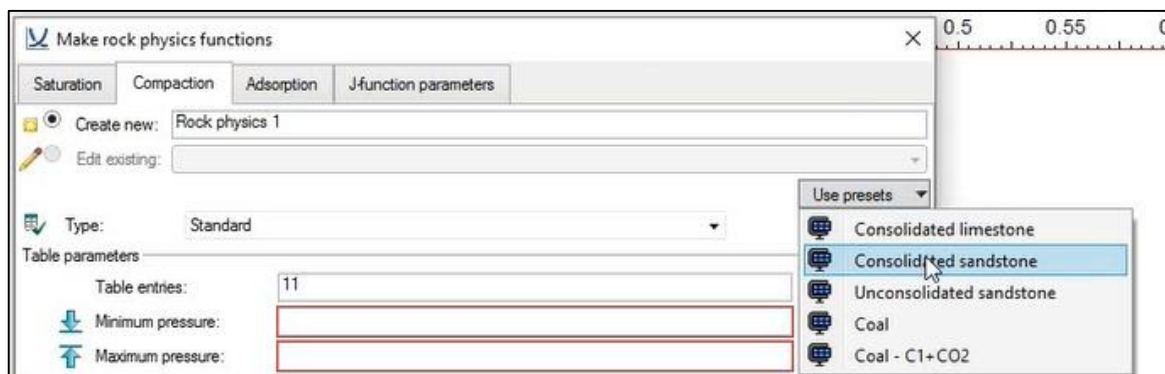
Изучим структуру загруженного файла. Для этого найдите его в папке INPUT\_DATA и откройте в текстовом редакторе. Первая строка файла содержит информацию о назначении и формате файла. Файл содержит следующие столбцы данных:


- 1 – насыщенность водой
- 2 – ОФП по воде
- 3 – ОФП по нефти
- 4 – капиллярное давление в системе «вода-нефть»

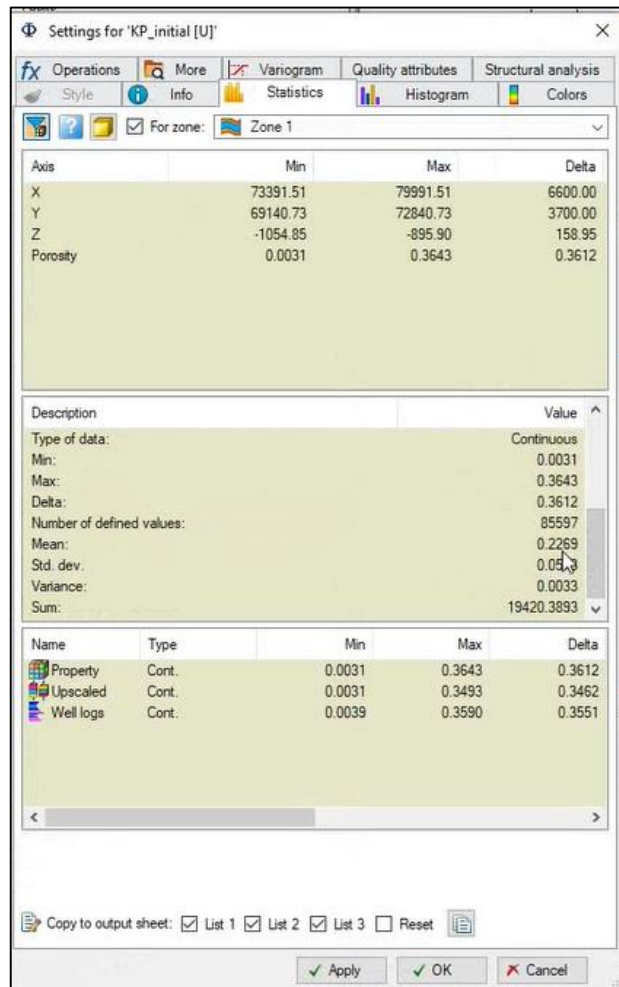
1	SWOF			
2	0.15	0	0.5	0.13
3	0.22857	0	0.5	0.07
4	0.25	0	0.5	0.0625
5	0.3	0.005589	0.43302	0.045
6	0.30714	0.0063871	0.42346	0.04
7	0.36111	0.01242	0.35117	0.025575
8	0.38571	0.021335	0.30451	0.019
9	0.42222	0.034568	0.23525	0.014818
10	0.46429	0.064313	0.17529	0.01
11	0.48333	0.077778	0.14815	0.0095153
12	0.54286	0.1367	0.087352	0.008
13	0.54444	0.13827	0.085734	0.0079798
14	0.60556	0.28	0.043896	0.007202
15	0.62143	0.31896	0.037304	0.007
16	0.65	0.38909	0.02544	0.0065
17	0.66667	0.43	0.018519	0.006
18	0.7	0.54	0.005487	0.005
19	0.71	0.58	0.00068587	0.0048333
20	0.75	0.7	0	0.0041667
21	1	1	0	0
22	/			

Вернитесь в Petrel. Переименуйте загруженную функцию в Type двойным кликом по названию функции (или используя клавишу F2).

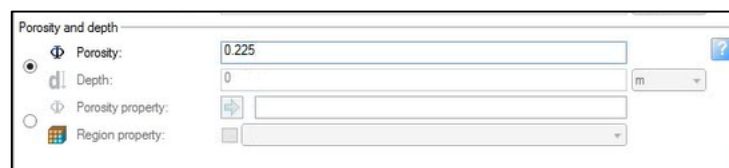
Зададим сжимаемости пород. Откройте окно процесса **Make rock physics function** и во вкладке **Compaction** выберите Use preset **Consolidated sandstone**.



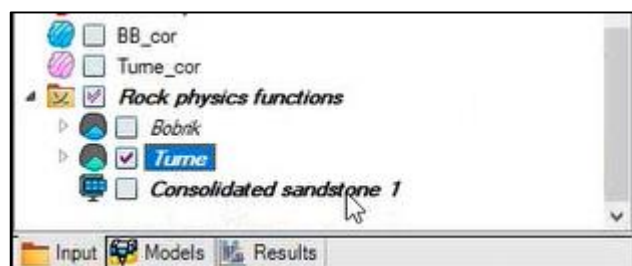
Поскольку нам у нас имеется модель пористости, мы можем заменить значение строки **Porosity** на среднее значение модели. Для этого в окне **Models** найдите куб KP\_initial и двойным кликом левой кнопкой мыши откройте его настройки. В открывшемся окне найдите вкладку **Statistics**. Применим поставленный нами ранее фильтр по коллекторам с помощью клика на значок , отметим пункт **For Zone** и в раскрывающемся списке выберите Zone 1.



В окне **Description** найдите строку **Mean**. Скопируйте это значение в строку **Porosity** вкладки **Compaction** процесса **Make rock physics function**. Нажмите **Apply**.



В окне **Input** появится новый файл **Consolidated sandstone**.



Создайте аналогичный файл для турнейских отложений. Используйте пресет **Consolidated limestone**.



\* \* \*

**Контрольные вопросы к разделу 3**

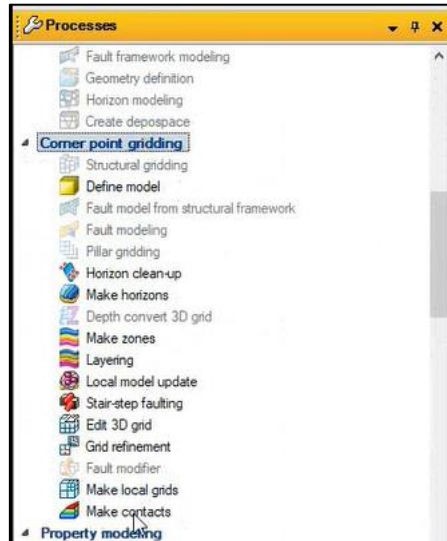
**«3. Добавление функций ОПФ и Капиллярного давления. Секция PROPS»:**

- 1) Какие 2 способа добавления функций капиллярного давления и ОПФ существуют в Petrel?
- 2) Как называется процесс, позволяющий сгенерировать ОПФ и  $P_c$  в Petrel?
- 3) Какой смысл имеет параметр  $K_{rw}@Sorw$ ?
- 4) Как визуализировать кривые ОПФ в Petrel?
- 5) Как задается сжимаемость пород?

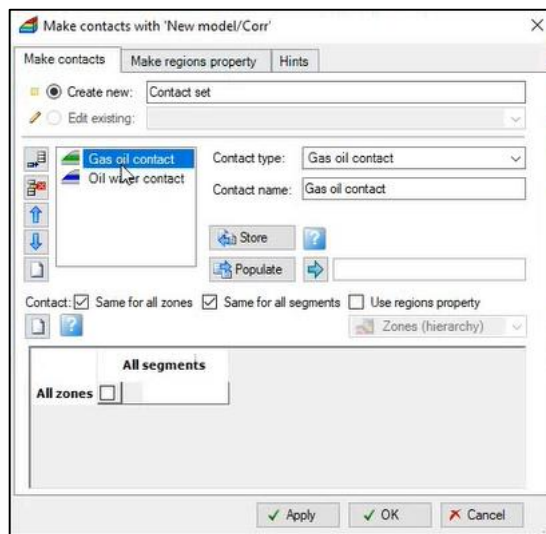
#### 4. Задание контактов и создание модели флюида. Секции SOLUTION и PROPS

Секция SOLUTION содержит данные, необходимые для определения начальных условий.

Для задания ВНК откройте окно **Processes**, найдите и раскройте пункт **Corner point gridding** и двойным кликом левой кнопкой мыши откройте процесс **Make contacts**.

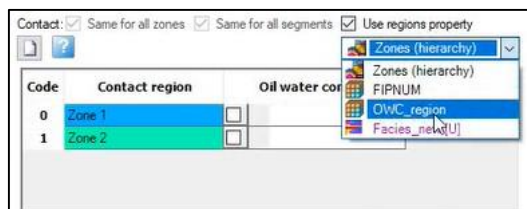


Перед вами откроется окно создания контактов. Поскольку моделируемая залежь не содержит газовой шапки, мы можем удалить газонефтяной контакт.



Для этого выделите его в списке контактов и кликните на .

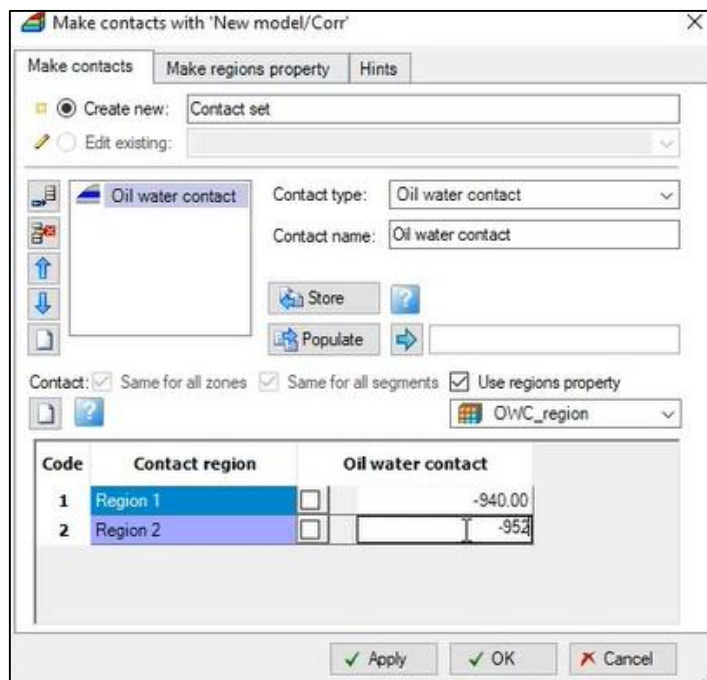
Как ранее было сказано, модель содержит несколько регионов, каждый из которых имеет свой ВНК. Для того, чтобы задать положение для каждого из регионов отметьте пункт **Use regions property** и во всплывающем списке выберите **OWC\_region**.



Впишите положение уровня ВНК для каждого из регионов.

- Регион 1 (восточное поднятие) -940м
- Регион 2 (западное поднятие) -952м

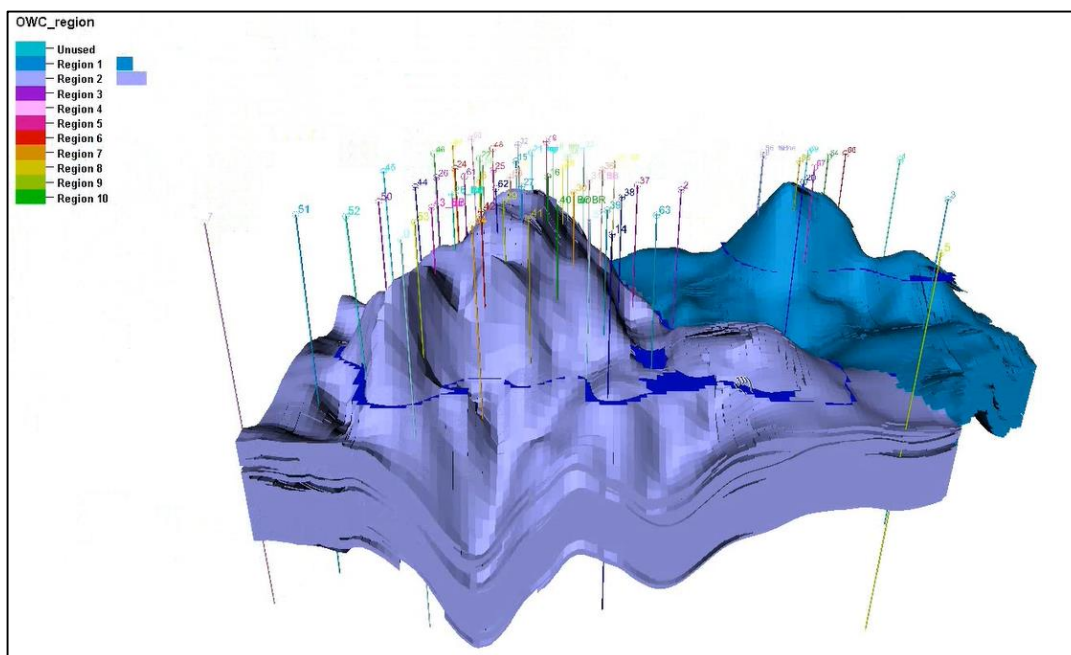
Нажмите **ОК**



Во вкладке **Models** появилась новая папка **Fluid contacts**.

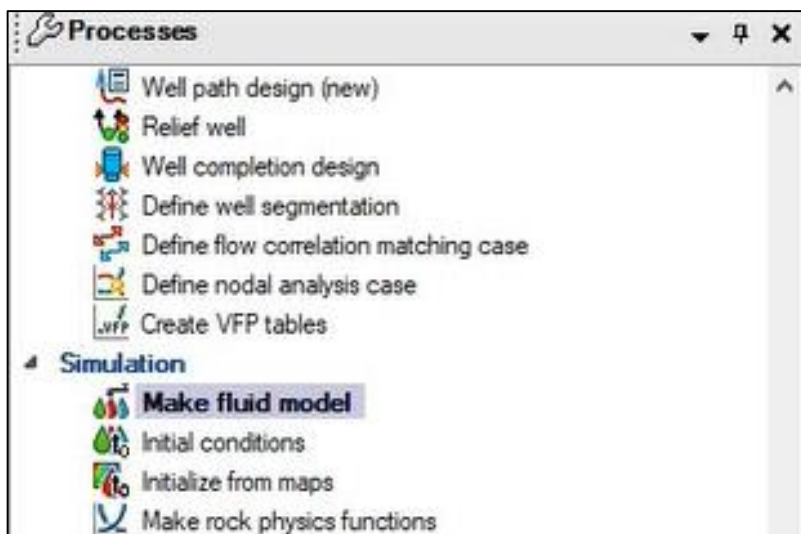


В 3D-окне визуализируйте созданные ВНК и модель регионов ВНК.

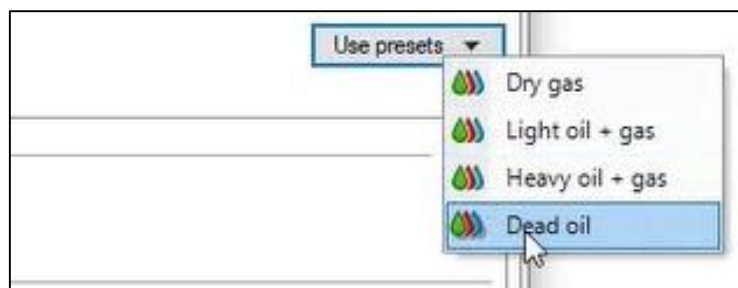




Помимо положения ВНК, для успешной инициализации модели необходимо также задать свойства флюидов. Для этого в окне **Processes** найдите пункт **Make fluid model**.

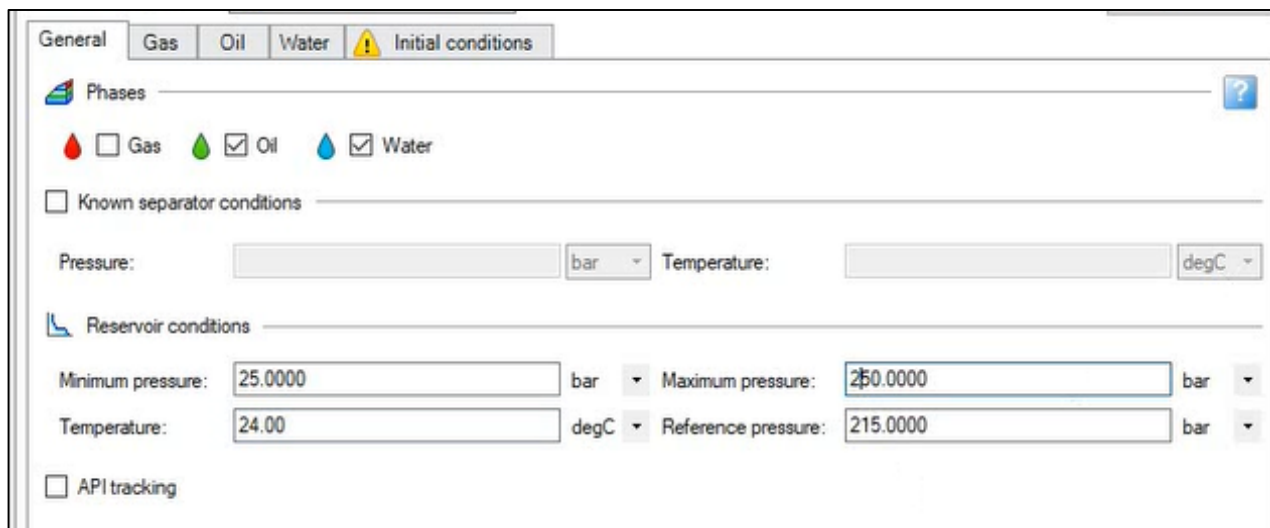


Запустите данный процесс. Во вкладке **General** установите пресет **Dead oil**. Данный тип модели предполагает, что давление в пласте не опускается ниже давления насыщения и весь газ в пласте будет растворен в нефти.



Установите пластовые условия в соответствии с тем, как показано ниже:

- Минимальное пластовое давление (**Minimum pressure**) – 25 bar
- Максимальное пластовое давление (**Maximum pressure**) – 250 bar
- Пластовая температура (**Temperature**)– 40 degC
- Опорное давление (**Reference pressure**)– 215 bar



Перейдите во вкладку **Oil**. Задайте следующие свойства нефти.

- Плотность (**Density**) – 878 kg/m<sup>3</sup>
- Давление насыщения (**Bubble point pressure**) – 25bar

Остальные параметры оставьте по умолчанию (строки будут заполнены на основе встроенной корреляции).

General Gas Oil Water Initial conditions

Density: 878.0000 kg/m<sup>3</sup>  Solution gas/oil ratio: 10.1021 sm<sup>3</sup>/sm

Gravity: 29.50282 dAPI  Bubble point pressure: 25.0000 bar

Create tables from correlations

Table entries: 20

Bubble-point pressure: (default)

Solution gas/oil ratio: (default)

Formation volume factor: (default)

Density: (default)

Stock tank viscosity: (default)

Saturated viscosity: (default)

Undersaturated viscosity: (default)

Во вкладке свойств воды, задайте минерализацию воды (**Salinity**) равную 250000ppm.

General Gas Oil Water Initial conditions

Salinity: 250000.0000 ppm Formation volume factor: m<sup>3</sup>/sm

Density: kg/m<sup>3</sup> Compressibility: 1/bar

Viscosity: cP Viscosity: 1/bar

Create tables from correlations

Formation volume factor: (default)

Compressibility: (default)

Viscosity: (default)

Перейдите во вкладку задания начальных условий (**Initial conditions**). Отметьте галочкой пункт **Use contact set**. Затем в меню **Models** выделите **Contact set**, созданный нами ранее и нажмите на стрелку.

Задайте среднюю отметку альтитуд скважин месторождения (**Surface elevation**) равной 180м. Данное значение необходимо для корректного расчета гидростатического давления. На практике **Surface elevation** задается на основе среднего арифметического значения альтитуд скважин.

Кликните на пункт **Fill table from contact**. Это позволит автоматически сформировать начальные условия для каждого из регионов.

General Gas Oil Water Initial conditions

Use contact set: Contact set

Target number of initial conditions: 5

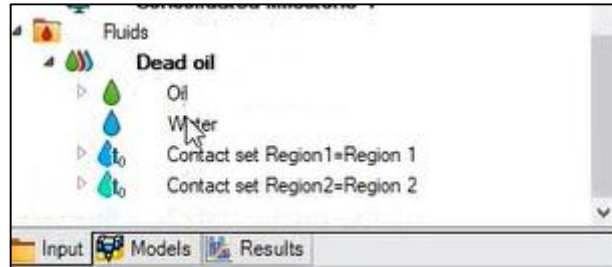
Surface elevation: 180.00 m

Fill table from contact

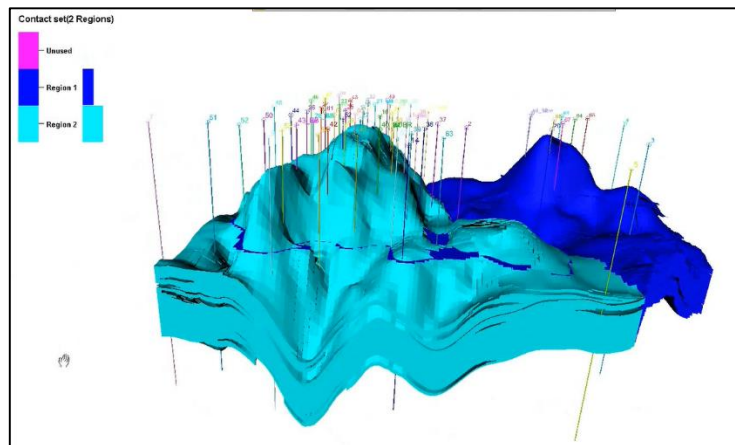
Name	Unit	Region	Region
Pressure	bar	Contact set Region1=R	Contact set Region2=R
Datum depth	m	-940.00	-952.00
Water contact	m	-940.00	-952.00
Pc at water contact	bar	0.0000	0.0000

Нажмите **ОК**. В некоторых случаях возможно появление сообщения об ошибке (также кликните **ОК**). Сама ошибка связана с тем, что рассматриваемая залежь имеет слишком низкую температуру, что ухудшает точность корреляций. В нашем случае мы можем проигнорировать данный факт, поскольку на следующих этапах мы изменим свойства флюида вручную.

Во вкладке **Input** появится новая папка Fluids.



Также будет сгенерирован дополнительный куб Contact set (2 regions) аналогичный кубу OWC\_regions.



\* \* \*

#### ***Контрольные вопросы к разделу 4***

#### ***«4. Задание контактов и создание модели флюида. Секции SOLUTION и***

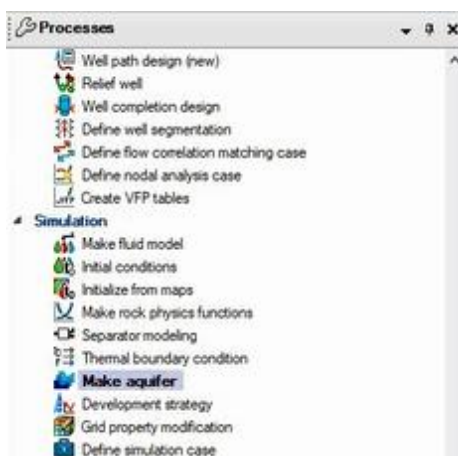
- 1) Какие данные необходимы для задания двух различных водонефтяных контактов на залежи?
- 2) Как называется процесс, позволяющий создавать контакты в Petrel?
- 3) Как называется процесс, позволяющий сгенерировать модель флюида в Petrel?
- 4) Как определить параметр Surface elevation при задании начальных условий?
- 5) В какой вкладке хранится ВНК в Petrel?

## 5. Задание водонапорного горизонта. Секция SOLUTION

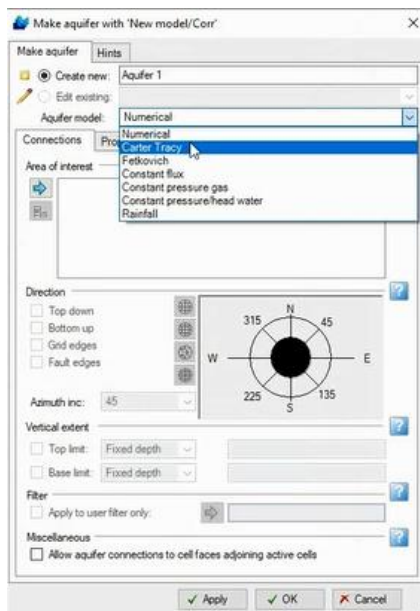
Секция SOLUTION также содержит информацию о граничных условиях (водонапорных горизонтах). Задание водонапорного горизонта не является обязательным требованием при создании ГДМ. Если он не задан, то на границе модели принимается условие непротекания, т.е. флюид не может покидать модель и приходить в нее извне. Однако зачастую создание водонапорного горизонта является неизбежным при построении ГДМ.


На данном этапе рассматривается создание двух водонапорных горизонтов для бобриковских и турнейских отложений соответственно.

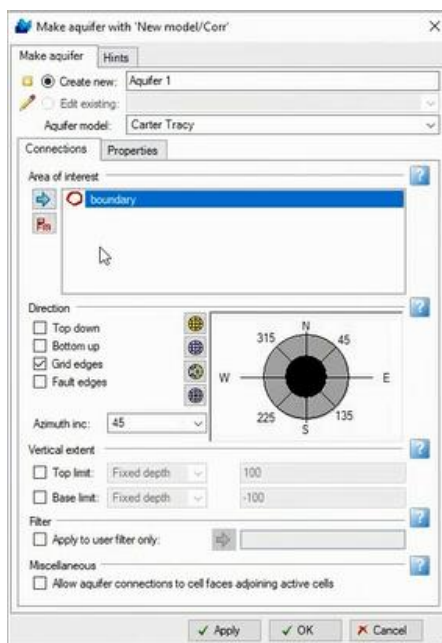
Для задания водонапорного горизонта перейдите во вкладку **Processes**, раскройте набор операций **Simulation** и двойным щелчком выберите **Make aquifer** из списка.



В появившемся диалоговом окне **Make aquifer with 'New model/Corr'** в качестве аналитической модели водонапорного горизонта выберите **Carter Tracy**.




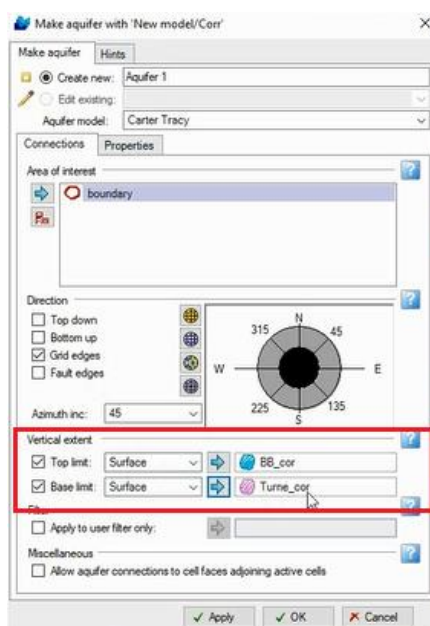
При задании водонапорного горизонта можно ограничить область влияния. Для задания области интересов (Area of interest) выделите во вкладке **Input** существующий полигон boundary и нажмите правой клавишей мыши стрелку  под **Area of interest**. Выбранный полигон должен отобразиться в окне, как показано на рисунке.



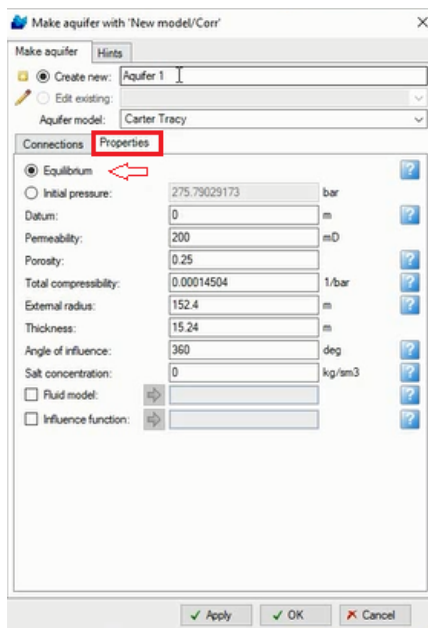
Для начала рассмотрим задание водонапорного горизонта для бобриковских отложений.

В качестве направления (**Direction**) выберите **Grid Edges**. Это означает, что водонапорный горизонт будет действовать на края модели, т.е. будет краевым.

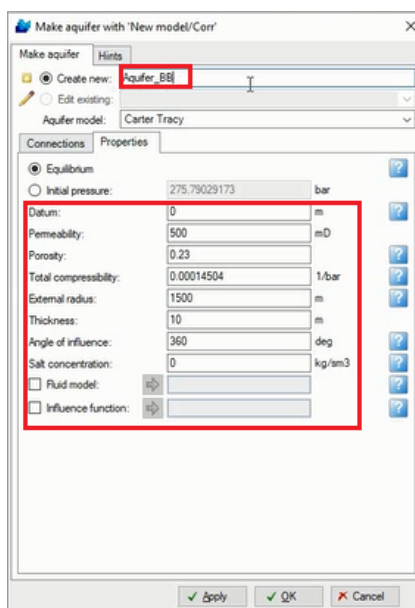
Для того чтобы ограничить влияние водонапорного горизонта исключительно на бобриковские отложения, в разделе Vertical Extent необходимо задать Top и Base Limit (верхний и нижний пределы). В качестве таких пределов будут использоваться существующие во вкладке Input поверхности BB\_corr (кровля бобриковских отложений) и Turne\_corr (кровля турнейских отложений). Поставьте галочки у **Top Limit** и **Base Limit** и выберите в ниспадающем списке **Surface** (поверхность). В качестве **Top Limit** из вкладки **Input** выберите **BB\_corr** и нажмите стрелку , а для **Base Limit** – **Turne\_corr**.



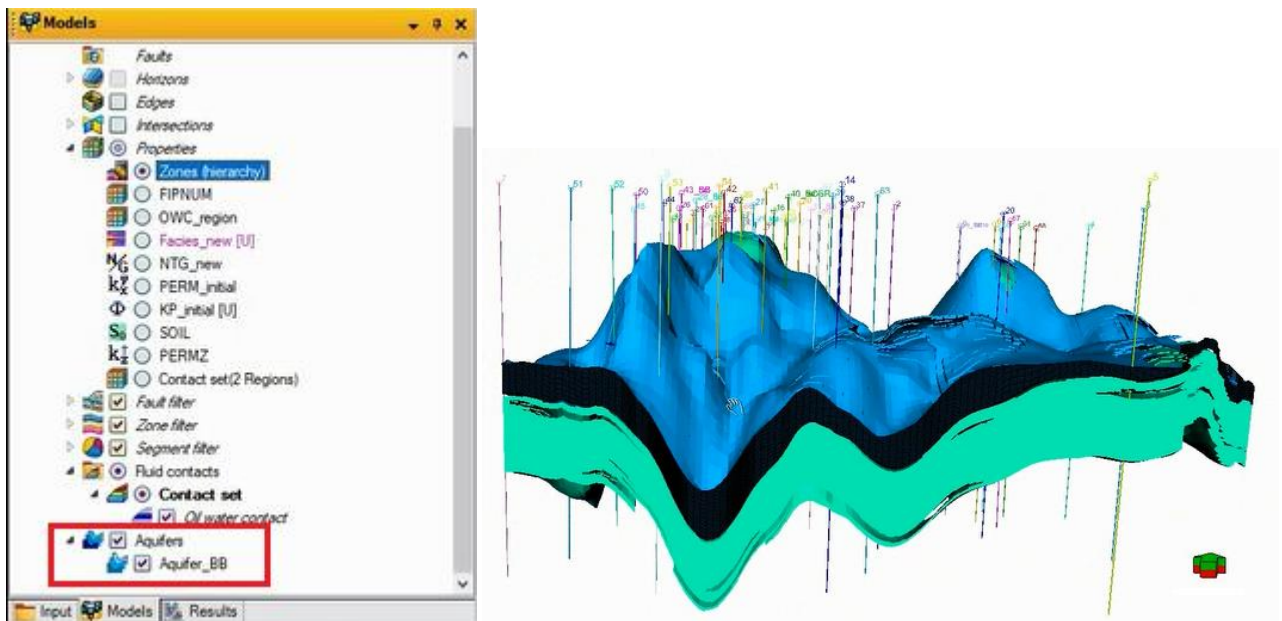
Далее необходимо задать свойства водонапорного горизонта. Для этого перейдите в диалоговом окне **Make aquifer with 'New model/Corr'** во вкладку **Properties** и выберите **Equilibrium** (равновесное условие).



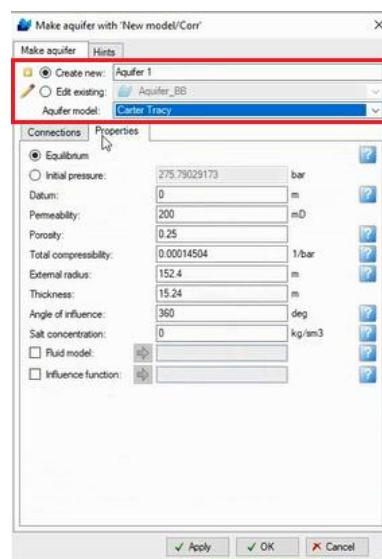
В качестве параметров (Permeability, Porosity, External Radius, Thickness) указываются средние значения проницаемости, пористости, внешнего радиуса, толщины пласта, соответствующие бобриковским отложениям; параметры Datum, Total Compressibility (сжимаемость), Angle of influence (Угол влияния), Salt Concentration (Концентрация соли) остаются по умолчанию. Проставьте значения согласно рисунку ниже и переименуйте созданный водоносный горизонт как **Aquifer\_BB**. Нажмите **Apply**.



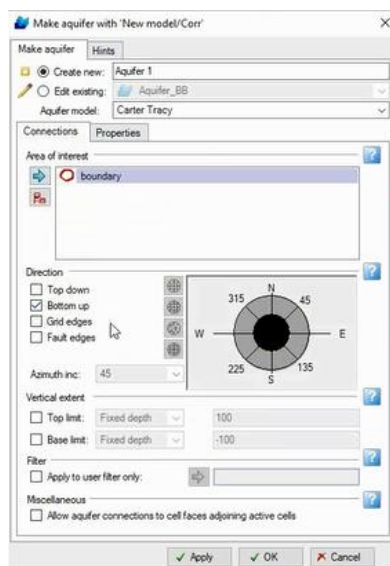
Созданный водоносный горизонт **Aquifer\_BB** появится во вкладке **Aquifers** в разделе **Models**. Визуализируйте **Aquifer\_BB** и **Zones (hierarchy)** в 3D окне. Как видно из рисунка, созданный водоносный горизонт (ячейки, закрашенные темным цветом) соответствует первой зоне (бобриковские отложения), окрашенной голубым цветом.



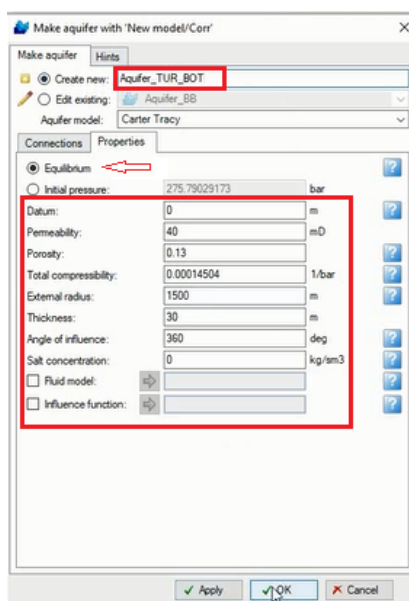
Для создания подошвенного водонапорного горизонта для турнейских отложений в диалоговом окне процесса **Make aquifer with 'New model/Corr'** выбираем **Create new** (Создать новый), аналогично в качестве **Aquifer model** выбираем аналитическую модель **Carter Tracy**.



Перейдите во вкладку **Connections**. В качестве области влияния (**Area of interest**) аналогично задайте полигон boundary, измените **Direction** (Направление) на **Bottom up**. На этот раз нет необходимости указывать Vertical Extent, т.к. водонапорный горизонт подключается к подошве отложений.

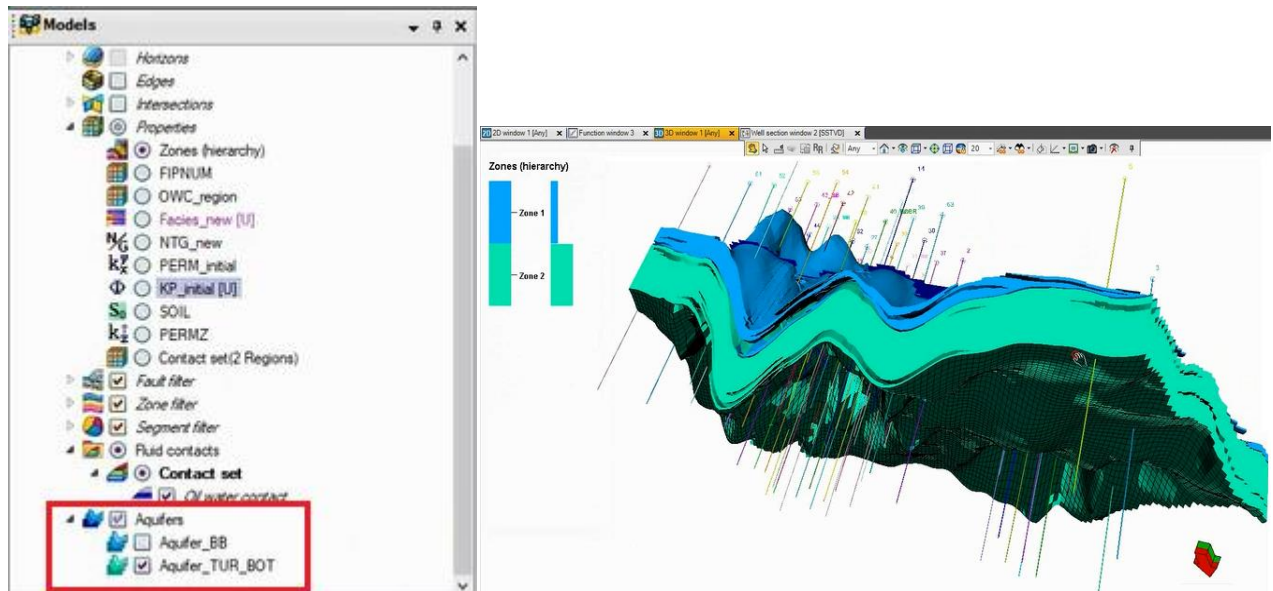


Перейдите во вкладку **Properties**. Теперь в качестве параметров (Datum, Permeability, Porosity и т.д.) указываются средненные значения, соответствующие отложениям турнейского возраста. Выберите условие равновесия (**Equilibrium**), задайте параметры, как на рисунке, и поменяйте название водонапорного горизонта на **Aquifer\_TUR\_BOT**. Нажмите **OK**.



Во вкладке **Models** в разделе **Aquifers** появится новый водонапорный горизонт **Aquifer\_TUR\_BOT**. Визуализируйте его в 3D окне вместе с Zones (hierarchy), получится результат, как на рисунке ниже.





В обоих случаях водонапорные горизонты подключены ко всей границе модели по бобриковским и турнейским отложениям соответственно. Однако в ГДМ водонапорные горизонты подключаются только к граням активных ячеек.

\* \* \*

### ***Контрольные вопросы к разделу 5***

#### ***«5. Задание водонапорного горизонта. Секция SOLUTION»:***

- 1) Какой процесс в Petrel позволяет задать водонапорный горизонт?
- 2) Какие данные необходимы для задания водонапорного горизонта?
- 3) На основе чего задаются параметры аналитического водонапорного горизонта?
- 4) В какой вкладке в Petrel находятся созданные водонапорные горизонты?
- 5) В случае отсутствия заданного водонапорного горизонта какое условие принимается на границах модели?

## 6. Задание информации о работе скважин. Секция SCHEDULE

Секция SCHEDULE содержит данные по скважинам.

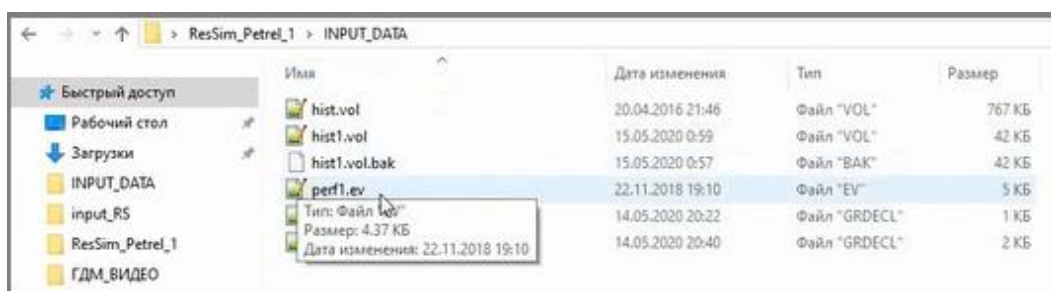
Для того, что симулятор считал информацию по скважине, должна быть задана следующая информация:

- информация о наличии скважины – ключевое слово WELLSPECS
- информация о связи скважины с пластом – ключевое слово COMPDAT
- информация о режиме работы скважин – ключевые слова WCONPROD и WCONINJE и т.д.

Информация о наличии скважины автоматически определяется по наличию перфорации в области модели и добычи.

Рассмотрим задание информации о связи скважины с пластом. Такая связь задается посредством установления интервалов перфорации по скважинам. Информация об интервалах перфорации оформляется в виде файла формата .ev. Рассмотрим структуру данного файла на примере.

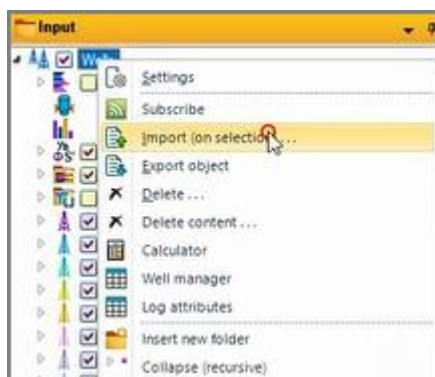
Раскройте папку с исходными данными по проекту *ResSim\_Petrel\_1*, перейдите в папку INPUT\_DATA и откройте двойным щелчком левой кнопкой мыши файл **perf1.ev**.



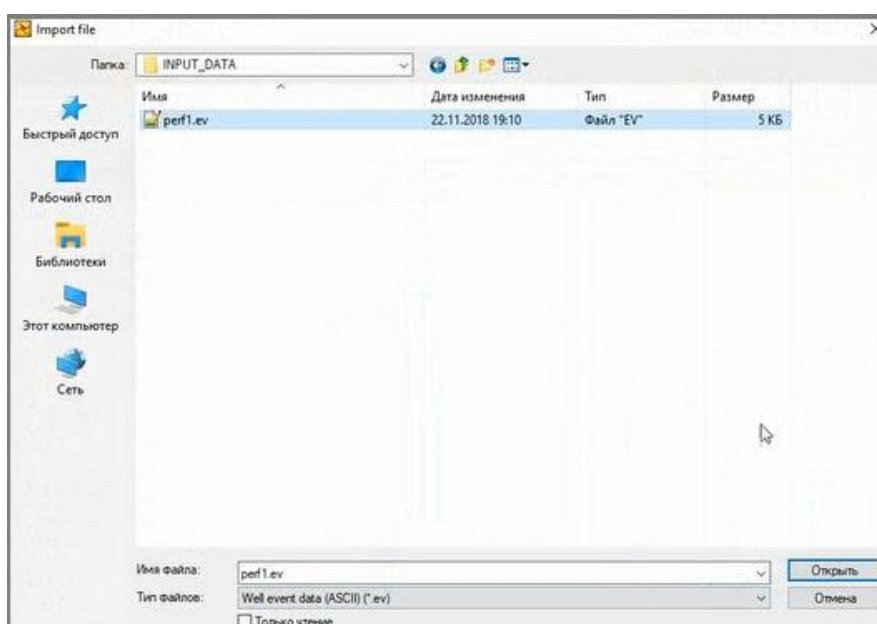
```
perf1.ev [3]
1 UNITS METRIC
2
3 WELLNAME "8"
4 1/12/1973 perforation 1107.5 1120 0.1905 0 0 0
5 2/11/1965 perforation 1745.6 1746.6 0.1905 0 0 0
6
7 WELLNAME "6"
8 28/10/1964 perforation 1117 1126.6 0.1905 0 0 0
9 28/10/1964 perforation 1126.6 1128 0.1905 0 0 0
10 5/12/2000 perforation 1117 1125 0.1905 0 0 0
11 5/12/2000 perforation 1125 1126.6 0.1905 0 0 0
12 5/12/2000 perforation 1126.6 1128 0.1905 0 0 0
13
14 WELLNAME "14"
15 28/10/1966 perforation 1145.6 1148 0.1905 0 0 0
16
17 23/11/1966 squeeze 1147 1148
18
```

Данный файл содержит в себе названия скважин (WELLNAME “”), их диаметр (0.1905), дату, интервалы перфорации (perforation), а также информацию об интервалах перекрытия перфорации (squeeze).

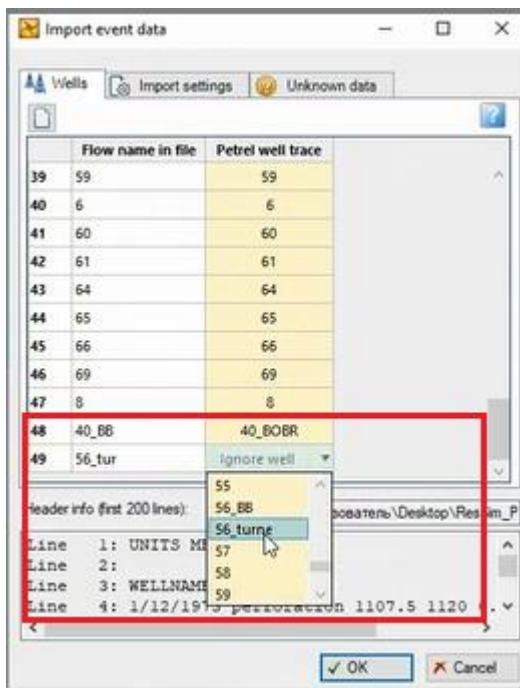
Загрузим данный файл в проект. Для этого правой кнопкой мыши щелкните по **Wells** во вкладке **Input**, выберите **Import on selection**.



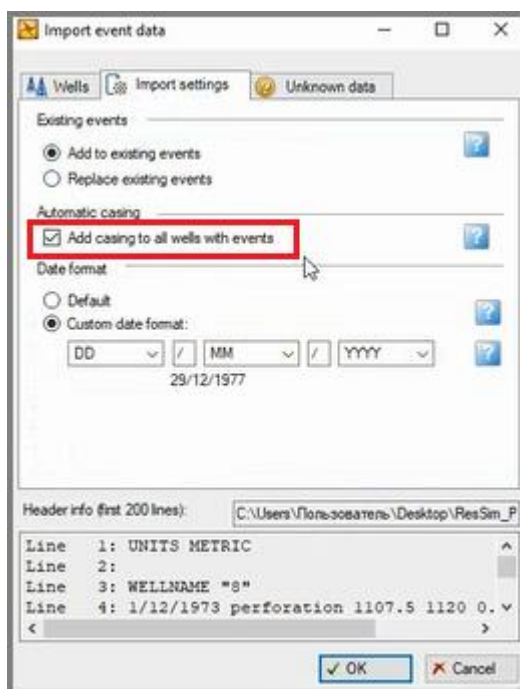
Установите тип файла **Well event data (ASCII) (\*.ev)** и выберите файл **perf 1.ev** из папки **INPUT DATA**, нажмите **Открыть**.



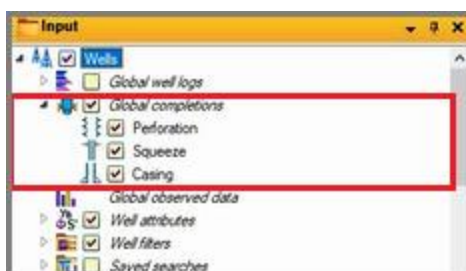
В результате появится диалоговое окно **Import event data**, в котором необходимо провести соответствие между загружаемыми названиями скважин (**Flow name in file**) и уже существующими в проекте (**Petrel well trace**). В результате этой проверки две последние скважины 40\_BB и 56\_tur окажутся проигнорированными (**Ignore well**). Причина в том, что эти скважины в проекте имеют другое название, не совпадающее с загружаемыми данными. Чтобы устранить эту ошибку, установите соответствие для этих скважин вручную, выберите из списка, предлагаемого Petrel, для **40\_BB** скважину **40\_BOBR**, а для **56\_tur** – **56\_turne**, как показано на рисунке.



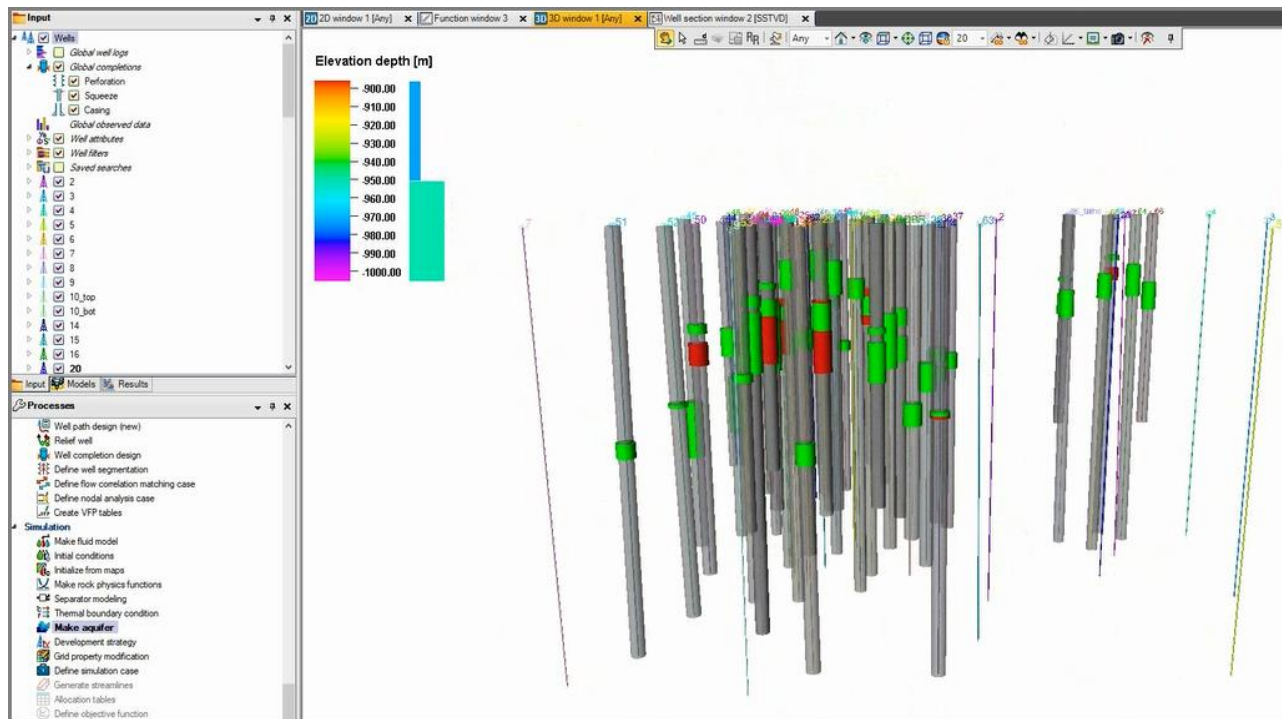
Перейдите во вкладку **Import settings**, удостоверьтесь, что поставлена галочка напротив **Add casing to all wells with events**. После этого нажмите **OK**.



В результате во вкладке **Input**, в разделе **Wells** появится папка **Global completions**, содержащая данные по интервалам перфорации (Perforation) и их перекрытии (Squeeze), обсадные колонны (Casing).

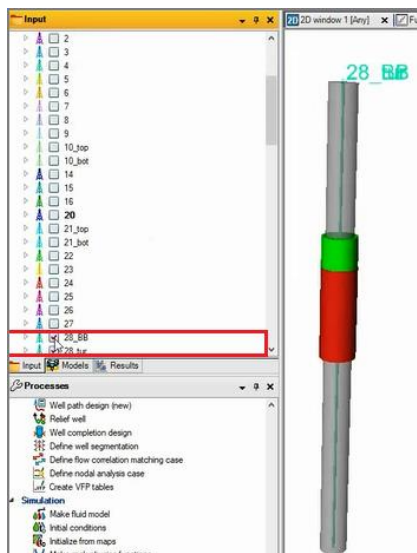


Отобразим загруженные интервалы перфорации на скважинах. Для этого откройте 3D окно визуализации, уберите галочку напротив водонапорного горизонта (Aquifers), контактов флюидов (Fluid contacts) и кубов свойств (Properties) во вкладке **Models**, если вы видите их в окне визуализации. Далее перейдите во вкладку **Input** отобразите **Wells**, и переподключите вкладку **Global completions**, т.е. уберите-поставьте снова галочку. В результате получаем (зеленым цветом показаны интервалы перфорации, красным – их перекрытия):

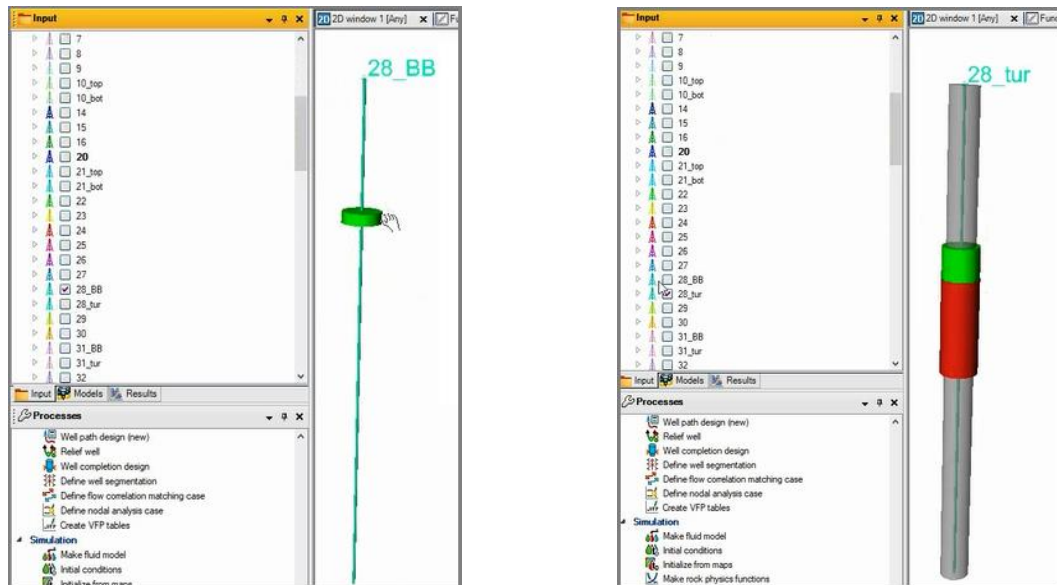


Обратите внимание, что не все скважины проперфорированы. Те скважины, на которых отсутствуют интервалы перфорации, не учитываются при построении ГДМ, но тем не менее используются при построении геологической модели.

Также обратите внимание, что в списке скважин (**Wells**) во вкладке **Input** есть такие, которые дублируются по номеру (10\_top и 10\_bot или 28\_BB и 28\_tur). Отобразите в 3D окне визуализации скважины 28\_BB и 28\_tur, для этого уберите галочку напротив **Wells**, поставьте галочки только у скважин **28\_BB** и **28\_tur**. Если интервалы перфорации не отображаются, переподключите вкладку **Global completions** (убрать-поставить галочку).

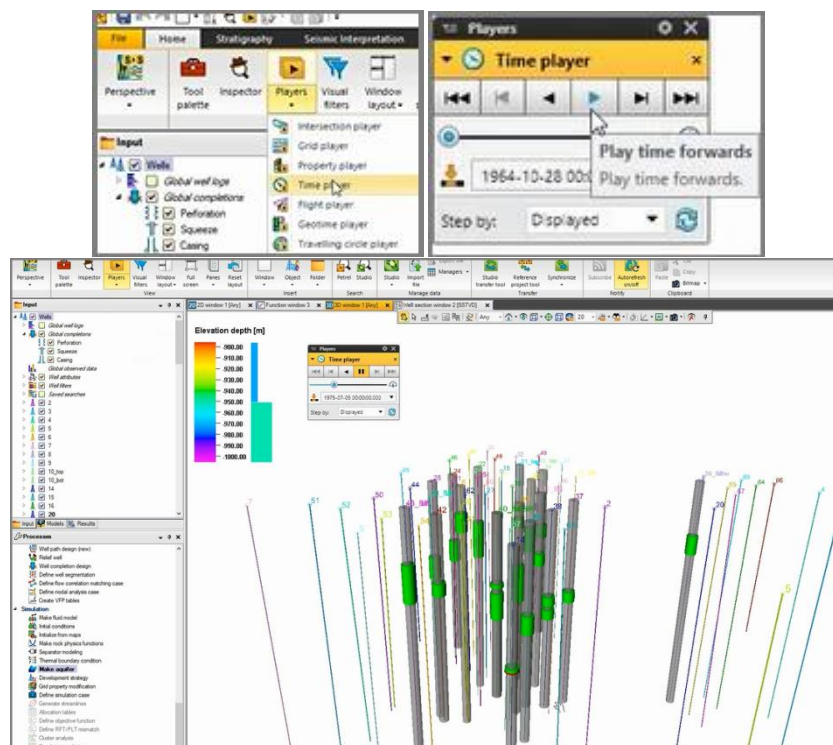


Попробуйте визуализировать теперь каждую скважину по отдельности.



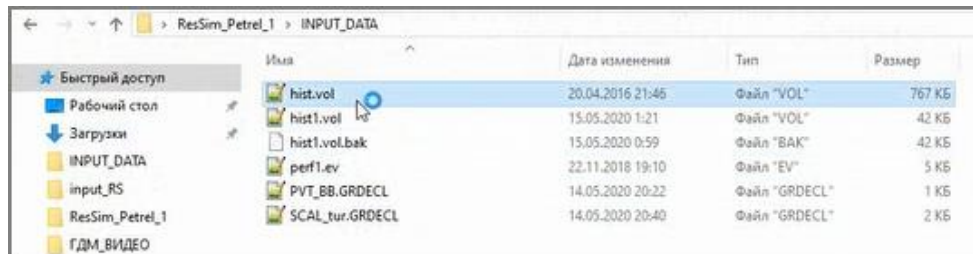
Как видно, эти скважины имеют одинаковую траекторию, отличаются лишь интервалами перфорации. Такой подход (создание скважин-призраков) часто используется в ГДМ, когда имеется информация о разделении добычи нефти или жидкости на интервалах. В нашем случае имеется такая информация об истории работы скважины с бобриковских и турнейских отложений по отдельности, поэтому созданы скважины-призраки (ghost-wells).

В Petrel есть возможность просмотреть, как проводилось бурение скважин, их обсадка и перфорация во времени. Для этого включите снова все скважины (**Wells**) во вкладке **Input**, переключите **Global completions**. Перейдите во вкладку **Home**, выберите **Players**, затем **Time player**. В появившемся окне Time player установите бегунок на начало и нажмите **Play time forward**



Следующим этапом является загрузка информации о режимах работы скважин. Инженер-разработчик ГДМ получает такую информацию из эксплуатационных карточек, или месячных эксплуатационных рапортов (МЭР).

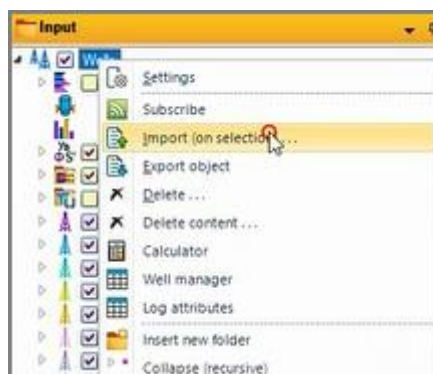
В используемом для построения учебной ГДМ случае данные по истории работы скважин уже приведены в формат, готовый для загрузки в Petrel. Раскройте папку с данными для проекта *ResSim\_Petrel\_1*, перейдите в папку *INPUT\_DATA* и откройте двойным щелчком файл **hist.vol**.



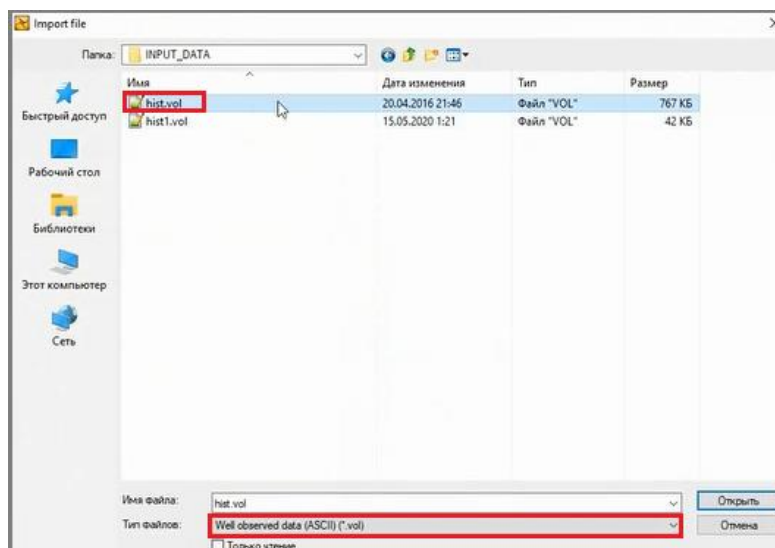
Файл включает в себя информацию о забойном давлении (\*BHP), объеме закаченной жидкости (\*WINJ), добыче газа (\*GAS), нефти (\*OIL), воды (\*WATER) по дате (\*DAY, \*MONTH, \*YEAR) и по времени (\*HOURL, \*MINUTE, \*SECOND) для скважины (\*NAME). На рисунке ниже мы видим фрагмент данных, соответствующих 14 скважине.

	*DAY	*MONTH	*YEAR	*HOURL	*MINUTE	*SECOND	*BHP	*WINJ	*GAS	*OIL	*WATER
1	12	1970	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	8	1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0

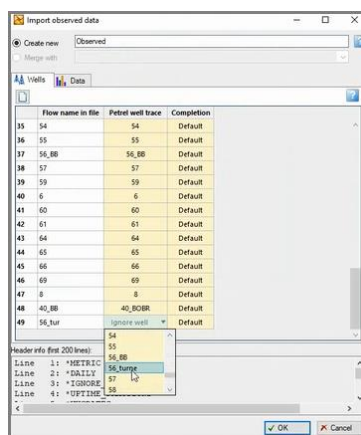
Добавим рассмотренные данные о наблюдениях за работой скважин в проект. Для этого правой кнопкой мыши щелкните по **Wells** из вкладки **Input**, выберите **Import on selection**.



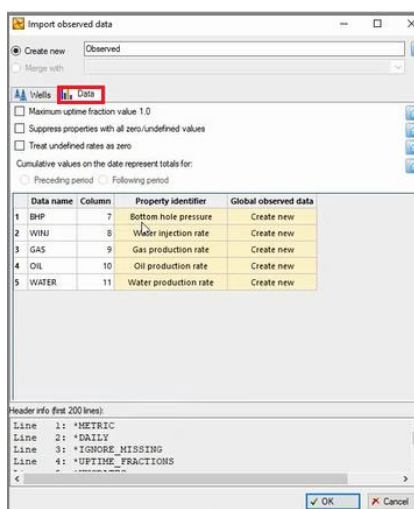
В появившемся диалоговом окне **Import file** установите тип данных **Well observed data (ASCII)(\*.vol)** и выберите файл **hist.vol**. Нажмите **Открыть**.



Далее выйдет диалоговое окно **Import observed data**, в котором необходимо снова проверить соответствие между загружаемыми и существующими названиями скважин. Исправьте проигнорированные скважины **40\_BB** и **56\_tur**, как это было сделано ранее.



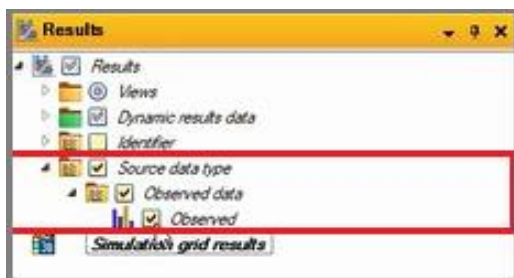
Перейдите во вкладку **Data** диалогового окна и проверьте правильность определения Petrel типов данных каждой колонки. Нажмите **OK**.



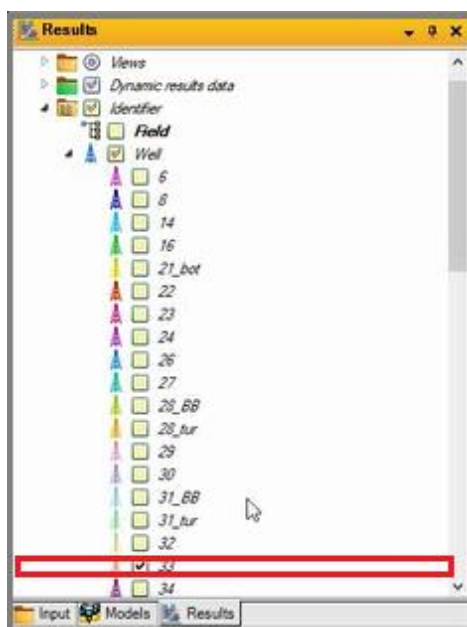
Загруженные данные теперь хранятся во вкладке **Results** проекта. (Если такая вкладка отсутствует, зайдите во вкладку **Home**, расположенную в верхней панели, выберите **Panes**, затем **Results**).



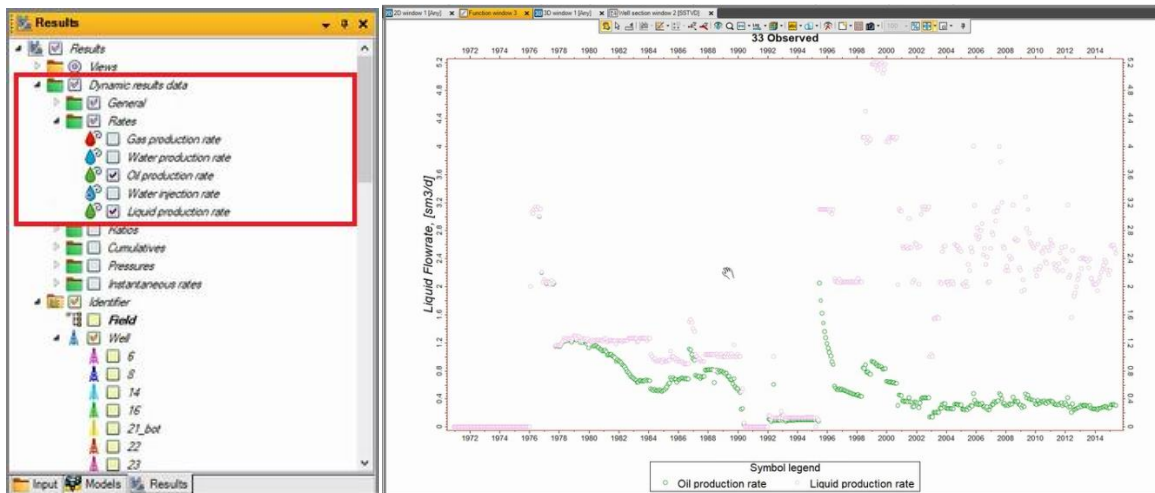
Для визуализации данных необходимо открыть окно **Function window** (Home – Window – Function window). Теперь выберем данные, которые будем визуализировать. В первую очередь нужно выбрать тип отображаемых данных, для этого в окне **Results** раскройте папку **Source data type**, затем раскройте **Observed data** и поставьте галочку напротив **Observed**. Таким образом, мы выбрали для отображения наблюдаемые данные (фактические).



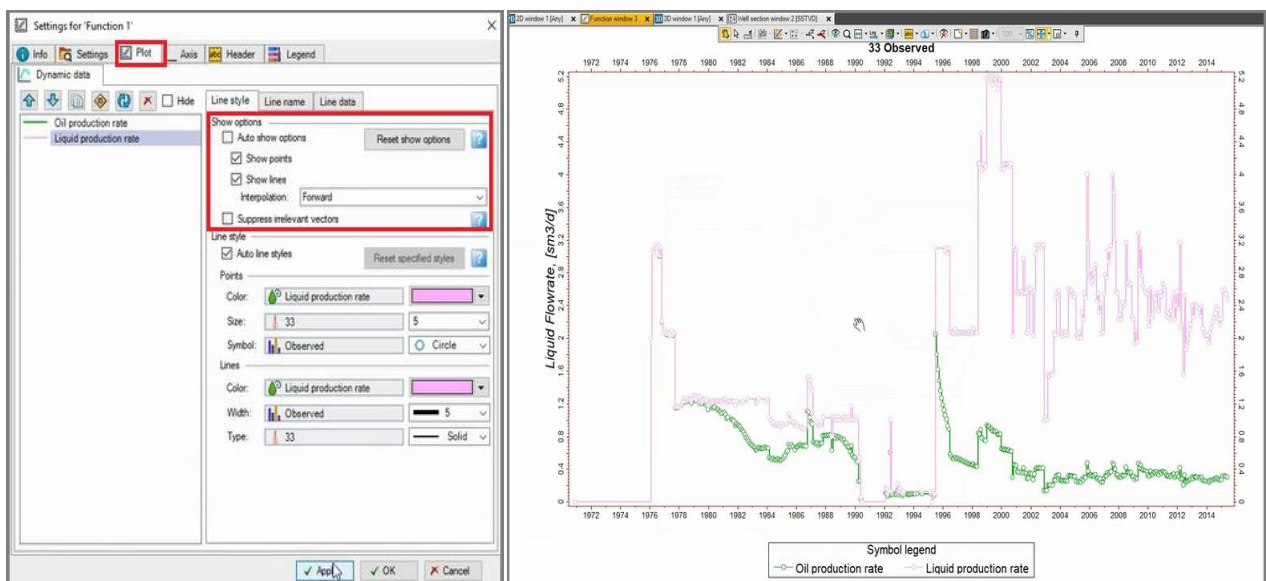
Попробуем для начала визуализировать данные для одной из скважин. Раскройте папку **Identifier**, находящуюся также в **Results**, и поставьте галочку напротив, к примеру, **33** скважины из вкладки **Wells**.



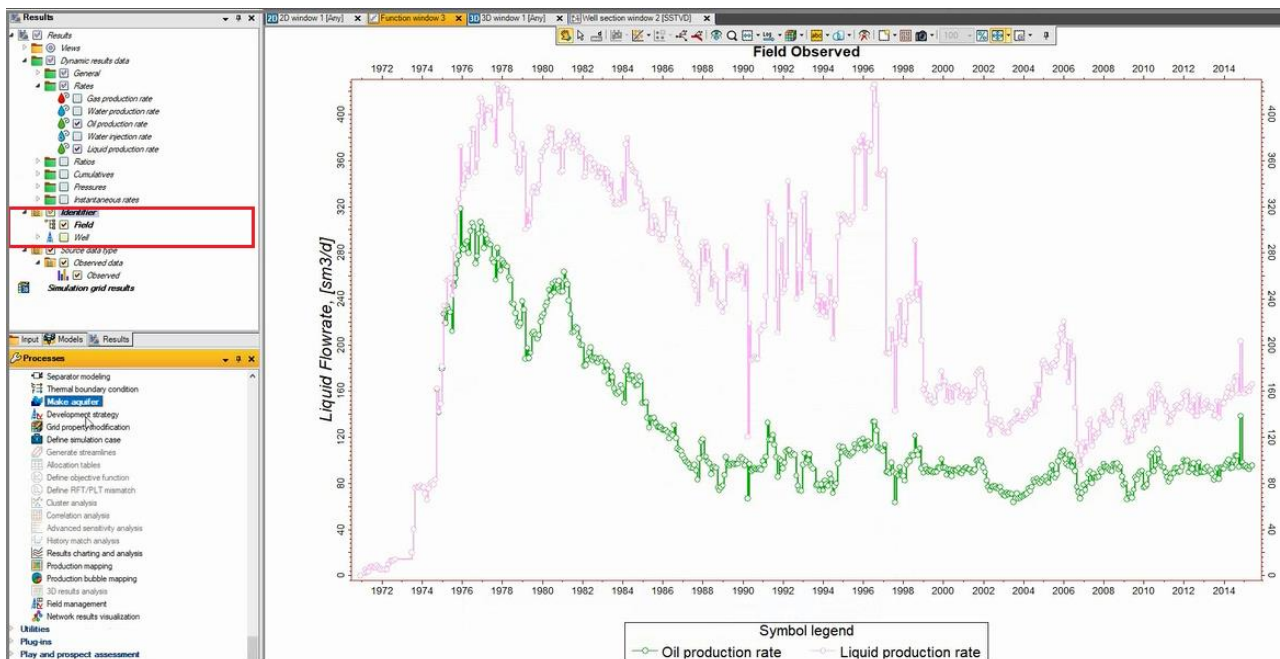
Далее выберем в качестве параметров для визуализации дебит нефти и жидкости. Для этого зайдите в папку **Dynamic results data**, раскройте в ней вкладку **Rates** и поставьте галочки напротив **Oil production rate** и **Liquid production rate**. В окне визуализации Function window получим следующее изображение:



Для удобства восприятия теперь изменим настройки отображения данных. Настройки отображения (**Settings for 'Function 1'**) можно вызвать, дважды щелкнув в области окна Function window. В диалоговом окне перейдите во вкладку **Plot**, выберите из списка ниже для изменения настройки визуализации **Oil production rate**, во вкладке **Line style** в разделе **Show options** уберите галочку с **Auto show options** и поставьте галочки возле **Show points** и **Show lines**. Нажмите **Apply**. Таким образом, данные будут теперь отображаться соединенными линией точками. Аналогично настройте отображение у данных **Liquid production rate**. Дополнительно в разделе Line style можно поменять цвет линий. Нажмите **OK**.



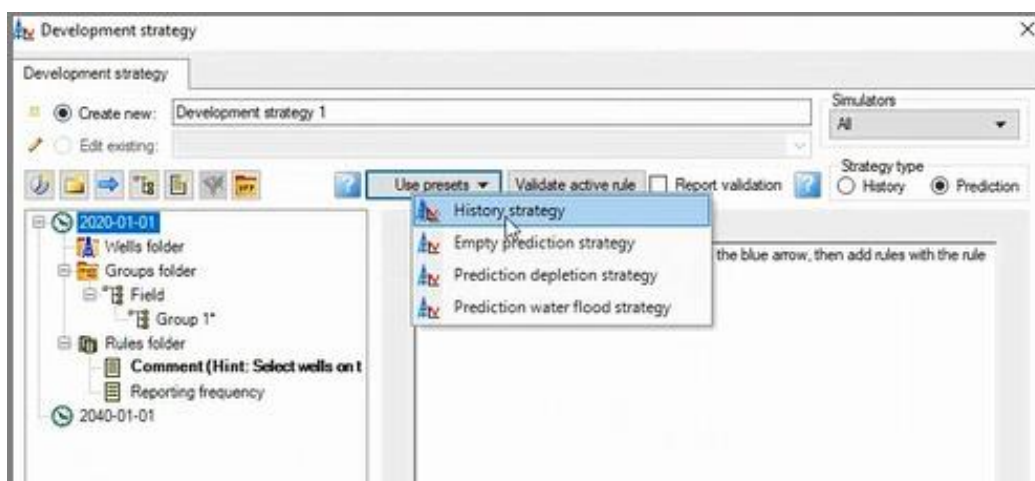
Для того, чтобы отобразить дебит нефти и жидкости не для отдельной скважины, а для всего месторождения, нужно во вкладке **Results**, в папке **Identifier** убрать галочку у скважин (**Wells**) и поставить галочку на **Field** (все месторождение). При этом аналогично можно изменить настройки отображения в Function window на точки с линиями, как это было сделано выше.



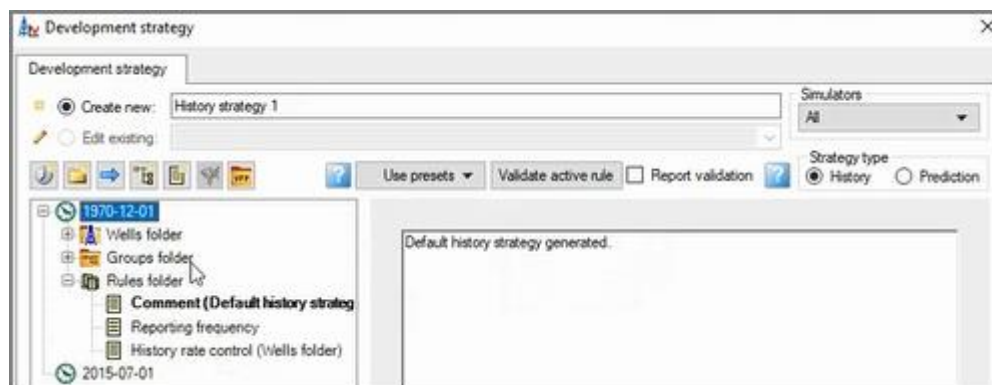
Далее перейдем к заданию режимов работы скважин для расчета ГДМ на историю. Для этого перейдите во вкладку **Processes**, раскройте набор опций **Simulation** и выберите двойным щелчком **Development strategy** из списка.



В появившемся диалоговом окне нажмите на вкладку **Use presets** и выберите из предлагаемого списка стратегий **History strategy**. Данная опция позволяет в Petrel создать историческую стратегию работы скважин.

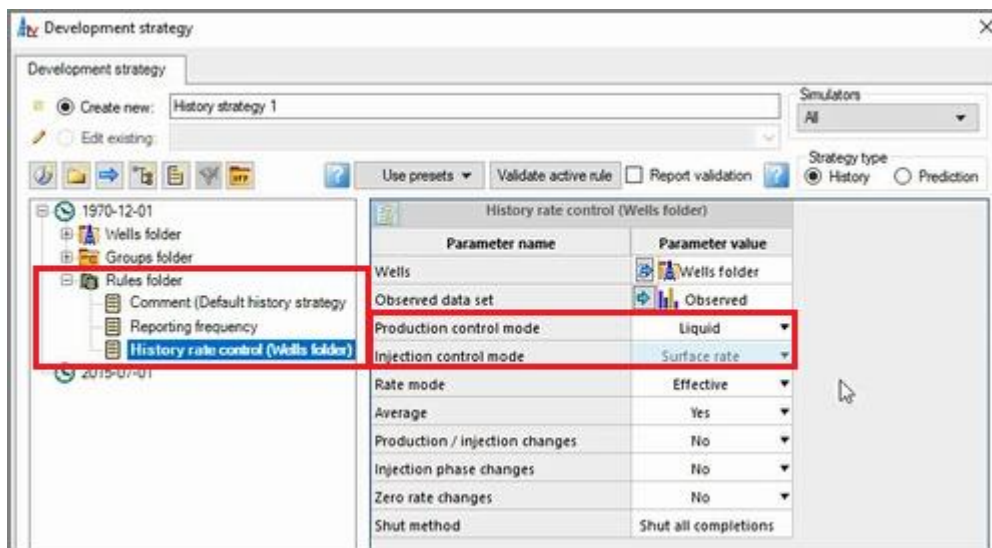


Petrel автоматически добавит все скважины и данные по ним в колонку, которую вы видите слева.

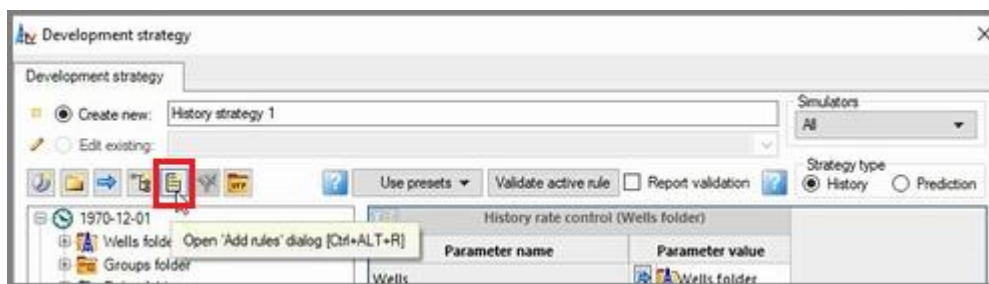


Далее зададим режимы работы скважин (Production и Injection control mode). Для этого нужно раскрыть папку **Rules folder** в диалоговом окне, выбрать **History rate control (Wells folder)** из списка. Petrel автоматически добавил все скважины (Wells folder), которые есть в модели, и определил наблюдаемый набор данных (Observed).

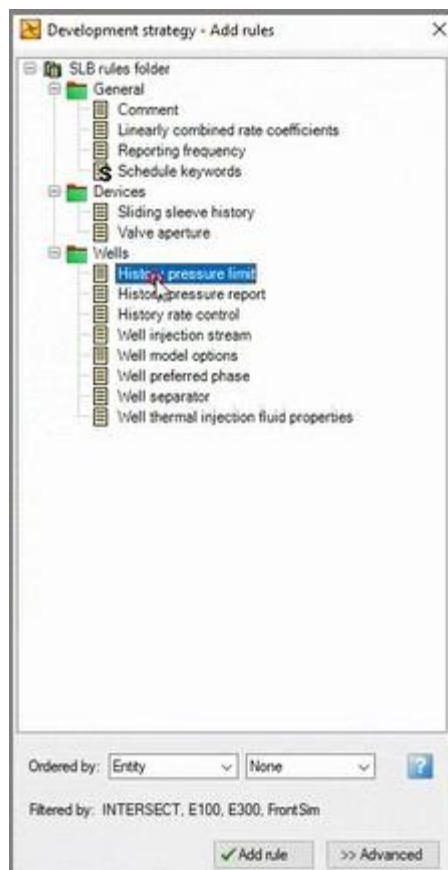
С использованием загруженной истории работы скважин предлагается также задать контрольные параметры по добывающим и нагнетательным скважинам. Для добывающих скважин установим контроль по жидкости. Для этого напротив параметра **Production control mode** выберите из списка **Liquid**. Это значит, что каждая добывающая скважина в модели будет стремиться добыть то же самое количество жидкости, которое она добывала в действительности на протяжении истории ее работы. Для **Injection control mode** (нагнетательные скважины) выберем контроль **Surface rate** из ниспадающего списка. Это значит, что нагнетательная скважина будет стремиться закачать в пласт такое же количество жидкости, которое нагнеталось в действительности за время истории ее работы.




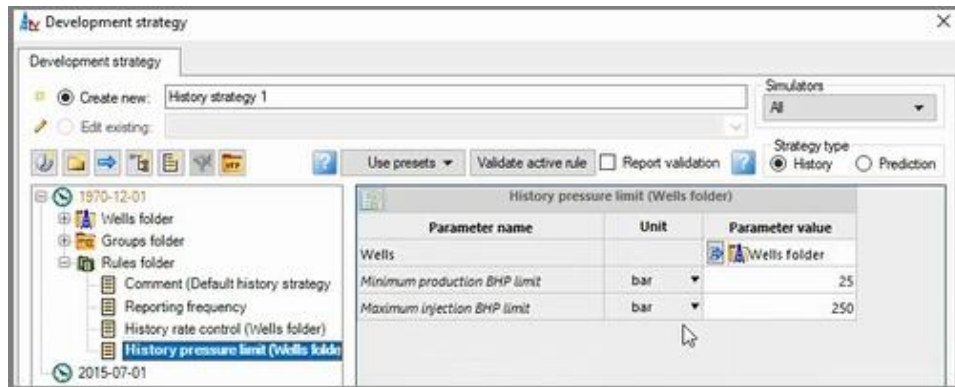
Достижение требуемого дебита в симуляторе осуществляется путем изменения забойного давления. Чтобы ограничить пределы изменения забойного давления в рамках допустимого, необходимо задать дополнительное условие по контролю ВНР. Для этого нажмите кнопку **Open 'Add rules' dialog**.



В появившемся диалоговом окне **Development strategy – Add rules** из папки **Wells** выберите двойным щелчком **History pressure limit**. Затем диалоговое окно о добавлении правила можно закрыть.

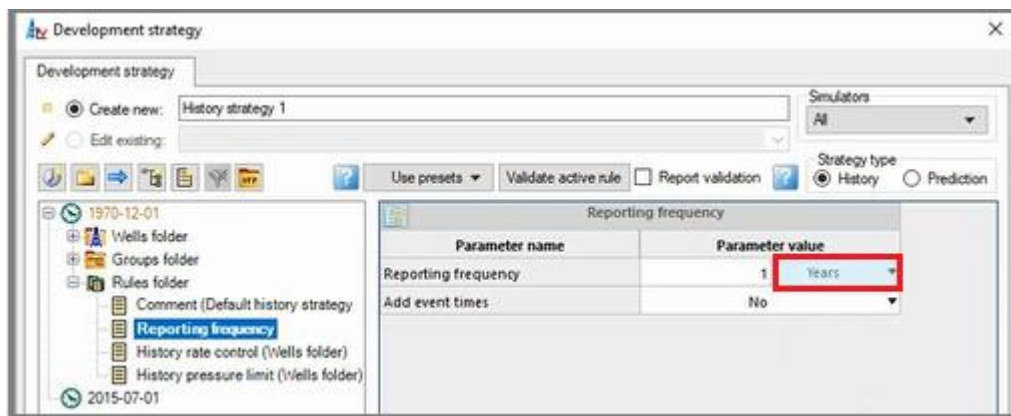


После этого в папке правил (Rules folder) появилось новое – **History pressure limit**. Нажмите на него левой кнопкой мыши. В таблице параметров по новому правилу необходимо задать скважины, для этого сначала левой клавишей мыши выберите из колонки слева **Wells folder**, а затем нажмите стрелку  под **Parameter value**. Затем задайте минимальное забойное давление (**Minimum production BHP limit**) 25 бар, чтобы не позволить скважинам опускаться ниже давления насыщения, а максимальное (**Minimum production BHP limit**) – 250 бар, чтобы не превысить давления гидроразрыва пласта. После этого переключитесь в папке Rules folder на какое-либо другое правило, например, **History rate control (Wells folder)** для того, чтобы исчезла ошибка у нового правила.

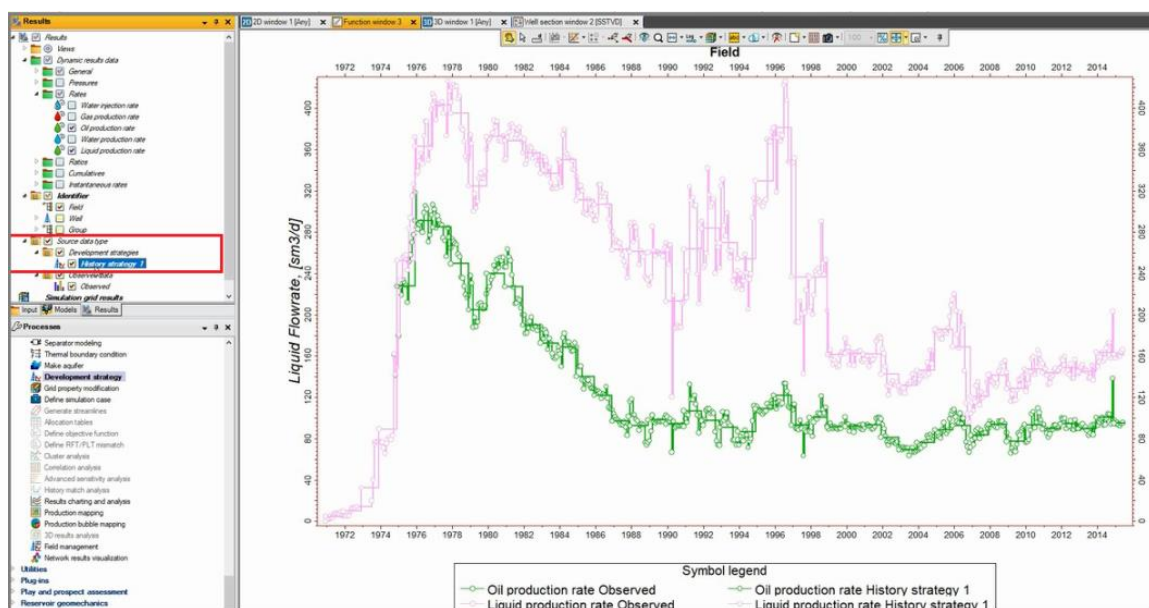


Таким образом, мы создали все правила, которые позволят симулятору контролировать и задавать режимы работы скважин в процессе расчета модели на историю.

В папке **Rules folder** через правило **Reporting frequency** можно задать частоту, с которой симулятор будет считать дебиты скважин и обновлять кубы давления и насыщенности, т.е. установить временной шаг расчета модели. В рамках данного курса выберите шаг (**Parameter value**), равный 1 году (**Years**). Нажмите **OK**.



Созданную стратегию **History strategy 1** можно найти во вкладке **Results**. Раскройте папку **Source data type**, затем **Development strategies**. Откройте окно визуализации **Function window**, в котором ранее мы отображали наблюдаемые данные по всему месторождению и поставьте галочку напротив **History strategy 1**. Созданная стратегия описывает фактическую работу скважин.





Информация, которая хранится в стратегии, является основной для формирования секции SCHEDULE data-файла гидродинамической модели в формате ECLIPSE.

\* \* \*

***Контрольные вопросы к разделу 6***

***«6. Задание информации о работе скважин. Секция SCHEDULE»:***

- 1) Какие исторические данные необходимо загрузить для задания работы скважин?
- 2) Каким образом реализовано отображение истории работы скважин?
- 3) Какой процесс в Petrel позволяет создать режимы работы скважин для расчета на историю?
- 4) Какие контроли скважин были заданы для расчета на историю?
- 5) Как задается временной шаг расчета в Petrel?

## 7. Создание кейса гидродинамической модели

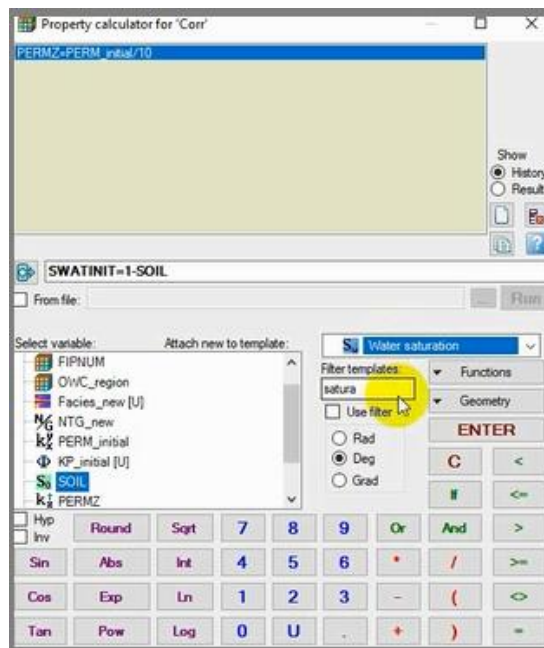
Для инициализации гидродинамической модели будет использоваться куб начальной водонасыщенности SWATINIT, который необходимо создать на основе имеющегося куба нефтенасыщенности SOIL.

Во вкладке **Models** в списке **Properties** выберите куб **SOIL** и вызовите калькулятор (Calculator), нажав правой кнопкой мыши.

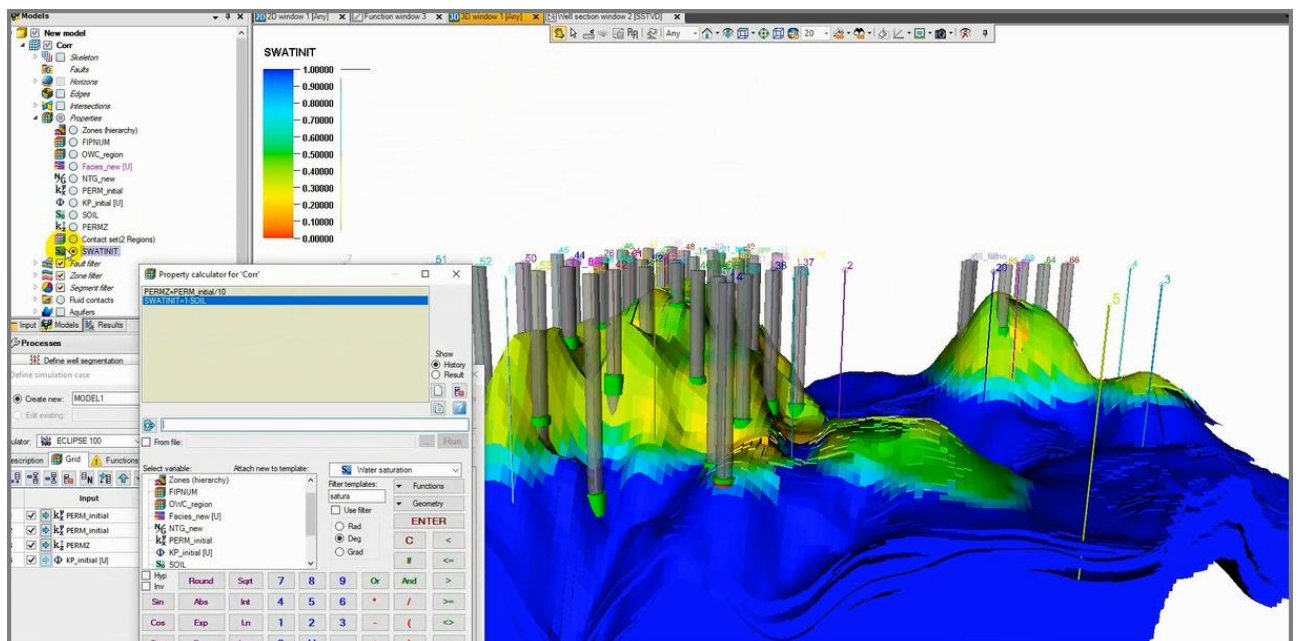


В окне **Property calculator for 'Corr'** наберите выражение **SWATINIT=1-SOIL**, в котором **SOIL** выберите из списка **Select variable**. Также нужно установить шаблон для нового куба. Для этого в списке **Attach new to template** выберите **Water saturation**. Нажмите **ENTER**. Калькулятор можно закрыть.



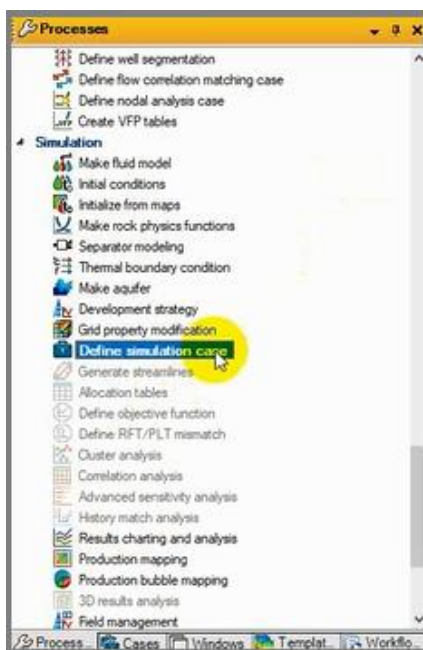


В списке **Properties** вкладки **Models** появится новый куб **SWATINIT**. Синим цветом обозначено значение водонасыщенности, равное 1, желтым – меньше 1.




На данный момент используемый проект Petrel имеет достаточный набор данных для создания кейса гидродинамической модели.

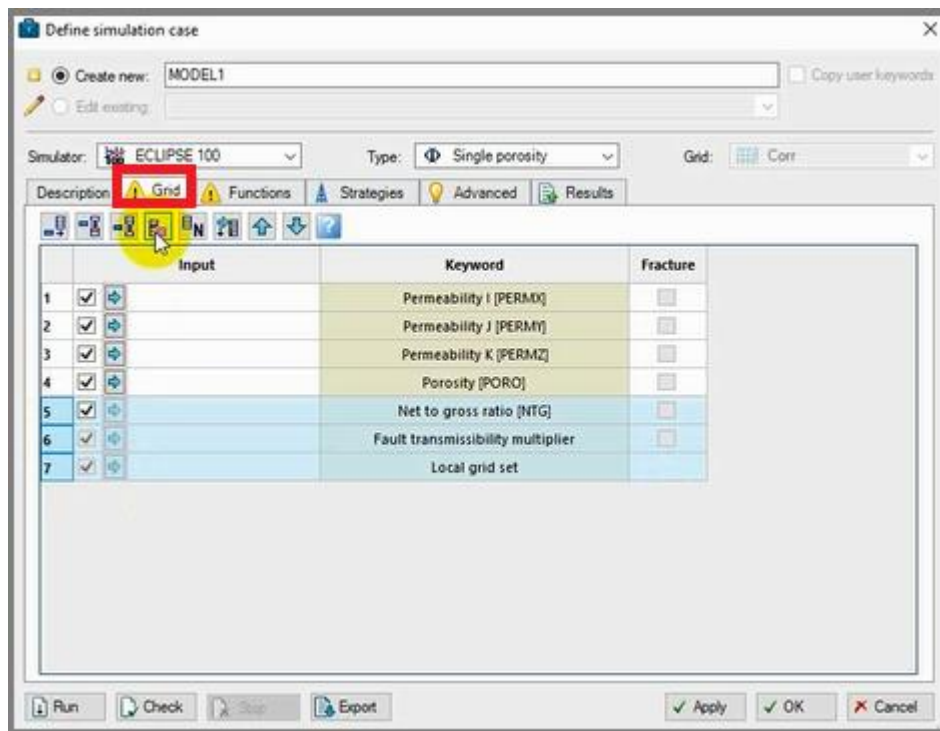
Для создания кейса ГДМ перейдите во вкладку **Processes**, раскройте набор операций **Simulation** и двойным щелчком выберите **Define simulation case**.



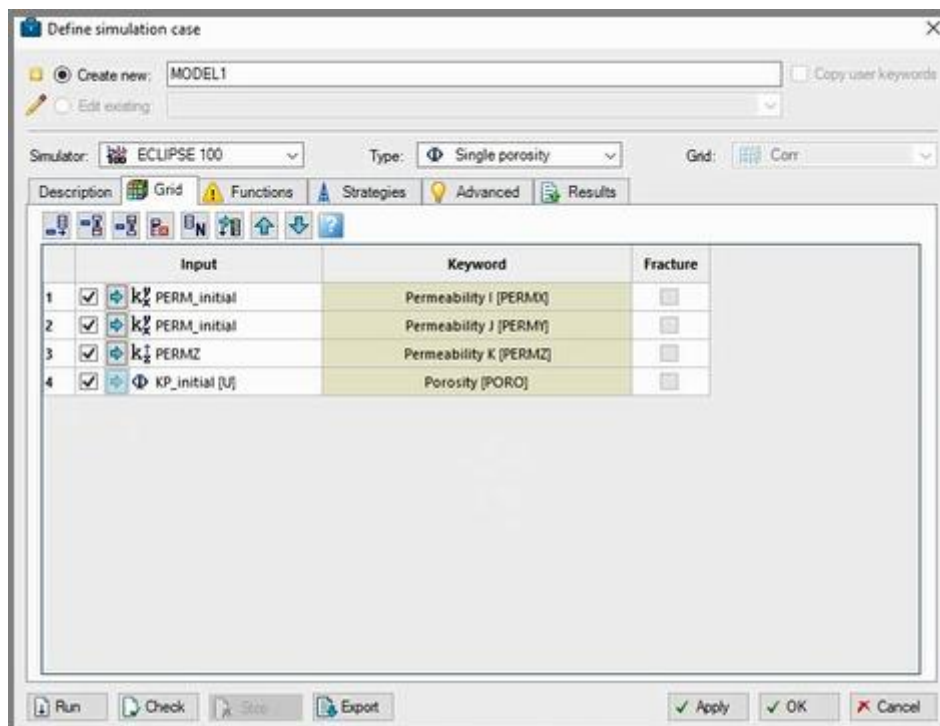
В появившемся диалоговом окне **Define simulation case** в первую очередь задайте имя кейса, как **MODEL1** в строке **Create new**. Обратите внимание, название не должно содержать пробелов и знаков препинания. Далее проверьте, что в качестве **Simulator** указан **ECLIPSE 100**, **Type** задан как **Single porosity** (создается модель **Black Oil** в формулировке **dead oil**).



Далее перейдите во вкладку **Grid** диалогового окна. Выделите параметры **Net to gross ratio (NTG)**, **Fault transmissibility multiplier**, **Local grid set** и удалите их, нажав кнопку **Delete selected row(s) in the table**  в верхней части окна. В данном случае, предполагается, что куб NTG имеет значение 1 для ячеек коллектора.



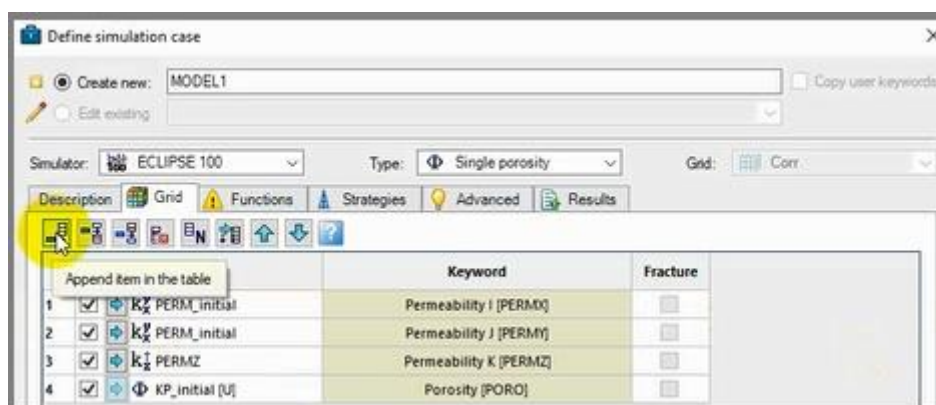
Таким образом, мы оставили минимальный набор параметров в секции GRID для запуска ГДМ: ключевые слова (Keywords) Permeability (PERMX), Permeability (PERMY), Permeability (PERMZ), т.е. абсолютные проницаемости, и Porosity (PORO), т.е. пористость. Необходимо связать ключевые слова с соответствующими моделями из вкладки **Models**. Из вкладки **Models**, в разделе **Properties** выделите куб **PERM\_initial** и добавьте его в диалоговое окно напротив строк **Permeability (PERMX)**, **Permeability (PERMY)**, нажав на стрелку . Напротив ключевого слова **Permeability (PERMZ)** аналогичным образом добавьте куб **PERMZ**, а напротив **Porosity (PORO)** добавьте куб **KP\_initial [U]**.



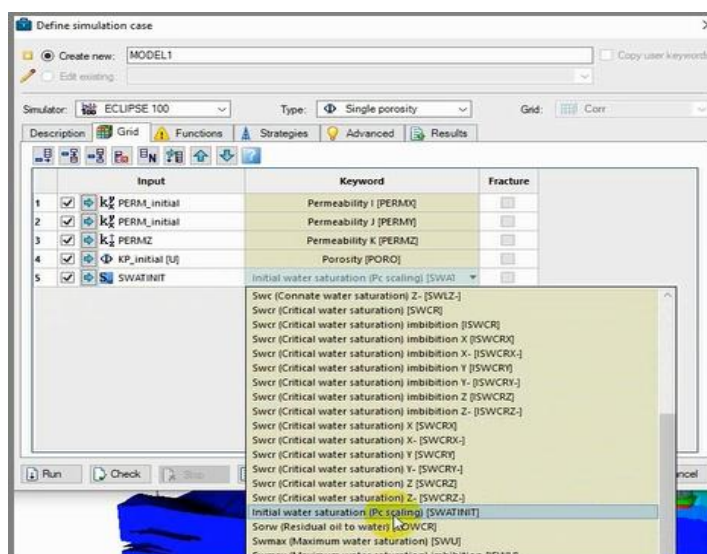
К полученному списку кубов необходимо добавить также куб начальной водонасыщенности, который будет использоваться для масштабирования кривой капиллярного давления с целью

сохранения насыщенности, отвечающей кубу SOIL. Обратите внимание, в data-файле ГДМ куб SWATINIT не будет относиться к секции GRID.

В диалоговом окне **Define simulation case** добавьте новую строку, нажав в верхней левой части экрана **Append item in the table**.



Появится 5 строка списка. Перенесите сюда из вкладки **Models** раздела **Property** новый куб начальной водонасыщенности **SWATINIT**, как это делали с другими кубами выше. Далее необходимо задать ключевое слово (**Keyword**) для добавленного куба, выберите из списка **Initial water saturation (Pc scaling) [SWATINIT]**.



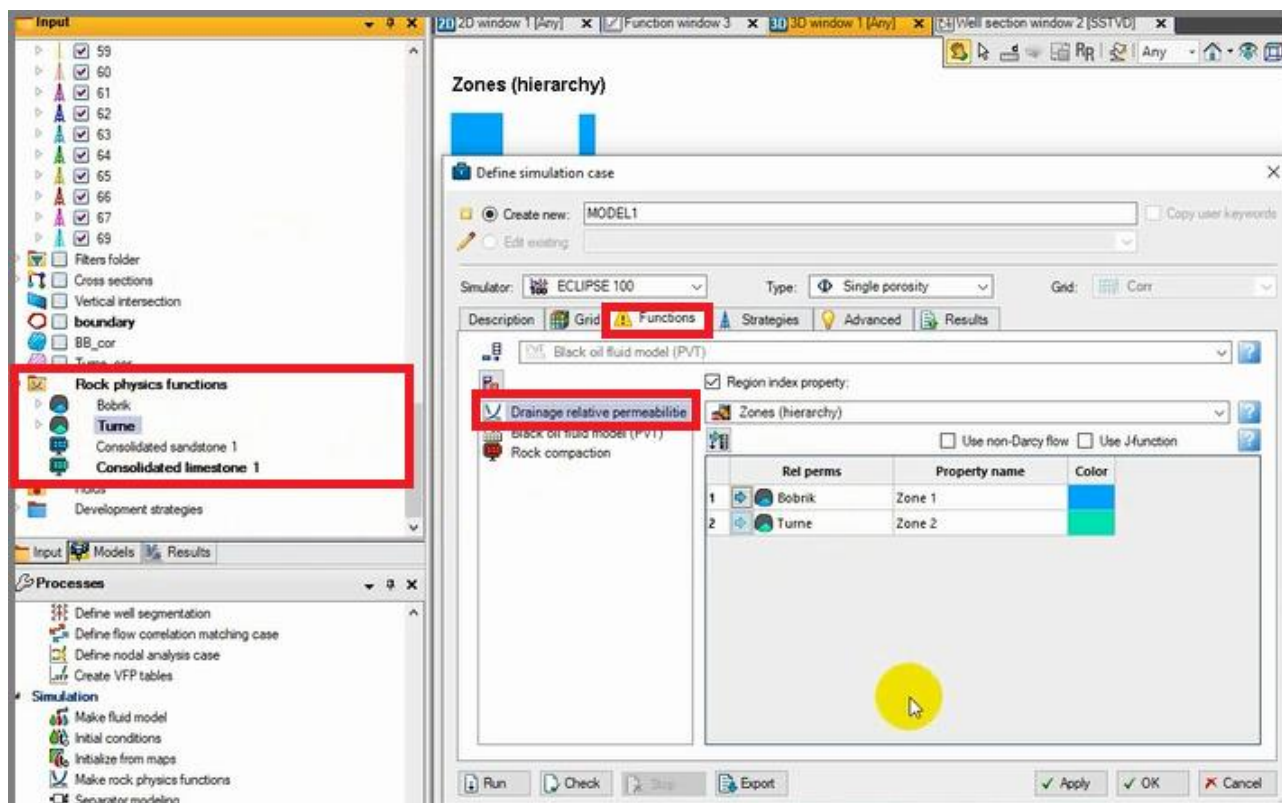
Также, добавьте еще одну пустую (шестую) строку во вкладке **Grid** и заполните ее папкой **Aquifers**, расположенной во вкладке **Models**.

Далее перейдите в следующую вкладку после **Grid** - **Functions** диалогового окна **Define simulation case**. В правой части диалогового окна отобразится список функций, которые можно задать.

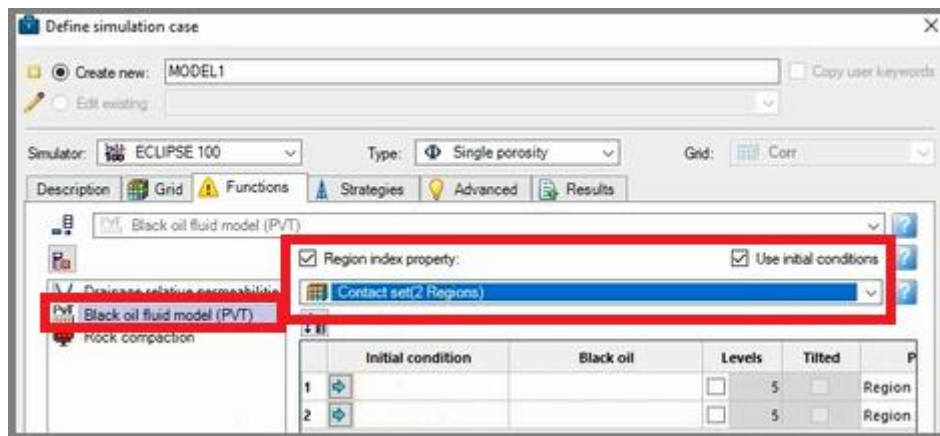



Для начала зададим функции относительной фазовой проницаемости. Для этого в списке справа щелкните левой кнопкой мыши на **Drainage relative permeability**. ОФП в нашей модели – региональный параметр, поскольку отличается для бобриковских и турнейских отложений, поэтому необходимо поставить галочку напротив **Region index property** и выбрать в качестве признака, по которому есть различия **Zones (hierarchy)** из списка ниже.

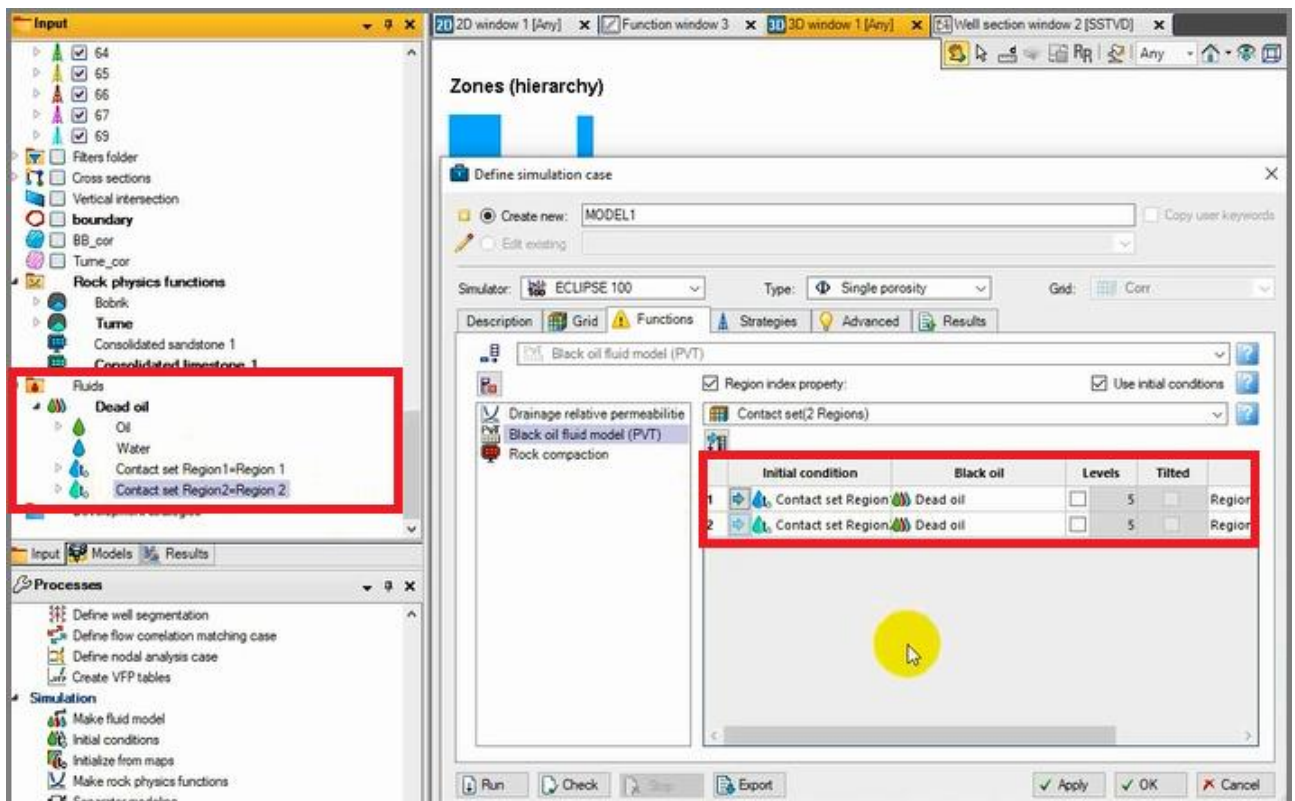
В появившейся таблице ниже для Zone 1 нужно добавить ОФП по бобриковским отложениям, для Zone 2 – ОФП по турнейским. Для этого перейдите во вкладку **Input** выберите из списка **Rock physics functions** и выделите левой кнопкой мыши из этой папки **Bobrik**, для добавления к **Zone 1** нажмите стрелку . Аналогично добавьте **Turne** для **Zone 2**.




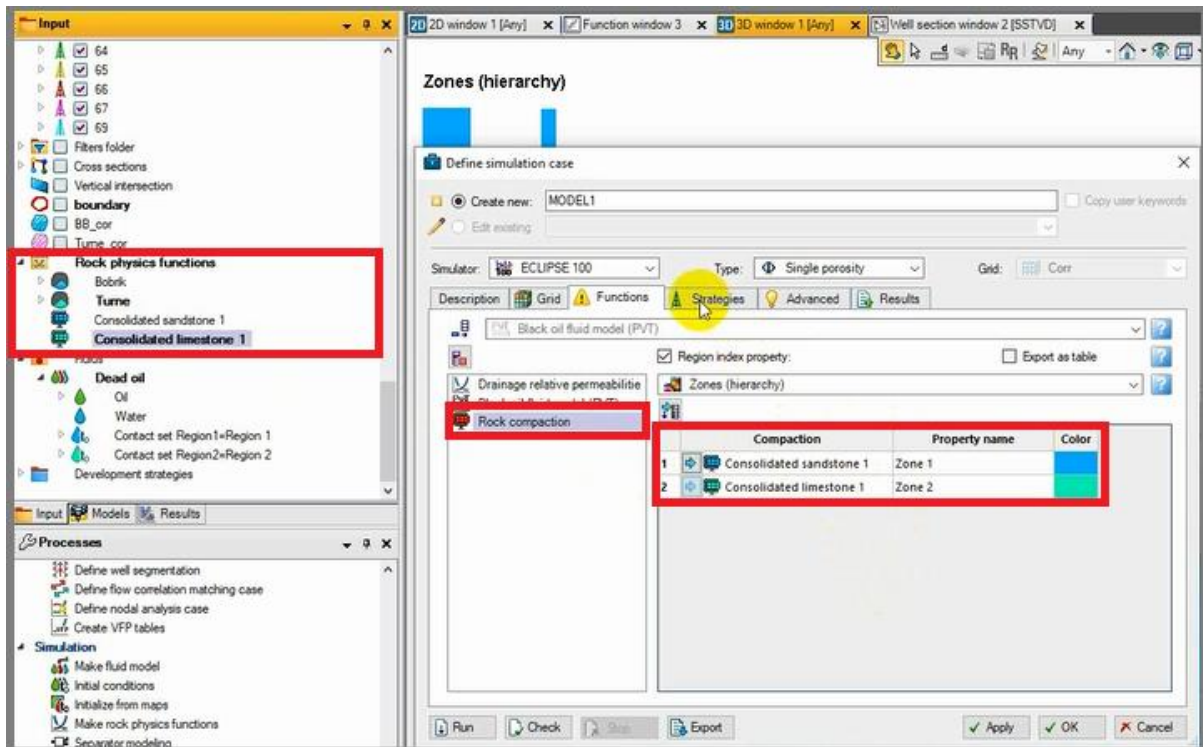
Следующим шагом будет задание модели флюида. Для этого нажмите на **Black oil fluid models (PVT)** в списке функций. Появится таблица, в которой можно задать начальные условия (Initial condition). Как и ОФП, начальные условия также являются региональным свойством, поэтому аналогично поставьте галочку у **Region index property**. Но теперь в качестве региона, нужно задать **Contact set (2 regions)**. Убедитесь также, что поставлена галочка возле **Use initial conditions**.



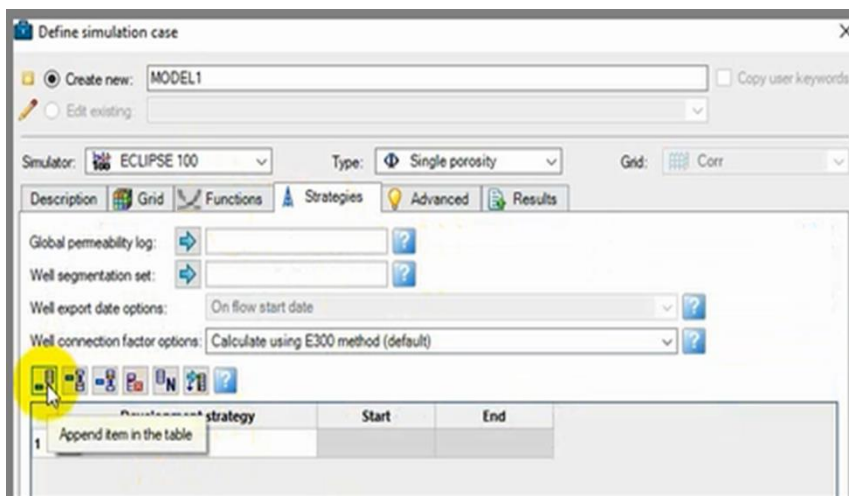
Модели флюида находятся во вкладке **Input**, в разделе **Fluids**, в папке **Dead oil**. Левой кнопкой мыши выделите из списка моделей **Contact set Region 1=Region 1** и нажмите стрелку  в таблице задания начальных условий. Добавьте аналогично второе начальное условие - **Contact set Region 2=Region 2**.




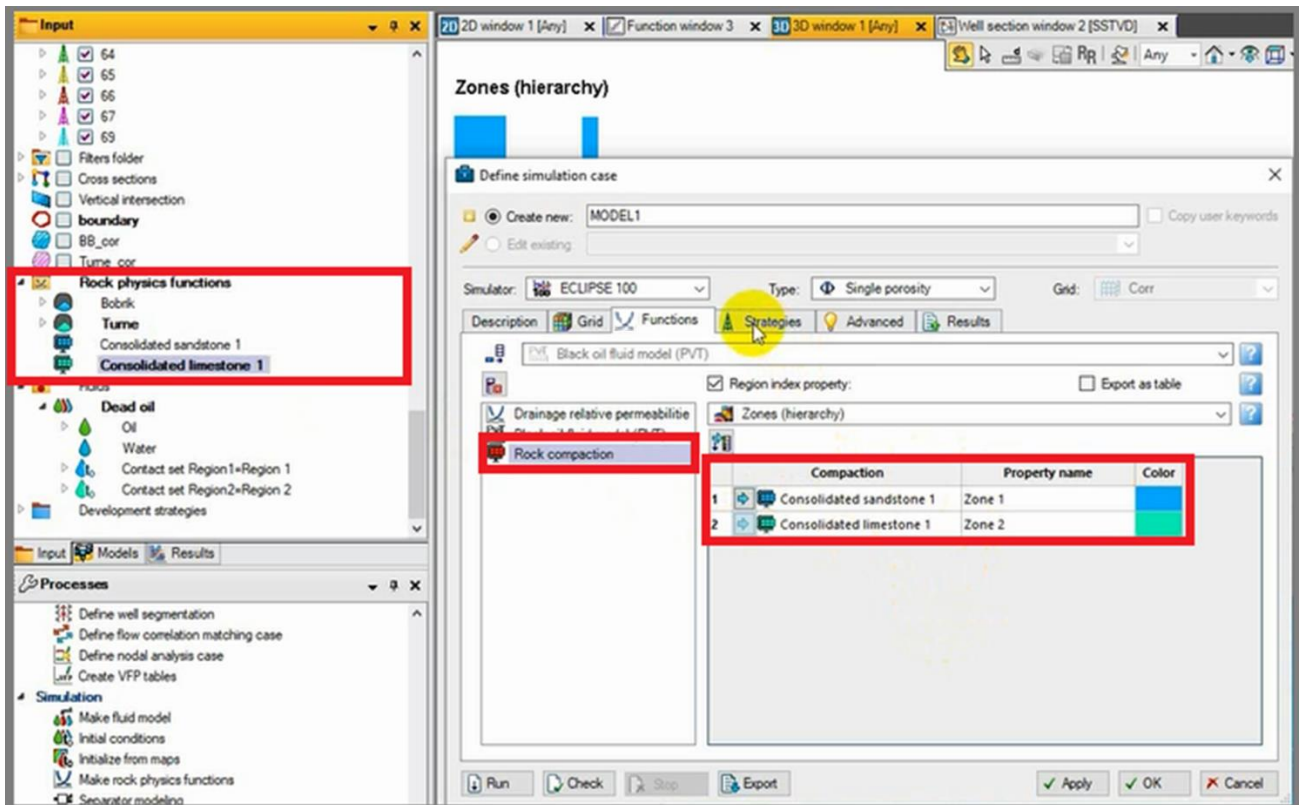
Теперь перейдем к заданию параметров сжимаемости породы, для этого выберите из списка функций **Rock compaction**. Сжимаемость породы тоже является региональным свойством, поэтому поставьте галочку **Region index property** и выберите в качестве признака, по которому идут различия **Zones (hierarchy)**. Информация о сжимаемости пород хранится во вкладке **Input**, в папке **Rock physics functions** – **Consolidated sandstone 1** (сжимаемость песчаника) и **Consolidated limestone 1** (сжимаемость известняка). Поочередно выделите левой кнопкой мыши эти свойства и нажмите стрелку  для добавления в таблицу **Compactions**.



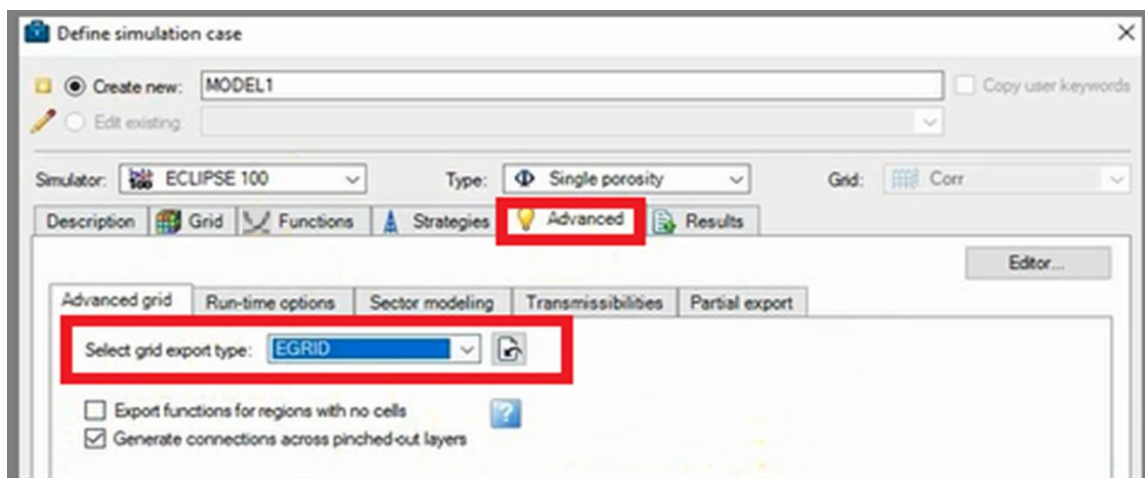
Перейдем в следующую вкладку диалогового окна – **Strategies**. В этом окне предлагается задать режим работы скважин (Development strategy). Для начала добавим строку в таблицу. Для этого нажмите в верхнем левом углу диалогового окна кнопку **Append item in the table**.



Историческая стратегия разработки скважин **History strategy 1** хранится в папке **Development strategies** раздела **Properties** вкладки **Input**. Левой клавишей мыши выделите **History strategy 1** и нажмите стрелку  в таблице **Development strategies**.



Далее переходим в следующую вкладку диалогового окна **Define simulation case - Advanced**. В разделе **Select grid export type** выберите **EGRID**. Оставьте диалоговое окно **Define simulation case** открытым.

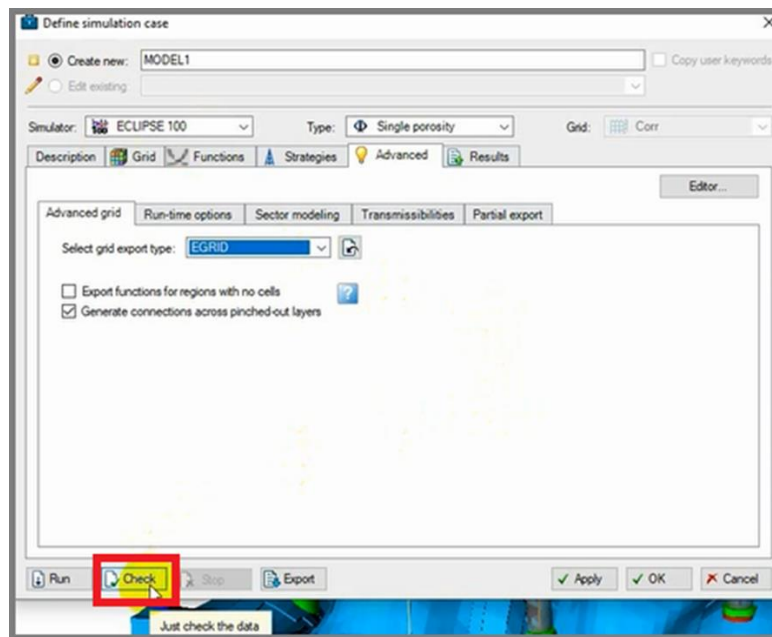


После всех проделанных операций сохраните **проект**.

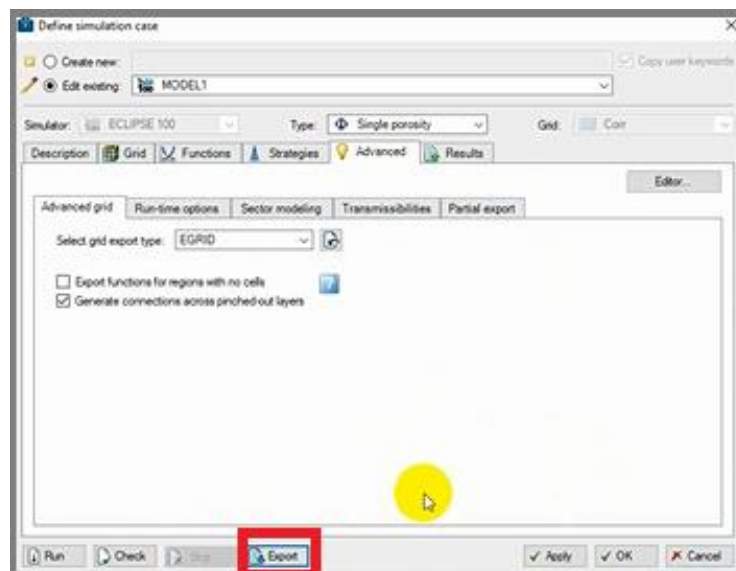


После того, как проект был сохранен, можно проверить введенные данные, нажав на кнопку **Check** внизу диалогового окна.

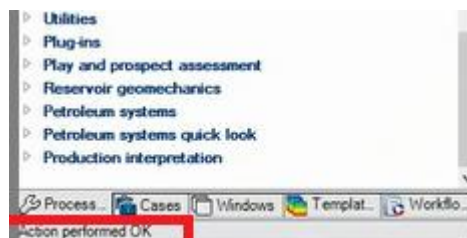




Если Petrel не выдал никаких предупреждений, нажмите на клавишу **Export**.



После того, как экспорт завершится, в нижнем левом углу появится надпись **Action performed OK**.



Кейс с экспортированной ГДМ сохранился в исходной папке *ResSim\_Petrel\_1* под названием **ResSim\_1.sim**.



\* \* \*

***Контрольные вопросы к разделу 7***

***«7. Создание кейса гидродинамической модели»:***

- 1) Какой процесс в Petrel позволяет создать кейс гидродинамической модели?
- 2) Какие из задаваемых свойств имеют региональный характер?
- 3) Какие данные задаются во вкладке Functions в процессе Define simulation case?
- 4) Куда сохраняется кейс гидродинамической модели при экспорте из Petrel?
- 5) Какие данные задаются во вкладке Strategies в процессе Define simulation case?

## 8. Data-файл гидродинамической модели. Инициализация гидродинамической модели

На предыдущем шаге был создан кейс гидродинамической модели. В результате в исходной папке данных проекта *ResSim\_Petrel\_1* появилась папка *ResSim\_1.sim*, содержащая эту модель. Откройте эту папку.



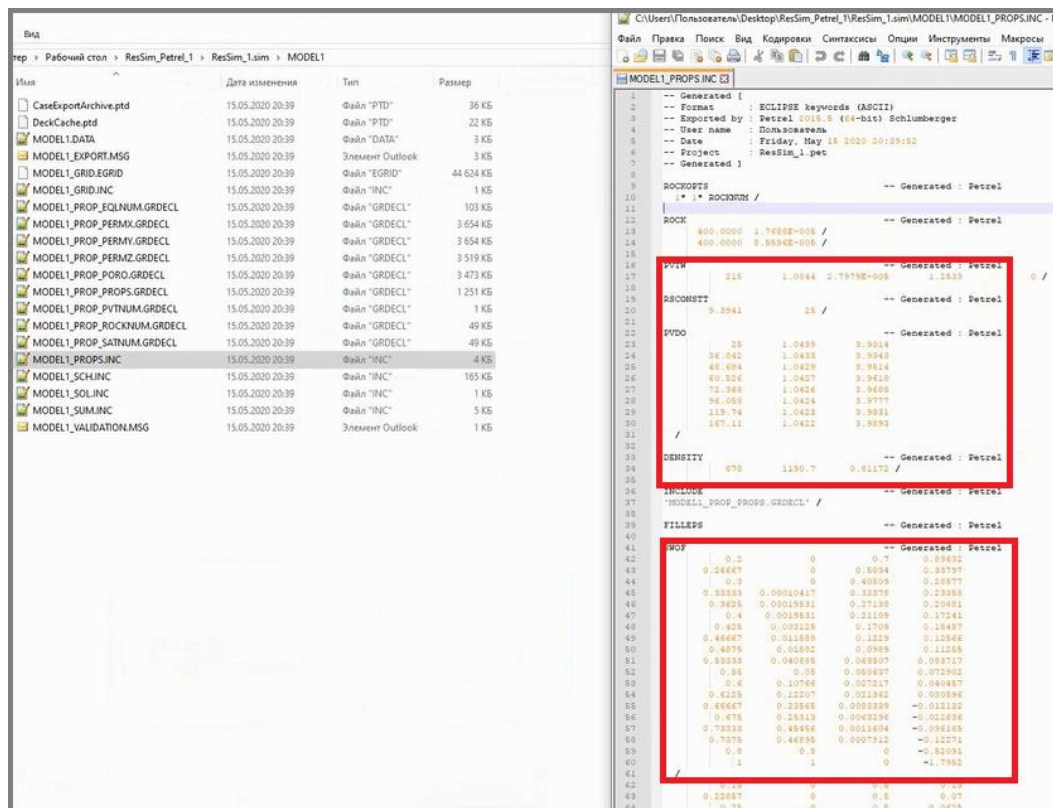
**MODEL1** – это папка с набором данных, относящихся к гидродинамической модели. Изучим содержимое этой папки.

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
CaseExportArchive.ptd	15.05.2020 20:39	Файл "PTD"	36 КБ
DeckCache.ptd	15.05.2020 20:39	Файл "PTD"	22 КБ
MODEL1.DATA	15.05.2020 20:39	Файл "DATA"	3 КБ
MODEL1_EXPORT.MSG	15.05.2020 20:39	Элемент Outlook	3 КБ
MODEL1_GRID.EGRID	15.05.2020 20:39	Файл "EGRID"	44 624 КБ
MODEL1_GRID.INC	15.05.2020 20:39	Файл "INC"	1 КБ
MODEL1_PROP_EQILNUM.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	103 КБ
MODEL1_PROP_PERMX.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	3 654 КБ
MODEL1_PROP_PERMY.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	3 654 КБ
MODEL1_PROP_PERMZ.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	3 519 КБ
MODEL1_PROP_PORO.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	3 473 КБ
MODEL1_PROP_PROPS.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	1 251 КБ
MODEL1_PROP_PVTNUM.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	1 КБ
MODEL1_PROP_ROCKNUM.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	49 КБ
MODEL1_PROP_SATNUM.GRDECL	15.05.2020 20:39	Файл "GRDECL"	49 КБ
MODEL1_PROPS.INC	15.05.2020 20:39	Файл "INC"	4 КБ
MODEL1_SCH.INC	15.05.2020 20:39	Файл "INC"	165 КБ
MODEL1_SOL.INC	15.05.2020 20:39	Файл "INC"	1 КБ
MODEL1_SUM.INC	15.05.2020 20:39	Файл "INC"	5 КБ
MODEL1_VALIDATION.MSG	15.05.2020 20:39	Элемент Outlook	1 КБ

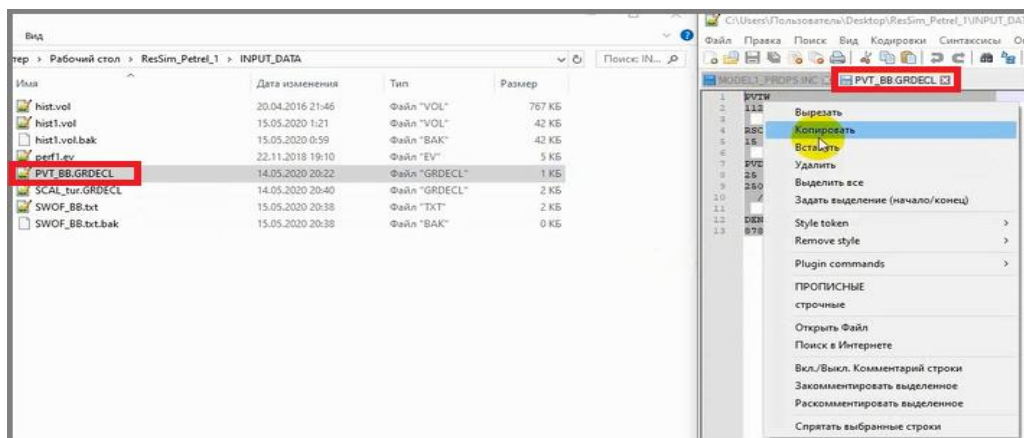
- MODEL1\_GRID.INC – файл, описывающий геометрию модели
- MODEL1\_GRID.EGRID – файл, содержащий геометрию модели, т.е. ее сетку
- MODEL1\_PROP\_EQILNUM.GRDECL, MODEL1\_PROP\_PVTNUM.GRDECL, MODEL1\_PROP\_ROCKNUM.GRDECL, MODEL1\_PROP\_SATNUM.GRDECL – кубы регионов
- MODEL1\_PROP\_PERMX.GRDECL, MODEL1\_PROP\_PERMY.GRDECL, MODEL1\_PROP\_PERMZ.GRDECL – кубы абсолютных проницаемостей
- MODEL1\_PROP\_PORO.GRDECL – куб пористости
- MODEL1\_PROPS.INC – файл секции PROPS, содержащий параметры флюидов и их взаимодействия с породой и включающий в себя ОФП, капиллярные давления
- MODEL1\_PROP\_PROPS.GRDECL – файл, содержащий куб начальной водонасыщенности, который используется для масштабирования кривых капиллярного давления для установления соответствия начального насыщения по модели с начальной насыщенностью, определенной при геологическом моделировании
- MODEL1\_SCH.INC – файл секции SCHEDULE, содержащий информацию о скважинах
- MODEL1\_SOL.INC - файл секции SOLUTION, который содержит информацию о начальном состоянии залежи, в т.ч. ВНК и водонапорные горизонты.

- **MODEL1\_SUM.INC** – файл, содержащий информацию, представляющую собой запрос пользователя на типы данных, которые модель выводит в процессе расчета.

Перед тем, как приступить к инициализации модели, необходимо внести изменения в файл **MODEL1\_PROPS.INC**. Двойным щелчком откройте файл **MODEL1\_PROPS.INC** из папки **MODEL1**. Данные, которые необходимо заменить вручную, обведены красным на рисунке ниже. Это ключевые слова **PVTW**, **RSCONSTT**, **PVDO**, **DENSITY**, а также ОПФ бобриковского горизонта.

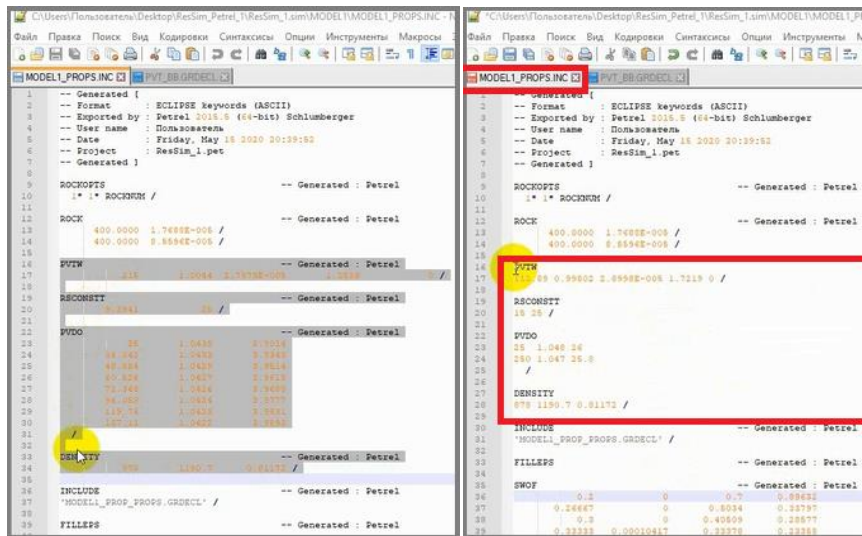


Вернитесь к исходной папке данных **ResSim\_Petrel\_1**, откройте далее папку **INPUT DATA** и двойным щелчком раскройте файл **PVT\_BB.GRDECL**. Выделите и скопируйте (ctrl+C) содержимое файла, как показано на рисунке.

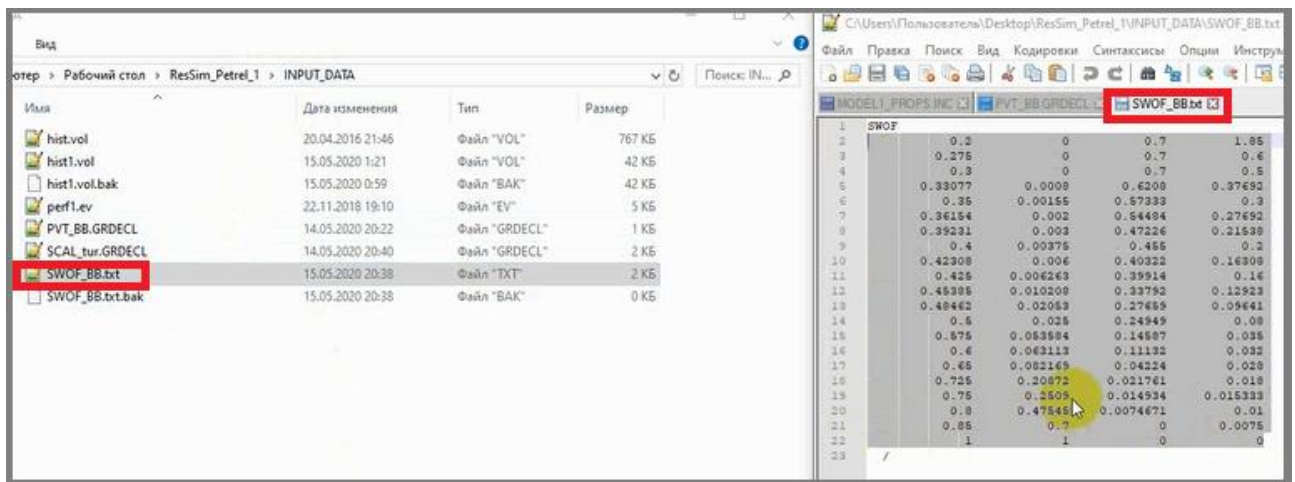


Этими данными мы заменим соответствующее содержимое файла **MODEL1\_PROPS.INC**. Снова откройте файл **MODEL1\_PROPS.INC**.

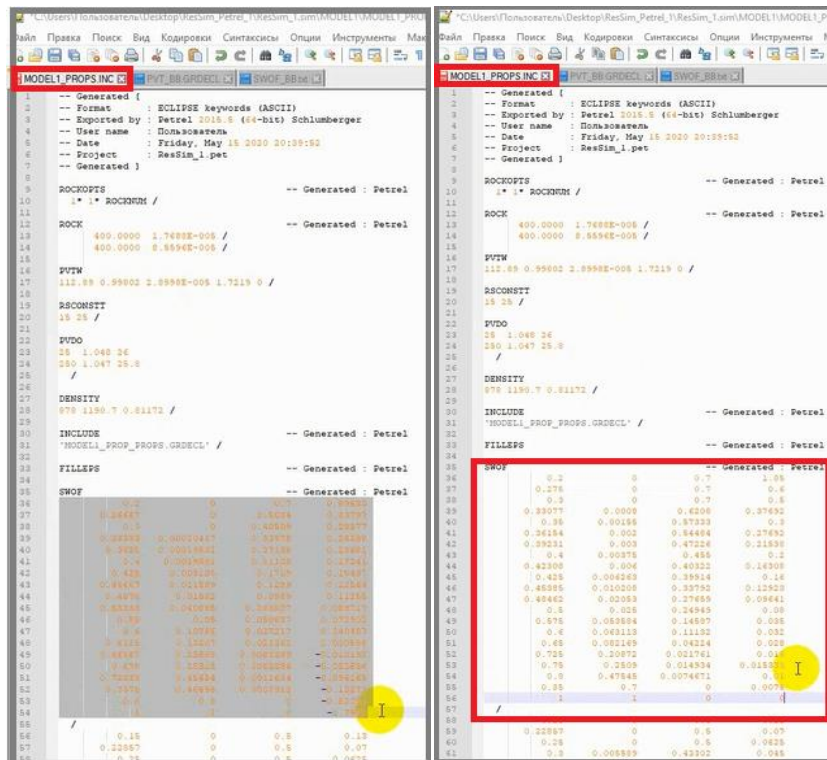
Выделите и удалите, нажав клавишу delete, ключевые слова PVTW, RSCONSTT, PVDO, DENSITY и данные, относящиеся к ним, из файла **MODEL1\_SCH.INC**, как на рисунке слева. Вставьте скопированные из **PVT\_BB.GRDECL** данные. Должен получиться результат, как на рисунке справа. **Важно!** Проследите, чтобы между ключевыми словами и их данными не было лишних пробелов, а также было соблюдено количество знаков «/».



Аналогично заменим информацию под ключевым словом SWOF для первого региона (бобриковские отложения). Для этого откройте исходную папку с данными **ResSim\_Petrel\_1**, откройте далее папку **INPUT DATA** и двойным щелчком раскройте файл **SWOF\_BB.txt**. Выделите и скопируйте (ctrl+C) содержимое файла, как показано на рисунке. Обратите внимание, последнюю строчку с “/” не нужно копировать.



Вернитесь к файлу **MODEL1\_SCH.INC**. Выделите и удалите, нажав клавишу delete, информацию под ключевым словом SWOF, относящуюся к бобриковским отложениям (смотрите левый рисунок ниже). Затем вставьте (ctrl+v) скопированные из **SWOF\_BB.txt** данные. Должно получиться, как на рисунке справа.



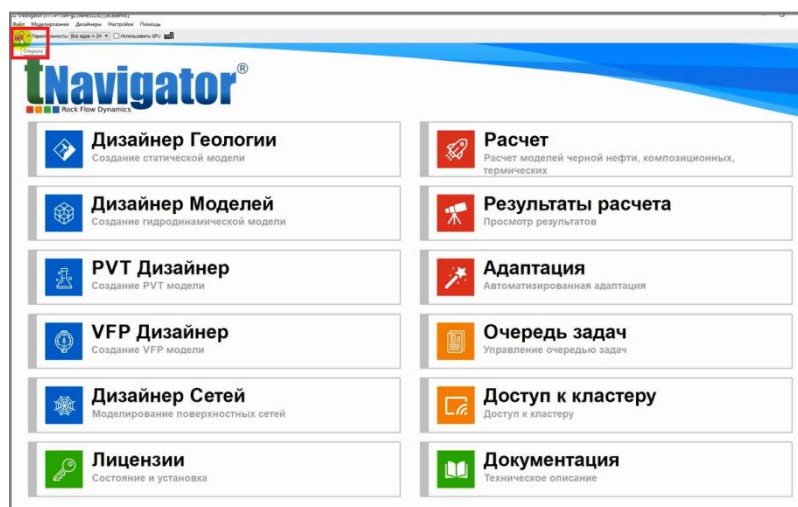
Сохраните изменения в файле **MODEL1\_PROPS.INC**. Закройте блокнот. Таким образом можно проводить редактирование файлов модели вручную.

Для инициализации ГДМ необходимо открыть гидродинамический симулятор *tNavigator*.

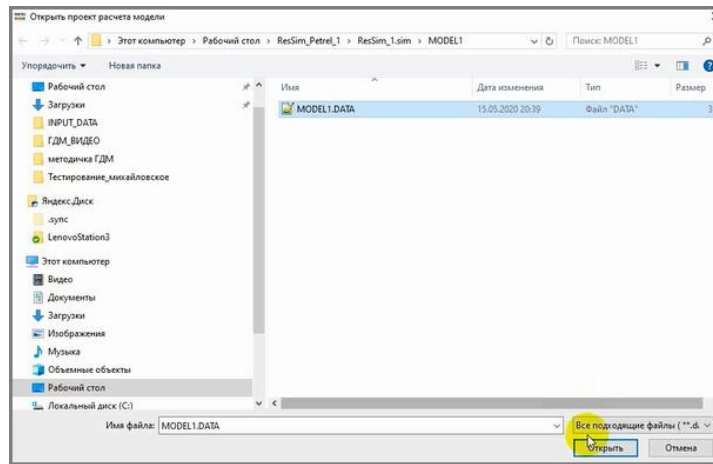


Перейдите на рабочий стол, двойным щелчком запустите программу *tNavigator*.

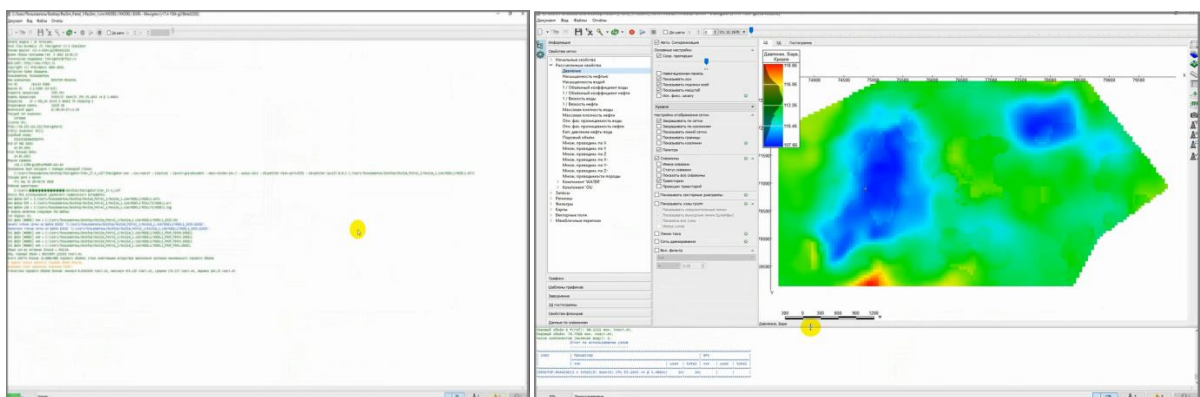
В появившемся окне откройте ГДМ, нажав левой кнопкой мыши на значок папки в верхнем левом углу.



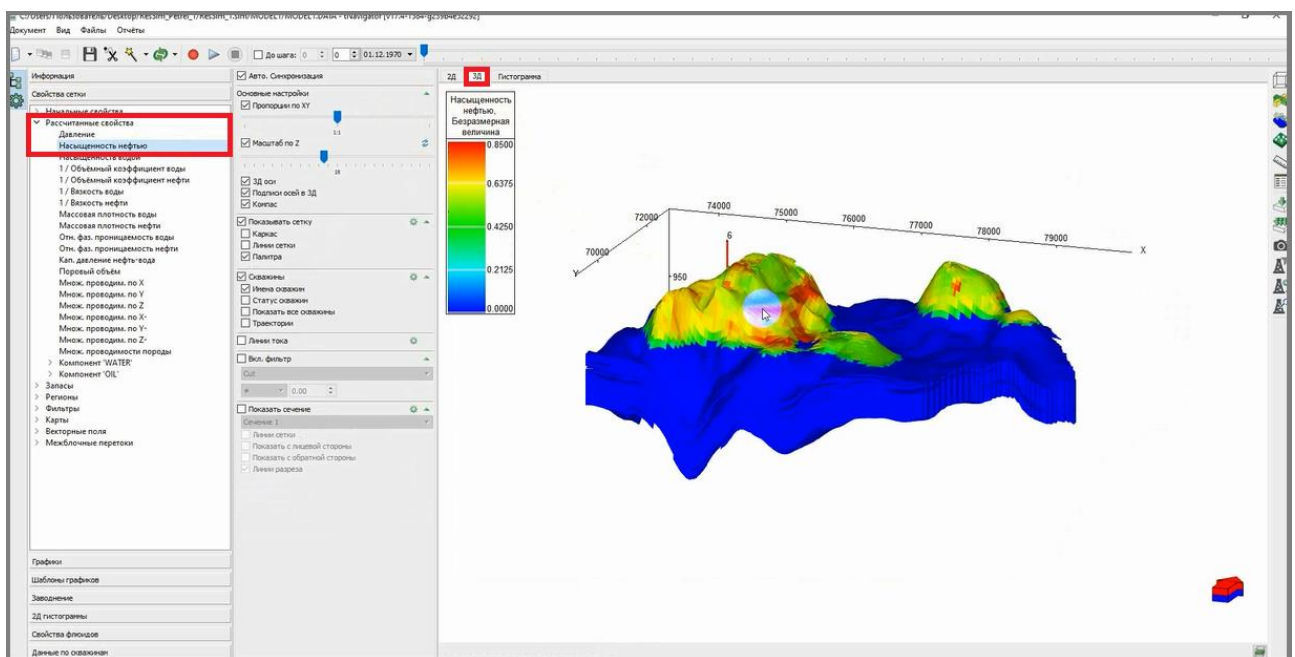
В результате появится диалоговое окно **Открыть проект расчета модели**, выберите файл для открытия **MODEL1**, хранящийся в папке **ResSim\_1.sim** в исходной папке с данными **ResSim\_Petrel\_1**. Нажмите **Открыть**.



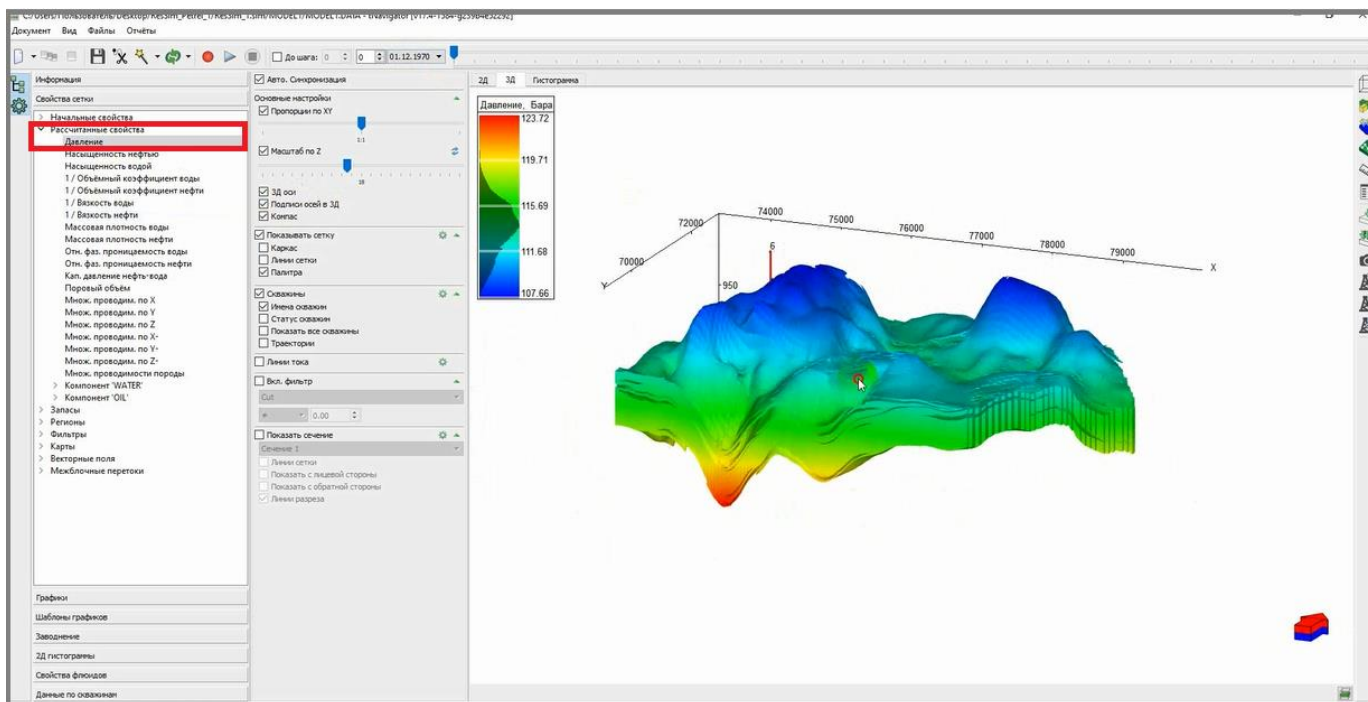
Далее появится окно инициализации модели и, когда расчет завершится, выйдет рабочее окно, как на рисунке справа



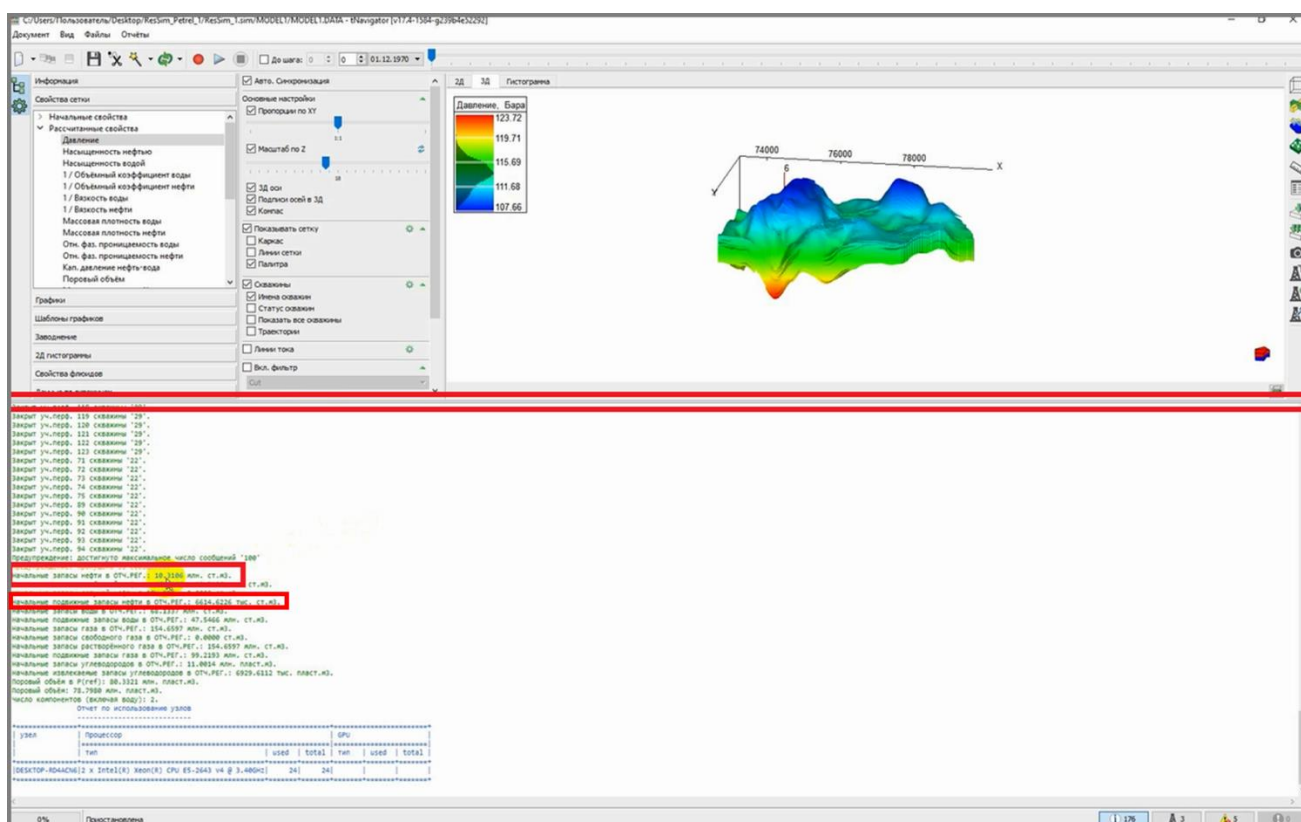
Результатом инициализации модели является распределение давления и насыщенности нефтью и водой. Просмотрим кубы этих свойств. Для этого в окне **Свойства сетки**, во вкладке **Рассчитанные свойства** выберите **Насыщенность нефтью** и для отображения выберите окно **3Д**. Появится модель насыщенностью нефтью на момент времени **01.12.1970**.



Аналогично отобразите распределение давления, выбрав из списка **Рассчитанные свойства** **Давление**.



В результате инициализации помимо получения рассчитанных кубов насыщенности нефтью и водой и давления можно просмотреть начальные и начальные подвижные запасы нефти в модели. Вы можете просмотреть эти данные, потянув вверх границу, отделяющую окно визуализации от окна сообщений. Результат записан в строке **Начальные запасы нефти в ОТЧ.РЕГ** и **Начальные подвижные запасы нефти в ОТЧ.РЕГ**.







\* \* \*

### Контрольные вопросы к разделу 8

#### «8. Data-файл гидродинамической модели. Инициализация гидродинамической модели»:

- 1) Какой набор файлов входит в гидродинамическую модель?
- 2) В какой секции находятся свойства флюида?
- 3) В какой секции находится кривая капиллярного давления?
- 4) Что содержится в файле MODEL1\_SOL.INC?
- 5) В чем отличие Начальных подвижных запасов нефти от Начальных запасов нефти?